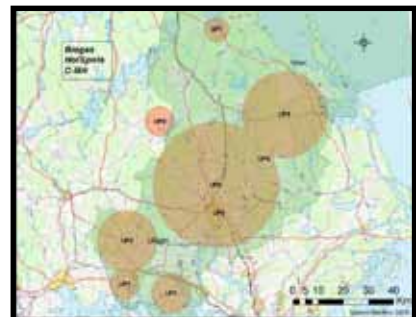


# Biogaspotential hos våtmarksgräs

**Marvin Martins**  
*Examensarbete Sveriges Lantbruks Universitet*





---

Sveriges  
lantbruksuniversitet

# Biogaspotential hos våtmarksgräs

Biogas potential in Grasses from Wetlands

---

Marvin Martins

# Biogaspotential hos våtmarksgräs

Biogas potential in Grasses from Wetlands

---

Marvin Martins

## REFERAT

### **BIOGASPOTENTIAL HOS VÅTMARKSGRÄS**

*Marvin Martins*

Syftet med detta arbete har varit att kartlägga våtmarker i Biogas Östs region lämpliga att skörda samt att undersöka biogaspotentialen i detta våtmarksgräs. Undersökningen visar att det finns lämpliga våtmarker, så kallade slåtterängar, i den undersökta regionen. Traditionell slåtter är en utdöende företeelse i Sverige men det finns flera goda argument till varför den borde återupptas. Natur- och kulturvärden är givna sådana men även den outnyttjade energin i gräset.

Våtmarkstyper som specifikt har studerats är de produktiva våta slåtterängarna; fuktängar, strandängar och mader. Dessa våtmarker finns representerade i Ängs- och betesmarksinventeringens databas; TUVAs och våtmarksinventeringens databas VMI. En genomgång av databaserna visade att de i stor utsträckning kompletterar varandra. En geografisk kartläggning har även utförts på slåttermarker i förhållande till intressanta områden för framtida biogasanläggningar, så kallade "hotspots". Kartläggningen visar att det finns gott om våtmarksgräs inom en tremilsradie som kan komplettera anläggningarnas huvudsubstrat, gödsel. Kartskiktet Svenska Marktäckedata (SMD) tillsammans med GIS-programvara har använts för att analysera hur mycket de äldre VMI-objekten i Uppsala län har växt igen, med resultatet att hälften av VMI-våtmarkerna är inaktuella i dagsläget. De har antingen växt igen med mossor och träd eller blivit vassbälten.

Det finns ytterst begränsat med information kring rötdata på våtmarksgräs. Istället utvärderades en teori, om fodervärden för ett par gräs- och starrarter kan omvandlas till biogaspotentialer. Det visade sig att denna metod inte ger den maximala biogaspotentialen men ett minimivärde erhålls som kan betraktas som relativt tillförlitligt. Energiomvandlingen visar att sent slåttat våtmarksgräs har en biogaspotential runt 0,21 Nm<sup>3</sup> metan/(kg, TS) vilket är omkring 60 % av den odlade åkervallens biogaspotential. Gasutbytet efter 20 dagars rötning är också relativt lågt. Trots detta kan det vara fördelaktigt att röta våtmarksgräs, eftersom samrötning mellan detta och annat lämpligt material kan ge ett högre nettogasutbyte för anläggningen än rötning av de enskilda materialen var för sig. Den framtagna biogaspotentialen visar att det finns minst 4,4 GWh biogasenergi i våtmarksgräs från till exempel Uppsala län, lågt räknat. Slåtterkostnaderna har dock visat sig vara för höga för att få det att gå ihop ekonomiskt i dagsläget.

Nyckelord: slåtter, biogaspotential, samrötning, uppehållstid, gräs, starr, energivärde, värmevärde, TUVAs, VMI, våtmark, mad, strandäng, fuktäng, hävd, restaurering, djurliv, GIS, SMD, ekonomi, kartor.

*Institutionen för Mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet SLU, box 7025, SE-750 07, Uppsala.*

## **ABSTRACT**

### **BIOGAS POTENTIAL IN GRASSES FROM WETLANDS**

*Marvin Martins*

The purpose of this study has been to survey wetlands that are suitable for mowing and to analyze the biogas potential in the harvested grasses. A preformed investigation showed that there are suitable wetlands, which can be harvestable, namely those mowed formerly in traditional haymaking. The practice of traditional haymaking is dying out in Sweden today but there are several good reasons why it should be reconsidered. Nature- and cultural values are obvious, also the unutilized energy in the grass.

The suitable types of wetland that were specifically studied were the productive wetlands; meadow marshes and wet meadows. These wetlands are represented in the Swedish meadow- and pasture inventory database; (TUVA) and the Swedish national wetland inventory (VMI). Going through the databases showed that they largely complement each other. A geographical mapping was also carried out of wetlands in relation to areas of interest for the future establishment of biogas plants, so called "hotspots". The geographical survey shows that there is ample amount of grass from wetlands within a 30-kilometer radius that can supplement the plants main substrate, manure. The map layer Swedish Ground Cover Data (SMD) together with GIS software was used to analyze the extent of overgrowth for the older VMI objects in Uppsala County, with the result that half of the VMI objects are no longer of interest. They have become either woodland and bogs, or reed beds.

There is very little information on wetland-grasses and methane production. Instead, a theory was evaluated regarding the possibility of transforming nutritional values for grass and sedges into biogas potentials. It was shown that this method does not capture the total biogas potential, but offers a minimum value that can be considered rather reliable. The energy transformation showed that late harvested grasses from wetlands has a biogas potential about 0,21Nm<sup>3</sup> methane/(kg, DM) which is about 60 % of the biogas potential for grass-legume forages. The gas yield after 20 days is also relatively low. It could though be favorable to try grasses from wetlands in methane production, because co-digestion with these grasses and other suitable materials could produce a higher net gas yield for the plant, than using the materials solely by themselves. The derived biogas potential showed that there is at least 4,4 GWh biogas energy in grasses from wetlands in Uppsala county at a low estimate. Harvesting costs were however shown to be too high in the present to achieve a plus result.

Keyword: haymaking, biogas potential, co-digestion, retention time, grass, sedge, energy value, heating value, TUVA, VMI, wetland, meadow marsh, wet meadow, cultivation, restoration, wildlife, GIS, SMD, economy, maps.

*Department of Microbiology, Swedish University of Agricultural Sciences SLU, box 7025, SE-750 07, Uppsala. ISSN 1401-5765.*

## **FÖRORD**

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Biogas Öst. Beatrice Torgnyson Klemme, projektledare på Biogas Öst, uppkom med idén till detta examensarbete och har varit min handledare. Examensarbetet har genomförts inom civilingenjörprogrammet för miljö- och vattenteknik vid avdelningen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet. Ämnesgranskare har varit Anna Schnürer, forskare på samma institution.

Tack! Anna Schnürer, för vägledning i utformning och disposition av arbetet, och för din bidragande sakkunskap, vilket har varit värdefullt och uppskattat. Tomas Wadström på Biogas Öst har även väglett i arbetets utformning.

Ett stort tack riktas till Mats Edström vid JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik som har bidragit med värdefull information kring utformningen av undersökningen, speciellt biogasaspekterna. Tack även till Eva Spörndly vid institutionen för HUV, SLU, som har bidragit med källor och information kring VOS- analysen.

Ett tack riktas även till Jonas Forsberg som delgivit information från sitt pågående arbete för Biogas Öst, kring "hotspots".

Ett stort tack för sakkunskap och inspiration riktas även till Sven-Olov Borgegård, Leif Erlandsson, Urban Gunnarsson och Jan-Inge Tobiasson.

Slutligen vill jag tacka Fredrik Claesson och Alexandra Jernberg som ställt upp och stöttat i slutskedet av arbetet.

Copyright © Marvin Martins och Institutionen för Mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet SLU.

UPTEC W09 027, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala, 2009.

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## BIOGASPOTENTIAL HOS VÅTMARKSGRÄS

*Marvin Martins*

Biogas Öst har bett mig undersöka möjligheten att skörda våtmarksgräs och undersöka hur mycket biogas som kan produceras av gräset. Ett första problem var att identifiera var "våtmarksgräs" växer, och vad det består av. En inledande undersökning visade att marktyperna som historiskt har varit slåtterängar har slåtterpotential. Slåtterängar har historiskt varit av stor betydelse i Sverige för de tusentals små jordbruken som skördat näringsrikt "gräs" på sommaren för att ha till vinterfoder för djuren. I takt med att det moderna jordbruket tog över mer och mer minskade även bruket av slåtterängarna som i stor utsträckning har växt igen och försvunnit. Dessa marktyper gav väldigt mycket gräs ifrån sig främst på grund av markens höga vattenhalt men även på grund av näringstillförsel från vårens översvämningar. Det finns ett intresse inte bara nationellt utan även från EU att dessa områden bevaras eftersom de har höga natur- och kulturvärden.

Arbetet har riktat in sig på de mer produktiva, våta, slåtterängarna; fuktängar, strandängar och mader. En mad är den fuktigaste varianten av de här våtmarkerna. Den svämmas ofta över på våren och torkar upp till sommaren. Det finns två databaser som våtmarkerna finns representerade i; Ängs- och betesmarksinventeringens TUVÅ, och våtmarksinventeringens VMI. Det har visat sig att databaserna kompletterat varandra i stor utsträckning. I Uppsala län finns till exempel 4,4 GWh biogasenergi från våtmarksgräs lågt räknat baserat på den framtagna biogaspotentialen. En kartläggning har utförts av våtmarkerna men även var intressanta "hotspots" för biogasanläggningar ligger i förhållande till våtmarkerna. "Hotspot" står i sammanhanget för områden där det är lämpligt att flera jordbruk som producerar gödsel, kan gå samman och bygga en biogasanläggning. Igenväxning av våtmarkerna har även studerats med hjälp av ett kartprogram och ett speciellt kartskikt som beskriver växtligheten, för att se om det har växt träd eller mossor på våtmarken till exempel. Det visar sig att hälften av våtmarkerna i VMI har växt igen.

Det finns väldigt lite information om hur mycket biogas som olika gräs kan producera. Istället har energidata som finns i djurfoder studerats. Energin har sedan i ett försök omvandlats till en tänkt volym biogas som gräset kan producera. Teorin har fötts av likheten mellan idisslares matsmältningsorgan och biogasanläggningens rötchammare.

Det visar sig att siffran som räknats fram för hur mycket biogas som gräset kan producera är i underkant men användbar. Det går alltså att ta olika gräs och dess foderenergidata och sedan räkna om det till biogasenergi, åtminstone för att få en uppskattning. Resultatet visar att sent skördat våtmarksgräs ger ungefär 60 % av biogasen jämfört med biogasen som kan produceras av åkervall (gräs- och klöverblandning för kor). Främst för att materialet har blivit fiberrikt under sommaren och att hastigheten som gasen produceras med då blir låg.

Trots detta kan det vara fördelaktigt att prova röta gräset, eftersom blandningar av olika gräs, gödsel m.m. ibland ger mer gas än om de rötas var för sig.

Slåtterkostnaderna i dagsläget är för höga och det finns för få entreprenörer. Under gynnsamma förhållanden går det att få plusresultat, främst för restaurering. En betydande osäkerhetsfaktor är hur mycket gräs som markerna kan ge per år. Låga värden har antagits men det är slåtterkostnaden som huvudsakligen orsakat negativa resultat för de flesta scenariona.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

BIOGASPOTENTIAL HOS VÅTMARKSGRÄS .....	ii
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
BIOGAS POTENTIAL IN GRASSES FROM WETLANDS .....	iii
<b>FÖRORD.....</b>	<b>iv</b>
<b>POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING .....</b>	<b>v</b>
BIOGASPOTENTIAL HOS VÅTMARKSGRÄS .....	v
<b>TERMINOLOGI.....</b>	<b>x</b>
<b>INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
SYFTE .....	2
MÅL.....	2
METOD .....	2
<b>1 BAKGRUNDSFAKTA .....</b>	<b>3</b>
1.1 SLÅTTERÄNGAR OCH VÅTMARKER.....	3
1.2 DJURLIV .....	6
1.3 OMRÅDESSKYDD .....	7
1.4 MILJÖMÅLEN .....	7
1.5 BIOGASPROCESSEN.....	8
1.6 RÖTNING .....	11
1.6.1 Lagring .....	11
1.6.2 Förbehandling.....	12
1.6.3 Våtrötning.....	13
1.6.4 Samrötning .....	15
1.6.5 Torrötning.....	16
1.6.6 Rötrest.....	17
1.7 ATTRAKTIVA OMRÅDEN, "HOTSPOTS" .....	18
1.8 EKONOMISKA STÖD .....	18
<b>2. MATERIAL OCH METODER.....</b>	<b>20</b>
2.1 UPPSKATTAD BIOGASPOTENTIAL.....	20
2.2 SLÅTTER.....	21
2.3 LOKALISERING AV SLÅTTERMARKER.....	21
2.3.1 Databaser och GIS-material.....	21
2.3.2 Ängs- och betesmarksinventeringen.....	22

2.3.3	Våtmarksinventeringen (VMI) .....	23
2.3.4	SMD-analys .....	24
2.4	EKONOMI.....	25
2.5	”HOTSPOTS” OCH VÅTMARKER.....	26
<b>3</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>27</b>
3.1	ENERGIINNEHÅLL OCH BIOGASPOTENTIALER .....	27
3.2	SMÅSKALIG SLÅTTER.....	28
3.3	STORSKALIG SLÅTTER .....	30
3.4	EKONOMI.....	33
3.4.1	Nyckeltal för småskalig maskinslätter.....	33
3.4.2	Nyckeltal för storskalig slätter.....	34
3.5	GIS-ANALYSER .....	36
3.5.1	VMI .....	36
3.5.2	Ängs- och betesmarksinventeringen.....	37
3.5.3	Dubbelrepresentation.....	38
3.6	AVKASTNING OCH BIOGASPRODUKTION.....	39
3.6.1	”Hotspots” .....	41
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>42</b>
4.1	ENERGIOMVANDLING VIA VOS-FODERDATA.....	42
4.2	ENERGIINNEHÅLL OCH AVKASTNING AV VÅTMARKSGRÄS .....	44
4.3	GASUTBYTE OCH UPPEHÅLLSTIDER.....	46
4.4	EKONOMI.....	49
4.4.1	Småskalig slätter.....	49
4.4.2	Storskalig slätter .....	49
4.5	GIS-ANALYS .....	51
4.5.1	VMI .....	51
4.5.2	TUVA .....	52
4.5.3	Våtmarkskartor .....	53
4.6	SUBSTRATASPEKTER.....	54
4.6.1	Lagring .....	54
4.6.2	Förbehandling.....	54
4.6.3	C/N-kvot .....	56
4.6.4	Samrötning .....	57

4.6.5 Rötrest.....	58
<b>5 SLUTSATSER.....</b>	<b>59</b>
REFERENSER .....	60
LITTERATURFÖRTECKNING.....	60
PERSONLIGA REFERENSER .....	63
INTERNET REFERENSER.....	64
<b>BILAGOR .....</b>	<b>65</b>
NÄRINGSINNEHÅLL .....	65
NYCKELTAL VÅTMARKSGRÄS .....	65
BERÄKNINGAR FÖR VMI-URVALET.....	67
KARTOR ÖVER VÅTMARKSUTBREDNINGEN I BIOGAS ÖSTS REGION ....	68

## TERMINOLOGI

TS, Torrsubstans	Materialet som återstår efter indunstning vid 105°C
VS, Volatile solids	Glödförlust på svenska. Material som förbränns vid 550°C
VS av TS	Andelen VS av TS, ofta i %
C/N-kvot	Förhållandet mellan kol och kväve i ett material
Våtvikt	Materialet inklusive rådande vattenhalt
B <sub>0</sub> , Biogaspotential	Maximal mängd biogas som bildas vid fullständig utrotning och relateras till nedbruten mängd VS eller TS
Nm <sup>3</sup> , Normalkubikmeter	1 m <sup>3</sup> gas vid 1 bar och 0°C
Gasutbyte	Term som används för att antingen beskriva den mängd gas som produceras momentant, eller B <sub>0</sub>
Volymetriskt gasutbyte	Gasutbytet delat med reaktorvolymen
Hydraulisk uppehållstid	Volymen vätska, dvs. aktiv reaktorvolym delat med inflödet
Slåtter	Skörd av gräs och liknande material
Hävd	Förfarandet där marker hålls öppna och inte växter igen. Antingen genom slåtterhävd eller också genom beteshävd (betande djur)
Ensilage	Lagringsmetod där grödan konserveras genom mjölksyrebildning under syrefria förhållanden
TUVA	Namnet på Ängs- och betesmarksinventeringens databas.
VMI	Våtmarksinventeringen
VOS	Vomvätskelöslig Organisk Substans
Vall	En blandning av klöver- och grässorter
Ekonomiskt nyckeltal	Ett tal som i denna undersökning representerar den sammanlagda kostnaden kring slåtter av 1kg TS av våtmarksgräs och som gör det möjligt att jämföra kostnaden kring olika slåttermetoder
Värmevärde	Den energimängden som utvecklas vid förbränning av ett material.

## INLEDNING

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Biogas Öst, ett samverkansprojekt inom Energikontoret i Mälardalen, som arbetar för biogasens utveckling i regionen östra Mellansverige. Projektet arbetar för att etablera fler biogastankställen i regionen och vill underlätta för biogasproduktion, konsumtion och distribution samt för att marknadsföra och informera om biogasens fördelar. Biogas Östs region omfattar sex län; Uppsala, Stockholms, Västmanlands, Södermanlands, Örebro och Östergötlands län.

Det grundläggande målet med arbetet var att studera våtmarker i regionen, lämpliga för slätter, och att analysera potentialen att använda detta gräs i en rötningsanläggning. Detta är i dagsläget högtintressant då det råder stark konkurrens om de olika substrat som idag finns att tillgå för biogasproduktion, och för att nya material måste inkluderas i produktionskedjan om vi ska nå den nationella teoretiska biogaspotentialen. Att skörda våtmarksgräs är också intressant av andra anledningar än för biogasproduktion. En ökad möjlighet att få avsättning för ängs- och våtmarkshö kan till exempel bidra till att igenväxta slätterängar åter tas i bruk. Äldre, nu ohävdade ängar och våtmarker skulle kunna restaureras, något som skulle gynna både natur- och kulturvärden. Slätterarbetet skulle troligen också kännas mer betydelsefullt om markägarna visste att växtmaterialet kom till användning. Dessutom skulle försäljning av våtmarksgräs till en biogasanläggning ge en extra inkomst.

Det finns i dagsläget bara ett par olika miljöstöd möjliga att erhålla för skötsel och restaurering av slätterängar. För att utvärdera möjligheten att använda våtmarksgräs för biogasproduktion är det viktigt att inte bara beakta biogaspotentialen utan även inkludera andra aspekter. Till exempel så innebär ibland skörden problem då traktorer är för tunga på dessa marktyper. De fastnar eller förstör marken helt och hållet på grund av sitt relativt höga marktryck. Viktigt att ha i åtanke är det rika fågellivet och att häckningsperioden infaller med den tid som bäst passar för slätter.

Arbetet har koordinerats med ett annat examensarbete som utförs av Jonas Forsberg, även det åt Biogas Öst. Han har tagit fram intressanta områden så kallade "hotspots". Områdena har potential att lönsamgöra biogasproduktion i form av uppgraderingsanläggningar som tillverkar fordonsgas av rågas, och kan eventuellt inkludera gasnät. "Hotspot"-områdena är orienterade till områden där jordbruksgårdarna ligger tätt. Områdena har visat sig ha relativt mycket våtmarksgräs i sin närhet efter en kartläggning. Substratet i Forsbergs arbete är gödsel från lantbruket, och en kombinerad med våtmarksgräs visar sig ha fördelar för anläggningens nettogasutbyte.

Undersökningen skulle kunna vara intressant för biogasanläggningar som vill ha kompletterande substrat, och länsstyrelser, kommuner och privatpersoner som vill öka slätterhävden.

## **SYFTE**

Syftet har varit att ta fram information kring ett intressant alternativt biogassubstrat, våtmarksgräs, genom att undersöka om det finns, och om det går att slåtta våtmarksgräs inom Biogas Östs verksamhetsområde, och att undersöka dess biogaspotential.

## **MÅL**

Målet har varit att klassificera och lokalisera lämpliga våtmarker och att försöka identifiera representativa gräs för våtmarkerna. Målet har även varit att presentera våtmarkernas geografiska utbredning, tänkbara avkastning och biogasproduktion genom en GIS-baserad kartläggning. Delmål har inkluderat:

- Att ta fram nyckeltal för kostnaden kring slåtter av 1 kg TS av våtmarksgräs.
- Undersöka vilka slåttertekniker och entreprenörer som finns att tillgå.
- Utvärdering av databaserna TUVVA och VMI som innehåller information om olika våtmarkers geografiska läge och sammansättning.
- Undersöka lämpliga rötningstekniker och anläggningar för våtmarksgräs.
- Utvärdera hur naturvärden berörs av slåtter.
- Undersöka befintliga ekonomiska stöd.
- En geografisk analys av ”hotspots” för lämpliga placeringar av biogasanläggningar och en analys av deras geografiska läge i förhållande till lämpliga våtmarker.

## **METOD**

Information kring slåtter, berörda naturvärden och ekonomiska stöd inhämtades genom en litteraturstudie. För att möjliggöra en teoretisk beräkning av biogaspotentialen konstruerades och utvärderades en teori baserad på foderdata. Teorins validitet analyserades genom att studera energikomponenter i rötningsprocessen och i foderanalysmetoden. Programvaran ArcGIS användes för att lokalisera och presentera våtmarkernas geografiska utbredning och för att studera databasernas användbarhet. GIS-undersökningen har även bidragit med information om avkastning, biogasutbyte och energi, per län och ”hotspot”.

# 1 BAKGRUNDSFAKTA

## 1.1 SLÅTTERÄNGAR OCH VÅTMARKER

Slåtterängar är gräs- och örtbevuxna marker som årligen slås (skärs) med lie eller slåtterbalk. Det förekommer flera olika benämningar i litteraturen som; att slå, slåtra eller slåtta. Den senaste benämningen har valts. Växtmaterialet som slåttades användes förr som foder till djuren under vinterhalvåret. Genom att årligen föra bort växtmaterial förs även näringsämnen bort. Arter som i vanliga fall skulle dominera får på så sätt svårt att klara sig i de magrare jordarna. Istället får andra mindre näringskrävande arter tillfälle att växa till. Artrikedomen på dessa ängar är därför höga (Jordbruksverket, 2005 b). Förr kompensades näringsförlusten genom så kallad röjgödsling. Genom att beskära träden och buskarna hårt, dog deras rotsystem och bidrog på det sättet med näring till jorden. Det var också brukligt att årligen avlägsna döda grenar och kottar som låg i ängarna, så kallad fagning, för att inte hindra grästillväxten.

Dagens slåtterängar motsvarar bara en bråkdel av vad som fanns vid förra sekelskiftet. En lång kontinuitet i ängsbruket ger mycket höga naturvärden och hög artrdiversitet som tyvärr hotas av dagens moderna jordbruk. De stora ängarna har numera fragmenterats i allt mindre bitar. Både förlusten av habitat för insekter och växter och minskad möjlighet till spridning hotar arter som är knutna till just ängsmarkerna (Bernhardsson, 2008). På lövängarna kombinerade man ängsslåtter med lövtäkt. Lövtäkt innebär att träden beskars hårt (hamla) och grenar och löv togs till vara för djurfoder. De torrare ängarna kallades speciellt förr för hårdvallsängar och de i anslutning till våtmarker, för sidvallsängar. Dessa våtmarkstyper presenteras närmare nedan.

Många våtmarkstyper har historiskt varit slåtterängar i Sverige och utgjort en viktig foderkälla för betesdjuren. Mader, sankängar och strandängar kan nämnas som exempel. Fram till slutet av 1800-talet och på sina platser ända in till 1930-talet fick boskapen beta i skogen utan stängsel. Det innebar att många våtmarker även betades av (Jacobson, 1997). Fram till bronsåldern har våtmarkerna troligtvis bara utnyttjats som betesmarker. Runt övergången från bronsåldern till järnåldern ändrades klimatet till ett svalare och fuktigare sådant. I och med att betesdjuren inte kunde gå ute året runt längre var det nödvändigt att samla in växtmaterial på sommaren till att ha som vinterfoder. Då blev till exempel mader på lermark (sidvallsängar), bladvassar, fräkenmader och sankängar sådana relativt högproduktiva marktyper som slåttades, men även tidvis översvämmade kärr blev goda slåttermarker. Det finns i dagsläget ett fåtal större områden där det bedrivs våtmarksslåtter. Som exempel kan nämnas Svartådalen i Västmanland och Vattenriket i Kristianstad.

Våtmarkstypen myr har historiskt slåttats och varit en viktig del i djurfoderproduktionen och stått för en stor del av den. Myrar som var mindre produktiva slåttades vartannat år eller när det behövdes (Gunnarsson & Löfroth, 2009). Myrslåtter har nu i princip upphört.

Det finns dock undantag, till exempel i Norrbottens län, där ett 50-tal myrslåttermarker fortfarande är i drift. Ett större exempel är Vasikkavuoma i Pajala kommun som är på hela 250 ha.

Strandängar och öppna strandkärr har numera ofta ersatts av askog eller vassar för att det inte bedrivs slåtter längre och för att antalet betesdjur i landet sjunkit. För att återuppta slåtter på dessa våtmarker krävs i dagsläget troligen en del restaureringsarbete.

Fuktängar är en våtmarkstyp som ofta återfinns vid näringsrika sjöar och vattendrag. Det är ofta finjordsrika stränder där tuvtåteln är beståndsbildande. Fuktängen har en hög vattenhalt på grund av det höga grundvattenståndet vid vattenbrynet. Vid marker som ofta svämmas över går fuktängen ofta över till naturtypen mad eller sankäng som typiskt är blöt på våren och torkar upp under högsommaren. Den vanligaste hävdformen av maden har alltid varit slåtter och under senare tid mest beteshävd. När även betet upphör som det gjort på de flesta platser bildas en mineraljordsrik torv som gör att naturtypen ofta benämns som kärr (Jacobson, 1997).

Maden består till stor del av vasstarr, blåstarr och högvuxna örter som svärdslilja, strandlysing (en videört) och fackelblomster. Med dessa växter benämns maden ofta som ett högstarrbälte. När hävden upphör konkurreras de lågvuxna växterna ut av växter som bladvass, jättegröe och rörflen. Efter det tar videarter, klibbal och glasbjörk vid och högstarrbältet kläms ihop mellan en klibbalskog mot landsidan och vass och säv som tättnar från sjösidan. När slåtter och bete bedrivs på detta högvuxna växtsamhälle blir det plats för ett lågstarrbälte, ett bälte med lägre starrarter och gräs. Där börjar då hundstarr, brunven och krypven att dominera och får följe av gåsört, ältranunkel och sumpmåra (Jacobson, 1997).

Havsstrandängen eller marin strandäng kan ha liknande artsammansättning som maden men växter som skiljer sig från limniska strandängar kan vara, uppifrån land räknat; rödsvingel, krypven och saltåg. Hävdade mader, fuktängar och havsstrandängar har också ett rikt fågelliv. Detta presenteras närmare under stycke (1.2).

Slåtter av våtmarker försvåras av att de ofta svämmas över på våren eller har en konstant hög markfuktighet och därmed är mycket känsliga för mekanisk påverkan. Fuktigheten och översvämningen är dock grunden till deras produktivitet, eftersom översvämningen för med näringsämnen (Gunnarsson & Löfroth, 2009). Den sankastrukturen innebär också vissa problem när betesdjur släpps ut. Om kor får beta på sankmarker under flera år bildas det tuvor och marken får en ojämn karaktär. Det bildas även mer växtlighet av ogrästyp (Hagmarks-MISTRA, 2004). Detta leder till att det inte går att kombinera slåtter med efterbete eftersom marken är för ojämn för att kunna slåttas. Enbart slåtterhävd med kontinuitet är att föredra på de fuktigaste marktyperna.

Sverige är det land i EU som har den största variationen av olika våtmarkstyper med en femtedel av landytan bestående av våtmarker (Gunnarsson & Löfroth, 2009). Enligt våtmarksinventeringen (VMI) vars databas har använts i denna undersökning, genomfördes mellan 1981 och 2005 en inventering av 4,3 miljoner hektar våtmarker i Sverige fördelat på 35 000 separata våtmarker. Allt från kärr och myrar till de för arbetet aktuella maderna, strandängarna och fuktängarna har inventerats i VMI. Varför just dessa våtmarkstyper har valts ut förklaras under stycke (2.3.3).

VMI har en definition på våtmark som lyder, ”Våtmarker är sådan mark där vatten under en stor del av året finns nära under, i eller över markytan, samt vegetationstäckta vattenområden. Minst 50 % av vegetationen bör vara hydrofil d.v.s. fuktighetsälskande för att marktypen ska kallas för våtmark. Ett undantag är tidvis torrlagda bottenområden i sjöar, hav och vattendrag. De räknas som våtmarker trots att de saknar vegetation.” (Gunnarsson & Löfroth, 2009). Storleken på VMI:s våtmarksobjekt varierar nationellt. Minsta storleken på VMI:s objekt är generellt 10 ha i södra Sverige men i Biogas östs region avviker Gotland med minsta storlek på 2 ha. I Örebro län användes 20 ha som minsta inventerade yta i två regioner och 10 ha i övriga delar.

Den andra databasen som använts i undersökningen är Ängs- och betesmarksinventeringens databas som heter TUVÅ. Objekten inventerades mellan 2002 och 2004. En pågående uppdatering sker men allmänheten har ännu inte fått tillgång till dessa data. Den innehåller alla ängs- och betesmarker i Sverige som är värdefulla ur naturvårds- och kulturmiljösynpunkt. Totalt inventerades 300 000 hektar. Ängs- och betesmarkerna ingår i jordbruksdriften och bär på ett betydande innehåll av natur och/eller kulturmiljövärden (Jordbruksverket, 2005 b). Speciella områden, som exempelvis de som har en åtgärdsplan knuten till sig och som därmed kvalificerar för tilläggsersättning, har fältinventerats enligt rapporten. Det finns även en äldre inventering, Ängs- och Hagmarksinventeringen (ÄoH) men den är inte längre aktuell. Dock har områden från den inventeringen som överlappar med TUVÅ och som berörs av en åtgärdsplan, tagits med i TUVÅ. Överblivna områden från ÄoH har tagits med om marken har en svag eller upphörd hävd och bedöms kunna restaureras. Marken ska även ha sådana kvaliteter att den bedöms kunna vara aktuell för en åtgärdsplan efter restaureringen. Just dessa områden är intressanta ur slåttersynpunkt. Även andra regionala områden har tagits med, sådana som inte innefattar ovan nämnda områden om de har natur och/eller kulturmiljövärden.

De våtmarkstyper som ansluter till hav, sjöar, åar och andra vattendrag är lämpliga att skördas efter den 15/7 på grund av skyddet för häckande fåglar, som generellt sett slutar då. Vissa fågelskyddsområden skyddas dock en längre tid och måste skördas vid senare datum. På grund av den sena slåttern, och för att det är relativt lågproducerande naturmarker, är det rimligt att ta ut skörd per år. Ängshö från torra marker (hårdvallsängar) slåttas traditionsenligt när de flesta örterna satt frö och gräsen gått i ax. Det blir då i början av augusti. Förr började slåttern efter midsommar men de flesta ängar slogs inte förrän i juli eller augusti (Overud m.fl, 2005).

## 1.2 DJURLIV

Det är inte lika enkelt att koppla våtmarkernas fåglar och övriga ryggradsdjur till en viss våtmarkstyp som det går att göra med växterna. Grodor har till exempel våtmarkerna som hemvist, men olika arter återfinns i olika typer av våtmarker. Vanlig groda och padda finns ofta i kärr och småvatten. Vattensalamander är knuten till småvatten under vårens lek och sommarens yngeluppväxt där den större vattensalamandern är kräsare med avseende på vattenkvalitet än den mindre vattensalamandern.

Fiskgjusen väljer ofta en talltopp i mossen som boplats bara det finns tillräckligt med sjöar inom rimligt avstånd. För fiskgjusen och kärrhökar är de öppna kärren viktiga jaktmarker innan sjöarna har släppt sina isar på våren. Ugglan är specialist på vattensorkar och bosätter sig gärna i kanten mot någorlunda öppen mark, gärna våtmark. I moderna och strandkärren finner man enkelbeckasinen och ängslärkipan. De trivs så länge som det inte har börjat växa igen för mycket. När igenväxningen börjar trivs gräshoppsångare bland videsnären och näktergalen kan ses i strandkärret. I eventuell vassvegetation utanför kärrbältet trivs sävsparv, sävsångare och rörsångare. Lärkfalken ser man ofta jaga sländor över vassar och småvatten.

De hävdade moderna och sankängarna har avsevärt rikare djurliv med häckande tofsvipa, storspov och gulärta. Kortare gräs gynnar särskilt vadare, gäss och vissa simänder. Dessa områden är även viktiga för rastande vadare och gäss av många slag (Jacobson, 1997). Storspoven har minskat kraftigt i södra Sverige men ökar i områden där ängsmarksrestaureringar har genomförts. Troligen för att denna art är trogen till sin vistelseort och återkommer i större antal när förutsättningarna blir bättre (MISTRA, 2001). Kornknarren utgör dock ett undantag. Det är en hönsfågel som föredrar de lite mer högvuxna partierna vid stranden. Våtmarksslätter för nära vattenbrynet gynnar alltså inte kornknarren.

Många insekter är knutna till en viss våtmarkstyp och direkt beroende av dem, till skillnad från ryggradsdjuret. Det finns dock inte lika stor kunskap om insekterna som om växterna och det högre djurlivet. I våtmarkerna finns både växtätande insekter och vattenlevande arter. Bland växtätande insekter som är enkla att se finns några dagfjärilar. I Uppland påträffas inte mindre än tre arter av pärlemorfjäril. Deras larver växer på olika myrväxter som tranbär, hjortron och hallon. Makaonfjärilen utvecklas ofta på flockblommiga växter på myrar till exempel kärrsilja, och det finns många fler oansenligare arter som lever på våtmarksväxter som ofta är mycket kräsna i sitt val av värdväxt. En liten jordloppa (*Longitarsus holsaticus*) påträffas till exempel bara på kärrspira. En våtmark med rik växtflora förväntas alltså även ha en rik fauna av växtätande insekter.

Det är svårare att definiera de marklevande insekternas habitat. Klart är emellertid att en del jordlöpare är starkt knutna till betande strandängar runt näringsrika sjöar. De här jordlöparna är starkt hävdberoende och försvinner snart då marken slutar hävdas. Slätter under juli eller augusti ger en ostörd period under sommaren som generellt borgar för ett rikt växt- och insektsliv (Overud m.fl., 2005).

### 1.3 OMRÅDESSKYDD

Det finns ett flertal olika så kallade områdesskydd och många av dem berör våtmarker. De har alla som mål att bevara den biologiska mångfalden och värdefull naturmiljö. Exempel på områdesskydd i Sverige är; nationalparker, naturreservat, Natura 2000 områden och ramsarområden. I Natura 2000-områden ska s.k. ”gynnsam bevarandestatus” vidhållas med bevarandeinsatser. Det innebär lite förenklat sagt att ”ängen ska få förbli äng” och att ”naturskogen ska få fortsätta att vara naturskog”, och att arterna ska få fortleva i sina livskraftiga bestånd. Natura 2000 är för övrigt ett nätverk med EU:s mest skyddsvärda områden som ska bevara hotade arter och miljöer.

Nationalparker, Natura 2000-områden, naturreservat och biotopskyddsområden har alla skötselplaner för sina respektive områden. Om någon våtmark är intressant att slåtta inom dessa områden ska först skötselplanen beaktas för att se hur området är tänkt att förvaltas och om det kan finnas hinder. Miljöbalken reglerar områdesskydden i Sverige på nationell nivå. I miljöbalken kapitel 7, paragraf 28a, andra stycket, står det ”Tillstånd enligt första stycket krävs inte för verksamheter och åtgärder som direkt hänger samman med eller är nödvändiga för skötseln och förvaltningen av det berörda området”. Första stycket behandlar bland annat tillståndskrav för verksamheter inom området. Områdena syftar till MB 7:27, som grundar sig på ett EG-direktiv som innefattar Natura 2000-områden m.m. Enligt länsstyrelserna i Uppsala- och Västmanlands län är uppfattningen att våtmarksslätter kommer att omfattas av MB 7:28a, andra stycket, och ses därmed som en skötsel- eller förvaltningsåtgärd.

### 1.4 MILJÖMÅLEN

Det finns två miljömål som påverkas positivt av en ökad andel slåttade ytor i landskapet; Myllrande våtmarker och ett rikt odlingslandskap. Definitionen för myllrande våtmarker lyder ”Våtmarkernas ekologiska och vattenhushållande funktion i landskapet skall bibehållas och värdefulla våtmarker bevaras för framtiden”. Miljömålsrådet bedömer att det är fullt möjligt att nå detta mål om fler åtgärder sätts in och att nuvarande utvecklingsriktning för miljön går åt rätt håll (Miljömålsportalen, 2009 b).

Miljömålet ”Ett rikt odlingslandskap” har ett delmål: Ängs och Betesmarker. I målbeskrivningen går att läsa ”Senast år 2010 skall samtliga ängs- och betesmarker bevaras och skötas på ett sätt som bevarar deras värden. Arealen hävdad ängsmark skall utökas med minst 5 000 ha och arealen hävdad betesmark av de mest hotade typerna skall utökas med minst 13 000 ha till år 2010” (Miljömålsportalen, 2009 a). Naturvårdsverket bedömer att delmålet kan nås om åtgärder sätts in men det är oklart hur markernas natur- och kulturvärden kommer att utvecklas. Det finns bara en bråkdel kvar av de ängar som fanns vid förra sekelskiftet. Om det är möjligt att hitta ytterligare avsättningsmöjligheter för våtmarksgräs, till exempel till biogasproduktion, skulle delmålen gynnas av detta. I strategin för miljömålet; myllrande våtmarker, går det att läsa ”Höga kulturvärden innefattar bland annat kontinuitet i hävden samt bevarade kulturlämningar och karaktärgivande landskapselement.” (Naturvårdsverket, 2005). Hävd betyder kort att hålla landskapet öppet.

## 1.5 BIOGASPROCESSEN

Biogas är den gas som bildas när många olika arter av mikroorganismer i samarbete bryter ner biologiskt material (rötning) i en syrefri miljö. Gasen som bildas är huvudsakligen sammansatt av koldioxid och metan, men även mindre andelar av svavelväte, kväve och väte förekommer. Processen utnyttjas för nedbrytning av organiskt material i konstruerade biogasreaktorer men sker även i naturen i till exempel sediment på sjöbottnar och i kärr, men även i idisslares matsmältningssystem. I Sverige rötades det redan på 1970-talet. Främst producerades biogas av avloppsslam där stabilisering av slammet var ett av huvudsyftena. På 80-talet byggdes anläggningar på avfallsdeponier och så kallad deponigas utvanns. På 90-talet tillkom anläggningar som omhändertog avfall från livsmedelsindustrin. Vanliga material (substrat) som idag rötas i Sverige är till exempel nötflytgödsel, restaurang-, industri-, hushålls- och slakteriavfall, avloppsslam och energigrödor (Jarvis & Schnürer, 2009). Det är vanligt att blanda flera olika material under så kallad samrötning. Det finns flera intressanta aspekter med detta som presenteras senare. Generellt finns ett växande behov av substrat som leder till att nya material regelbundet provrötas.

Energigrödor är benämningen på växtsorter som man odlar specifikt för att energiutvinning. Det kan vara allt från energiskog (salix), majs, sockerrör till korn, vete och olika grässorter. För biogasproduktion är de vanligaste energigrödorna i Sverige åkervall och spannmål. Vallgrödor består huvudsakligen av blandningar av gräs- och baljväxter, där blandningen av gräs och klöver kan variera. Typiska grässorter är ; timotej, ängssvingel och rajgräs. Och typiska baljväxter är; rödklöver, vitklöver och lusern (Nylén, 1992). Typiska värden på biogaspotentialer för vall är  $340 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  (Lehtomäki, 2006) och  $300 \text{ Nm}^3/(\text{kg, VS})$  (Carlsson & Uldal, 2009). Vall är den odlade gröda som mest kan liknas vid de gräs och starrarter som finns på våtmarker. Typisk för vallgrödor är att de ger biogas som innehåller ca 55 % metan och resten huvudsakligen koldioxid (Edström m.fl, 2008).

Biogasen som bildas kan användas för att producera el, värme eller fordonsgas. I Sverige är intresset stort för det senare alternativet. För att kunna använda biogas som fordonbränsle avlägsnas alltid koldioxid och svavelväte ur biogasen. Koldioxiden kan utgöra ända upp till 70 % av biogasen och sänker på det sättet energiinnehållet i biogasen. Svavelväte är en korrosiv gas som går hårt åt förvaringskärl och motordelar i ett gasdrivet fordon. Reningen av gasen sker ofta i så kallade ”skrubbers” där de oönskade gaserna överförs till ett annat medium (till exempel vatten) via en speciell trycksättningsteknik (Hobson & Wheatley, 1993). Den uppgraderade råbiogasen kallas då för fordonsgas, men även naturgas kan ingå i fordonsgas. I en kontrollerad miljö som en biogasanläggning ändras gassammansättningen under processens gång och kinetiken för processen beror på flera faktorer såsom t.ex. substrat, rötteknik, förbehandling och temperatur (Dalemo m.fl. 1993).

De flesta substrat som tas in i en biogasanläggning måste förbehandlas, dels för att säkerställa hygien men också för att förbättra pumpbarhet och förutsättningarna för biogasproduktion.

Vanligtvis används upphettning som hygieniseringsmetod kombinerat med en mekanisk sönderdelning. Sönderdelningen ger en större yta för mikroorganismerna i processen att angripa och ger därmed genereras ofta mer gas. Ibland används dock också andra typer av förbehandlingsmetoder, se stycke (1.6.2). Finfördelning är mer eller mindre ett krav för vall och gräs, just för pumpbarheten och biogasutbytet. Substratet rötas i ungefär 20-30 dagar i anläggningen, men uppehållstiden är ofta längre om växtmaterial finns med i substratet, se stycke (1.6.3).

Det som blir över efter rötningsprocessen kallas ofta rötrest och ibland också biogödsel. Under rötningsprocessen frissätts och koncentreras olika mineralnäringsämnen. Rötresten är därför näringsrik och kan användas som biogödsel inom jordbruket. Vidare kan biogödsel certifieras och i Sverige finns certifieringssystemet SPCR 120 som Avfall Sverige tagit fram. De mikrobiella processer som ligger till grund för biogasprocessen kan delas in i fyra steg (Bild 1).

1. Hydrolys: Bakterier utsöndrar enzymer som angriper olika komplexa material, till exempel cellulosa och fetter, och bryter ner dessa till olika monomerer som glukos och fettsyror. Temperaturen är viktig i detta steg, både för bakterietillväxten men även för enzymkinetiken och också lösligheten av substratet. Substratets areal (finfördelning) är viktig, och kan vara hastighetsbegränsande om den inte är tillräckligt stor (Hobson & Wheatley, 1993).
2. Fermentation, syrabildning: Fermenterande bakterier, vilka för övrigt inte alla kan utföra hydrolys, bryter ner socker och aminosyror och fettsyror till; organiska syror, alkoholer, ketoner, acetat, koldioxid och vätgas. Acetat (ättiksyra) är oftast huvudprodukten vid jäsning av kolhydrater.
3. Anaerob oxidation: Alkoholer och fettsyror omvandlas via anaerob oxidation till acetat, vätgas och koldioxid. Organismer som utför dessa oxidationsreaktioner har ett nära samarbete med organismerna i nästa led, metanogenerna. Vissa av organismerna under steg tre producerar vätgas som slutprodukt och är beroende av att partialtrycket för vätgas inte blir för högt. Det är metanogenerna i nästa led som förbrukar vätgasen och ser till att det inte blir för höga nivåer. Vid för höga partialtryck ackumuleras istället olika syror men även alkoholer.
4. Metanbildning: De metanbildande mikroorganismerna kallas metanogener. De växer väldigt långsamt och är som regel det hastighetsbestämmande steget i processen, såvida inte hydrolysen går långsamt. Generationstiderna för organismerna spänner mellan 1 till 12 dagar (Jarvis & Schnürer, 2009). Metanogenerna använder ammonium och sulfid som kväve- och svavelkälla. Omineraliserat svavel och löst ammoniakgas kan emellertid vara giftig för metanogenerna i för höga koncentrationer. Järn, nickel, kobolt och molybden är viktiga spårämnen för metanogenerna. Metanogenerna delas in i två grupper:

- Hydrogenotrofa: Väteutnyttjande metanogenerna som håller nere vätgastrycket.
- Acetotrofa metanogener: De omvandlar acetat till metan och koldioxid. 70 % av all metan i en biogasreaktor kan bildas av dessa bakterier.

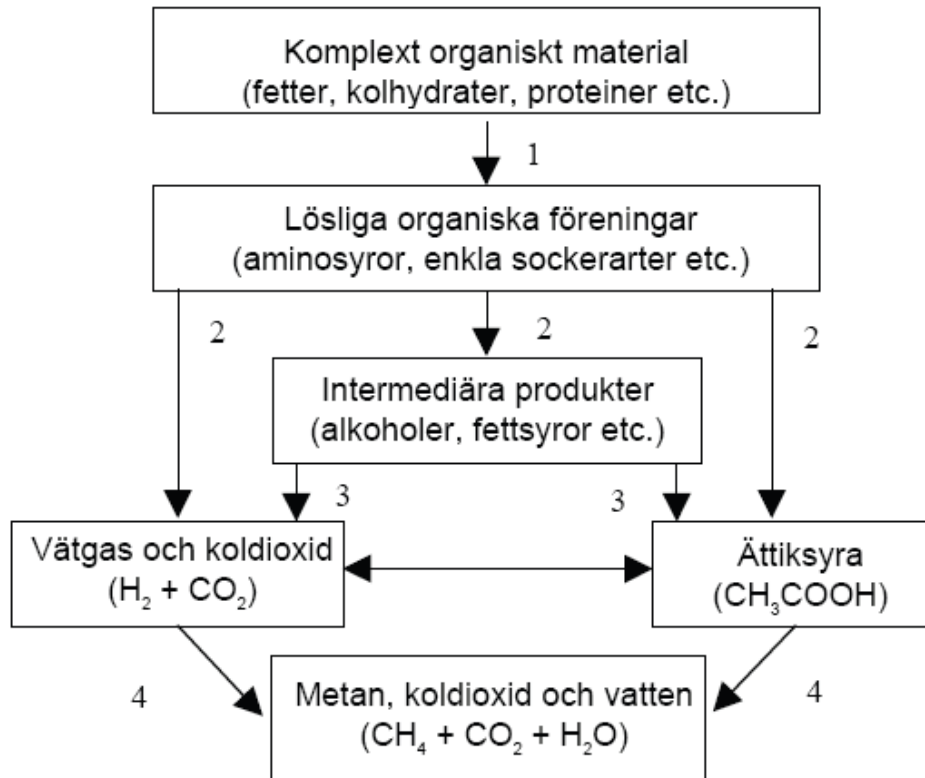


BILD 1. BIOGASPROCESSEN. BILD FRÅN (NILSSON, 2000).

Om förhållandena är de rätta för de olika organismgrupperna, är biogasprocessen i stort sett självgående, men ibland kan ofördelaktiga situationer uppstå i reaktorn. Ett vanligt fenomen är att det kan bli för lågt pH på grund av för hög fettsyraproduktion (Jarvis & Schnürer, 2009), med följd att processen stannar upp. Tyvärr kan olämpliga pH-nivåer vara svåra att korrigera på grund av att flera buffertsystem är verksamma. Till exempel ammonium/ammoniak, och vätekarbonat/koldioxid. Utspädning med vatten är att föredra när pH behöver justeras. Här kan våtmarksgräs vara till fördel genom att motverka en för hög fettsyraproduktion orsakat av en för stor andel lättnedbrytbart material, eftersom våtmarksgräs har högre andel långsamt nedbrytbara kolhydrater.

Ett urval basfakta kring biogas i Sverige (Persson, 2006 och Biogasföreningen och Gasföreningen, 2009):

- 2006 producerade avloppsreningsverken 48 % av biogasen i Sverige.
- Biogas från samrötningsanläggningar utgjorde 15 %.
- 56 % gick till uppvärmning och 19 % till fordonsgas (2006).
- I dagsläget är ca 60 % av fordonsgasen biogas. Resterande del är naturgas.

- Det produceras 1,5 TWh biogas årligen i Sverige (2006).
- Den teoretiska biogaspotentialen i Sverige uppskattas till 14 TWh/år. Då antas att 10 % av åkerarealen används till odling av energigrödor (2006).
- LBG (Liquified Biogas), flytande biogas med 600 gånger mindre volym än gas, är under utveckling. LBG kommer att medföra att den tunga fordonstrafiken kan köra på biogas med dual-fuel teknologin (motorer anpassade till diesel och biogas).

## **1.6 RÖTNING**

Det finns ett flertal olika röttekniker som används för biogasproduktion. Våtrötning är den mest etablerade rötningstekniken, som även benämns slamrötning i avloppsreningsverk. Våtrötningstekniken har funnits relativt länge och det finns därför idag ett flertal systemlösningar utvecklade av denna teknik. Torrötningstekniken är däremot relativt ny. Den har uppenbara fördelar men på grund av att det är en ny teknik finns det fortfarande oklarheter och problem som måste lösas. Båda teknikerna presenteras mer utförligt nedan (stycke 1.6.3 och 1.6.5)

### **1.6.1 Lagring**

Att torka hö är den teknik som historiskt sett använts för att lagra ängshö. Utan vatten saknar bakterier och svampsporor den mest grundläggande komponenten för att överleva och föröka sig. Därmed upphör den biologiska nedbrytningen och höet konserveras. Torkat våtmarkshö är inte aktuellt som biogassubstrat, eftersom det sannolikt skulle innebära att det måste blötläggas innan det kan finfördelas och matas in i processen. En extra blötlägningsprocedur medför extra utrustning och är inte ekonomiskt motiverat för denna typ av material. En annan konserveringsmetod som kan användas för gräs är att tillverka så kallad ensilage. Åkervall, som består av olika gräs och klöversorter, är ett exempel på en gröda som vanligtvis konserveras genom ensilering. Ensilaget används ofta som djurfoder men det finns också exempel på biogasanläggningar som använder ensilerad vall som substrat. Vid ensilering förpackas materialet i ett lufttätt kärl eller plastas in. Syre, som finns närvarande vid förslutningen, förbrukas snabbt av aeroba bakterier och miljön förändras till en syrefri sådan. I den syrefria miljön frodas anaeroba bakterier, till exempel mjölksyrebakterier som finns naturligt på gräs och grödor (Black, 2002). Dessa organismer bildar mjölksyra genom fermentation och skapar efter hand en sur miljö (pH-sänkning) som har en konserverande effekt på materialet genom att förhindra tillväxt av olika förskämningorganismer. Det är även vanligt att tillsätta myrsyra för att få igång fermentationsprocessen snabbare och förhindra mögelbildning, speciellt i ensilage för djurfoder (Spörndly & Pauly, 2008). Konserveringen förhindrar generellt materialförlust som annars skulle ske genom koldioxidavgång i den aeroba nedbrytningsprocessen. Det finns olika ensileringsformat att välja på för grödor. Här följer några vanliga:

- Rundbalsensilage är som namnet antyder tillverkade av rundbalar. De har varierande storlek, ofta ca 1 m i diameter. Rundbalarna är stora sammanpressade kollin som hålls ihop av nät. Dessa plastas sedan in med vit plast, vanligtvis redan ute på åkern. Vikten är ca 500 kg per bal och de är ganska ömtåliga och måste hanteras varsamt. Om plasten går sönder måste det upptäckas och lagas i tid, annars ruttar innehållet och blir förstört i samband med att syre kommer i kontakt med materialet.
- Plansilo är gjutna betongfack (golv och 3 väggar) i marken som helt enkelt fylls på med material och sedan täcks med stora plastsjok för att få en lufttät miljö. Kapaciteten är helt beroende på betongfackets storlek. Plansilo är mindre platskrävande än korvensilage nedan (Bild 2).
- Korvensilage tillverkas genom att lägga grönmassan i mitten på ett avlångt plastsjok av grovt material som successivt stängs igen vartefter det fylls på genom att sammanfoga långsidorna. Resultatet blir en lång korvliknande tub. Denna kan sedan knäppas igen helt när lastningen eller lossningen är klar, för att få en lufttät miljö. Systemet används till exempel i dag av Svensk Växtkrafts biogasanläggning i Västerås, (Bild 2).



BILD 2. KORVENSIKAGE (BILD, SVENSK VÄXTKRAFT AB, 2006).

### 1.6.2 Förbehandling

Det går att förbehandla substraten på olika sätt i samband med lagring för att förhindra nedbrytning och därmed energiförluster, men även för att optimera nedbrytbarheten inför rötningsprocessen. En genomgående målsättning för förbehandlingar på växtmaterial är att ha sönder växternas cellväggar så att den näringsrika cellvätskan görs mer åtkomlig i hydrolyssteg, men även för att luckra upp lignin- och cellulosastrukturen i växtmaterialet. I samrötningsanläggningar kan förbehandling även betyda; nedmalning med kvarn eller liknande, separering av till exempel metall och plast och vätsketillsättning för spädning. En vidare analys av olika förbehandlingar sker under diskussionen, (stycke 4.6.2). Nedan beskrivs några förbehandlingstekniker.

- Finfördelning av ett material är mer eller mindre ett krav. Dels för att kunna transportera materialet i anläggningens pumpar och rörsystem, men även för att exponera en så stor yta som möjligt av substratet för bakterierna. Det finns dock en gräns för när en ytterligare finfördelning inte ger någon ökning av gasutbytet. Lehtomäki (2008) rekommenderar 1 cm för gräs.
- Ensilering har som tidigare nämnts en konserverande effekt på materialet som förhindrar materialförlust, men är även en förbehandling av materialet genom att det blir mer lättlångligt för biogasprocessen (Lehtomäki, 2006). De lösliga kolhydraterna i växtmaterialet bryts under ensileringsprocessen ner till intermediärer och växtmaterialet blir därmed snabbare tillgängligt för biogasprocessen. Ensileringen bygger bland annat på närvaro av mjölksyrabakterier som finns närvarande på många växter naturligt och börjar föröka sig när de får tillgång till cellvätska och en syrefri miljö (Black, 2002).
- Ångexplosion går ut på att materialet värms upp under högt tryck i en kammare, för att sedan snabbt sänka trycket i kammaren. Växternas cellväggar hinner då inte med att tryckutjämna och cellen exploderar bokstavligen varvid cellvätska frigörs (Hobson & Wheatley, 1993). Ångexplosion leder alltså till att materialets fiberstruktur luckras upp och blir mer tillgänglig för bakterierna.
- Enzymatisk förbehandling kan vara fördelaktigt på cellulosarikt material som halm och ensilage. Den enzymatiska förbehandlingen verkar på samma sätt som bakteriernas extracellulära enzymer under hydrolysen och kan på så sätt snabba upp biogasprocessen (Jarvis & Schnürer, 2009).
- Kemisk förbehandling går ut på att utsätta materialet för starka basiska/sura lösningar eller lösningsmedel och oxidanter. Den sura och den alkaliska behandlingen har lite olika effekt på cellulosa och lignin men båda förbehandlingarna gynnar hydrolysen (Lehtomäki, 2006).

### 1.6.3 Våtrötning

En vanlig rötningsteknik är den av våt typ. Det finns olika viskositet på rötningssmassan eller slurryn som den ibland också kallas, allt från lättflytande till trögflytande beroende på TS-halten. I den totalomblandade reaktorn rörs innehållet om med huvudsyftet att bakterier och substrat får ”träffa på” varandra kontinuerligt och för att gaserna som bildas ska kunna frigöras snabbare (Hobson & Wheatley, 1993).

Biogasanläggningar med våtrötning brukar ha en TS-halt på 8-10 % i den ingående blandningen. Substraten kan ofta ha höga TS-halter men detta kompenseras genom utspädning med vatten eller återcirkulerat processvatten så att det ingående materialet till slut får en acceptabel TS-halt. Vartefter biogas bildas avlägsnas kol från slurryn i form av metan och koldioxid. TS-halten sjunker således och kan i utgående rötrest vara ner till en tredjedel av ingående TS-halt (Hobson & Wheatley, 1993).

Det finns flera olika tekniker som utvecklats för våtrötningsmetoden. För att nämna några finns; satsvisa- och kontinuerliga tekniker med CSTR (Continuously Stirred Tank Reaktor) reaktorer, UASB (Upflow Sludge Blanket) reaktor, kaskad-reaktor, tunn-/tjockfilmsreaktor m.m. CSTR är den vanligaste typen och heter även totalomblandad eller helomblandad reaktor på svenska. Inom processindustrin används CSTR-reaktorn för två olika behandlingsmetoder; satsvis metod (batch) och kontinuerlig in/utmatning eller en blandning av dessa.

I den satsvisa tekniken matas allt material in i reaktorn på en gång eller i omgångar och gas utvinns kontinuerligt. När reaktorn är full får materialet röta klart innan den töms på allt innehåll och proceduren börjar om. I den kontinuerliga tekniken sker det hela tiden ett lika stort volymmässigt uttag av rötrest som det sker påfyllning av ny substratblandning. Nivån i reaktorn hålls konstant men en del av materialet passerar dock ut örötat hela tiden. Ett för stort uttag av rötrest per tidsenhet kan alltså medföra att en betydande andel av rötresten består av icke nedbrutet material.

Den vanligaste process av våttyp är totalomblandad enstegsprocess. Totalomblandad betyder att hela innehållet blandas om med exempelvis pumpar som recirkulerar biogas eller med olika propelleranordningar. Enstegsprocess betyder att all rötning sker i en kammare. En tvåstegsprocess kan till exempel ha en efterrötningskammare där slammet som utgår från första kammaren får ligga och röta vidare en tid. Detta för att inte belasta den första cisternens reaktorvolym med material som inte producerar så mycket biogas per tidsenhet och för att minska metanläckaget från rötrestlagret.

Uppehållstiden i en biogasanläggning är en av flera avgörande faktorer för hur stort gasutbytet blir. Längden på uppehållstiden bestäms i stor utsträckning av substratets karaktär. Det är storleken på partiklarna och andelen växtfibrer i slammet som ofta avgör uppehållstiden, men även temperaturen kan påverka. Termofila processer ger till exempel ett större gasutbyte per tidsenhet än mesofila processer och uppehållstiden kan därmed förkortas (Hobson & Wheatley, 1993). Avloppsreningsverk har låga TS-halter, runt 4 % av våtvikt och har uppehållstider runt 20 dagar. Siffrorna kommer från 9 Svenska mesofila VA- rötanläggningar (VA- Forsk, 2003). Hobson & Wheatley (1993) uppger 15 dygn som en vanlig uppehållstid för avloppsslam. Den lägre TS-halten är naturlig eftersom avloppsslammet har producerats i vattenbassänger genom olika fällnings- och sedimenteringssteg. Anläggningar som samrötar slaktavfall, livsmedelsavfall, organsikt hushållsavfall och gödsel har TS-halter runt 8-10 % och uppehållstider mellan 20-30 dagar (VA- Forsk, 2003). Edström m.fl.; (2008) uppger 27 dygn för samrötning av vallgröda (18 % av ingående substrat, våtvikt), flyt- och fastgödsel och avfall.

Samrötning med energigrödor har generellt sett lite längre uppehållstider. Till exempel uppger Edström m.fl.; (2008) en uppehållstid på 37 dygn för samrötning av majsensilage (35 % av ingående substrat, våtvikt, och 66 % av gasproduktionen), flytgödsel och avfall. Det är fiberhalten i majsensilaget och dess cellulostasstruktur som styr uppehållstiden i detta fall.

Om enbart energigrödor rötas så kan det till och med krävas uppehållstider mellan 50 och 100 dagar för god nedbrytning och stabil drift (Jarvis & Schnürer, 2009).

Den maximala TS-halten för ett substrat bestäms av bakteriernas behov av vatten för att växa. Den praktiska gränsen ligger betydligt lägre för CSTR-reaktorer, högst 15 % nämns i litteraturen. Högre TS-halter än 15 % ger en för trögflytande massa som är svår att pumpa genom rörsystem och dessutom är mycket energikrävande att blanda om (Hobson & Wheatley, 1993). En för låg TS-halt (2-5 %) kan leda till bildning av ett så kallat svämtäcke, speciellt med fiberrika material, som till exempel vallgrödor.

Fenomenet kallas även flotation och i samband med detta uppstår det ofta problem i reaktorn (Edström & Nordberg, 1997). Ett svämtäcke uppkommer av att material med lägre densitet flyter upp till ytan och ansamlas där. Detta kan ske om TS-halten är för låg och omrörningen inte är tillräcklig. Reningsverk utnyttjar detta fenomen genom att tillsätta flockningsmedel som binder partikulärt material i reningsvattnet för att sedan samla upp det när det flyter upp på ytan. Svämtäcket i en biogasreaktor å andra sidan, täcker bokstavligen reaktorvätskans yta och biogaserna kan inte evakueras. Ett övertryck kan bildas med översvämning via breddavloppet som följd.

#### **1.6.4 Samrötning**

I många anläggningar sker så kallad samrötning. Som namnet antyder handlar det om rötning av flera olika substrat samtidigt. Flera studier har visat att det finns många fördelar med att blanda olika materialtyper. Gasutbytet blir till exempel ofta högre om rätt mix av substrat blandas jämfört med om varje substrat enbart rötas var för sig. Ett vanligt förekommande substrat är nötflytgödsel. Just detta substrat visar sig ha bra egenskaper för själva biogasprocessen och höjer vanligtvis gasutbytet om det blandas med andra material (Edström & Nordberg, 1997). Samrötning ökar sannolikheten för en optimal näringssammansättning och detta för med sig att rötningsprocessen blir stabilare och utröttningsgraden av substraten blir högre. Anledningen till varför nötgödsel ofta används som ett av substraten vid samrötning är dels för att det innehåller rätt komposition av bakteriegrupper, metanogener m.m., men även viktiga mineraler och spårämnen (Jarvis & Schnürer, 2009).

Vid samrötning finns det även en större chans att processen kan klara av toxiska föreningar i större utsträckning. Det finns flera grupper av organismer som har liknande förmågor i en samröttningsprocess jämfört med en process med enstaka substrat. Det gör att det finns en viss redundans om någon organismgrupp skulle slås ut av en förorening. De överlevande grupperna fortsätter då med sin metabolism och biogasprocessen kan fortgå (Jarvis & Schnürer, 2009). Detox AB är ett innovativt exempel där samrötningseffekter har noterats mellan substrat av lite ovanligare slag. De har visat på möjligheten att röta makroalger som fjäderslick och tång som ligger och ruttnar på stränderna, och har samtidigt utvecklat en framgångsrik reningsmetod för att främst avlägsna kadmium ur tången. De har även visat på samrötningseffekter med tången tillsammans med matavfall och avloppsslam. Metanpotentialen ökar för att substratens näringsinnehåll kompletterar varandra på ett fördelaktigt sätt (Detox AB, 2008).

En annan fördel med samrötning är möjligheten att komponera substrat i olika förhållanden för att optimera C/N-kvoten för slurryn. C/N-kvoter i ett intervall mellan 10 och 30 anses fungera i en biogasprocess. Optimal C/N-kvot anses ligga mellan 15 och 25 (Jarvis & Schnürer, 2009). Om slammet C/N-kvot är för låg, till exempel när kväverika substrat som slakteriavfall och hushållsavfall används i för stor andel, är risken stor att det frisätts för mycket ammoniak under nedbrytningen av proteinerna. Som nämnts i inledningen (stycke 1.5), kan metanogenerna då hämmas och som följd blir det obalans i processen.

### **1.6.5 Torrötning**

Torrötning är en annan relativt ny teknik. Varianten är vanligast i Tyskland som under 2007 hade drygt 300 anläggningar. Denna teknik är emellertid fortfarande relativt ovanlig i Sverige och 2007 fanns endast två anläggningar (Nordberg & Nordberg, 2007). I torrötning förekommer substrat som det av olika anledningar inte går eller är önskvärt att finfördela till en våtröttningsmassa. Låg tillgång på vatten kan vara en anledning att använda denna teknik. För att klassificera processen som torrötning ska substratbandningen ha en TS-halt på minst 25 % (VA- Forsk, 2003). Lämpliga substrat kan vara; grödor, skörderester, biprodukter samt gödsel från svin, nöt, fjäderfä och häst (Nordberg & Nordberg, 2007). Under torrötning sker ingen omblandning av reaktorinnehållet med pumpar eller dylikt utan detta får ligga still och den omgivande vätskan pumpas istället runt och får perkolera genom materialet. I praktiken är det ofta uppvärmda garageliknande reaktorer som används där in- och utlastning sker genom en gastät port på kortsidan (Nordberg & Nordberg, 2007). I dessa satsvisa system sker vanligtvis in- och utlastning månadsvis. Dränkta bäddar och torrötning i plastslangar är exempel på andra tekniker under utveckling (Nordberg & Nordberg, 2007). Fördelar och egenskaper vid torrötning enligt Nordberg & Nordberg (2007) är till exempel:

- Gårdens maskinpark som hanterar stapelbar utrustning, till exempel traktorer, kan användas.
- På grund av att materialet inte blandas om störs inte processen i lika hög grad av element som jord, grus och trä i substratet som det skulle göra i en våt anläggning.
- Det krävs mindre sönderdelning av materialet jämfört med våtrötning. Det är en vattensnålare process där det inte sker en omblandning, utan en mindre mängd processvatten återcirkuleras. Pumparna för processvattnet och det mindre sönderdelningsbehovet gör att elförbrukningen blir relativt låg.
- Processen kan belastas i högre grad än vid våtrötning men det kan ge ett lägre metanutbyte. Det finns alltså en möjlighet att det volymetriska gasutbytet, trots det lägre gasutbytet, förblir gott på grund av den högre belastningen (författarens anmärkning).

Torrötning är i dagsläget produktionsmässigt kostsammare än våtrötning för fastgödsel och majsensilage, men skillnaderna minskar med större kapacitet (Nordberg & Nordberg, 2007).

Rötresten från torrrotningen kan till skillnad mot den som produceras under våtrötning behöva efterbehandlas både avseende hygienisering och lagring. Rötning av enstaka substrat kan, precis som under våtrötning, också innebära problem. Gräsensilage ger till exempel en ostabil process efter en tid, troligen på grund av brister i näringsammansättningen, och kväverika material som åkervall och hönsgödsel ger problem med ammoniumhalten. Större ansträngning måste också läggas på att hålla temperaturen på rätt nivå jämfört med våtrötningssystem. I rapporten Nordberg & Nordberg (2007) finns exempel på detta. Den ena av Sveriges två torrrottningsanläggningar i Järna Yttereneby gård har haft problem med ojämn temperatur. Att processtemperaturen kan störas och påverkas snabbare är naturligt, då reaktorvätskan under våtrötning har en magasinerad värmeenergi större än materialet i en torrrottningsprocess. Detta på grund av den högre vattenhalten i våtröttningsprocessen (författarens anmärkning).

Det finns begränsat med röttningsdata kring torrrotning men Nordberg & Nordberg (2007) visar att biogaspotential hos några olika material inte skiljer mycket mellan de olika rötningsteknikerna. På grund av att våtrötningstekniken är vanligare och för att det finns begränsad information kring torrrotning tar arbetet emellertid inte upp torrrotning vidare i rapporten. Med röttningsprocessen framöver avser, om inte annat anges, våtrötning.

#### **1.6.6 Rötrest**

Rötresten från en biogasanläggning har en betydligt lägre C/N-kvot än det ingående substratet. Detta är naturligt eftersom kolet i substratet omvandlas till koldioxid och metan. Rötresten har i och med den höga halten av växttillgängligt mineraliserat kväve en utomordentligt god gödselpotential. Förutom kväve har även andra näringsämnen koncentrerats, bland annat kalium och fosfor.

Rötresten kan certifieras som biogödsel genom standarden SPCR 120. Certifieringssystemet ägs av Avfall Sverige. Det finns i skrivande stund 8 anläggningar i Sverige som är certifierade enligt SPCR 120 (SP, 2009). De flesta av dessa anläggningar rötar källsorterat organiskt avfall men även slakteriavfall och flytgödsel. Certifieringen innebär specifika krav på materialet som ska rötas men även på slutprodukten, fortlöpande egenkontroll, insamling av material, transport, mottagning och behandlingsprocess m.m. Ett certifikat på 5 år kan erhållas efter ett godkänt inledande kvalifikationsår. Under kvalifikationsåret utvärderas provresultat från processen och en dokumentation över egenkontrollen m.m. utförs. Standarden medför att mottagaren av rötresten vet vilken kvalitet den har och att en tredje part har kontrollerat rötresten (besiktningsorganet), för närvarande SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Livsmedelsindustrin har godkänt certifierad biogödsel som ett organiskt gödselmedel för produktion av foder och livsmedel. Det kan dock finnas restriktioner för biogödsel som gödselmedel på mjölkgårdar (Avfall Sverige, 2009).

## 1.7 ATTRAKTIVA OMRÅDEN, ”HOTSPOTS”

I undersökning av Jonas Forsberg studerades lämpliga platser för biogasanläggningar i Biogas Östs län, så kallade ”hotspots”. Huvudsyftet med undersökningen var att identifiera områden för tänkbara biogasanläggningar med avseende på fordonsgasproduktion. Områdena av intresse har förutsättningar för antingen en gemensam anläggning (centraliserad ”hotspot”) eller platser där en majoritet av gårdarna själva har kapacitet för en egen anläggning (decentraliserad ”hotspot”). För att det ska vara intressant ur ett ekonomiskt perspektiv att anlägga ett uppgraderingssystem är det nödvändigt att det finns tillgång till minst 500 000 Nm<sup>3</sup> rågas. Jordbrukare som hushåller djur av något slag och producerar gödsel var i fokus för arbetet. Gödsel är tänkt att vara huvudsubstratet, som samrötas med ett annat substrat i mindre mängd (ca 20 %). Här skulle våtmarksgräs kunna utgöra de kompletterande 20 procenten, vilket har gjort det intressant att inkludera dessa ”hotspots” i den geografiska våtmarksanalysen. Faktorer som anläggningsekonomi, tankställen, uppgradering av råbiogas till fordonsgas, bidrag, m.m. behandlas också i rapporten (Forsberg, 2009).

Forsberg har utgått från ett schablonvärde på 1,25 gånger metangasproduktionen (från gödsel) när gödsel kompletteras med 20 % annat substrat. Forsbergs kartläggning visar att de flesta av de identifierade områdena är s.k. centraliserade ”hotspots”. En gemensam anläggning kan placeras var som helst inom varje sådan ”hotspot”, och områdena kan variera i storlek, se bilaga (KARTOR ÖVER VÅTMARKSUTBREDNINGEN I BIOGAS ÖSTS REGION). Typen av ”hotspot” definieras av:

- En centraliserad ”hotspot” definieras av att; en majoritet av gårdarna inom denna ”hotspot” *inte* klarar av att producera minst 160 000 Nm<sup>3</sup> rågas/år (0,95 GWh). En sammantagen produktion av minst 500 000 Nm<sup>3</sup> (2,9 GWh) rågas/år eller 300 000 Nm<sup>3</sup> metan/år räknat på 60 % metanhalt, måste uppfyllas.
- En decentraliserad ”hotspot” definieras av; en majoritet av gårdarna inom denna ”hotspot” kan producera mer än 160 000 Nm<sup>3</sup> rågas/år (0,95 GWh).

## 1.8 EKONOMISKA STÖD

Jordbruksverket betalar ut ekonomiskt stöd, så kallad miljöersättning för skötsel och restaurering av slåtterängar. Ersättningen är delvis finansierad av EU-medel. Beloppet baseras på ytan och klassificeringen av slåtterängen. Jordbruksverket grundar sina utbetalningar på ansökningar som länsstyrelsen handlägger. För slåtteräng av särskilda värden gör länsstyrelsen alltid ett fältbesök och undersöker artrikedomen. Florans rikedom påverkar beslutet men även insekts- och djurliv. Relevanta ersättningar finns presenterade nedan (Tabell 1).

Om äldre slåttermarker, som inte hävdas i dagsläget, ska restaureras finns det medel att söka även för detta. Det är möjligt att erhålla ett miljöinvesteringsbidrag för initiala kostnader, exempelvis entreprenadkostnad för fräsarbete. Det är möjligt att få bidrag för upp till 90 % av de initiala kostnaderna (Tabell 1) men inte för utlägg i samband med arbete som utförs av bidragstagaren själv. Markägaren, tillsammans med länsstyrelsen, tar fram skötselplanen som sträcker sig fem år framåt och som också beskriver hur marken ska skötas.

Bidragen söks årligen av den skötselansvarige. För områden klassade som särskilda värden finns möjligheten att inte utföra slätter något enstaka år. Vid ett eventuellt förhinder är det också möjligt att ansöka om ett ”slätterfritt år”, i högst ett av de fem åren. Det går även att ansöka om dispens ett år, om till exempel marken är för våt eller om sommaren varit för torr. Området kan också delas in i mindre bitar och det är då möjligt att söka dispens för slätter av delar av ytan, med bibehållen miljöersättning. Till exempel kan det finnas fjärilar som skulle gynnas av att vissa örter och blommor får blomma ut sent i augusti. Platserna där dessa örter växer kan då inkluderas i en dispensansökan. Länsstyrelsen kan även utfärda ett slätterfritt år generellt i länet om det behövs på grund av väta eller liknande.

TABELL 1. MILJÖERSÄTTNINGAR. JORDBRUKSVERKET.

Miljöersättning (2009)	Belopp kr/ha, år <sup>1)</sup>
Slätteräng med allmänna värden	1100
Slätterängar med särskilda värden (för mark som kan ge gårdsstöd)	3500
Slätterängar med särskilda värden (för mark som inte kan ge gårdsstöd)	4700
+ Efterbete	700
+ Lieslätter	7000
Miljöinvestering	Belopp <sup>2)</sup>
Engångsersättning för restaurering av ohävdad slätteryta.	Upp till 90 % av kostnader, dock ej eget arbete.
Årligt restaureringsstöd.	3600 kr/ha, år
Ersättning för utvald miljö <sup>3)</sup>	-

1) (Jordbruksverket, 2009).

2) (Martina Dernroth, pers.komm.).

3) (Jordbruksverket, 2009 a). Aktuellt för en del län. LST avgör beloppet från fall till fall.

## 2. MATERIAL OCH METODER

En våtmarkskonferens som anordnades av Västmanlands länsstyrelse i Västerås i maj 2009 gav information kring slätter men även idén att skatta biogaspotentialen från djurfoderdata. Denna biogaspotentialberäkning presenteras här nedan. För att identifiera våtmarksobjekten i databaserna TUVÅ och VMI användes ett GIS-material, som presenteras med en genomgång, tillsammans med en förklaring av sökkriterierna som har använts i databaserna. Vidare presenteras också metoden som användes för att aktualisera äldre kartdata samt analysen av våtmarker kring "hotspots". GIS står för "Geographic Information System" och är en teknik där geografisk information för olika karttyper och flygfoton kan kombineras med annan information i till exempel tabeller och databaser. Sammankopplingen av information på det här sättet kan till exempel bli nya kartor med helt ny information eller nya databaser med ny geografisk information knutna till databasobjekten. I GIS-arbetet har ESRI:s mjukvara ArcGIS 9.3 använts.

### 2.1 UPPSKATTAD BIOGASPOTENTIAL

Det finns mycket begränsad information angående rötning av våtmarksgräs, förmodligen för att det slättas i så liten utsträckning, speciellt på våtmarker. För att kunna bedöma vilken biogaspotential denna typ av material har, användes en teori (utvecklad av författaren) som bygger på att omvandla energi i gräsfoder hos idisslare, till en biogaspotential, via värmevärdet för metan. Omvandlingen av energivärdet för gräs- och starrarterna, till en biogaspotential, görs helt enkelt genom att dividera gräsenergin med värmevärdet för metan. Energivärdet för gräset motsvarar i detta sammanhang metabolisk energi, vilket betyder att det är den energimängd i gräset som djuret kan tillgodogöra sig. Dessa energivärden är framtagna med en analys som bygger på aktivitet av vommens mikroorganismer, och då detta system är mycket likt det mikrobiella systemet i en biogasreaktor är det rimligt att anta att den utvunna energin i en biogasprocess skulle kunna överensstämma väl med dessa energivärden.

TABELL 2. VÄRMEVÄRDE FÖR METAN.

Övre värmevärde för metan <sup>1)</sup> , $E_{CH_4}$	MJ/Nm <sup>3</sup>
Metan	39,820

1) (Svenskt gastekniskt center AB, 2009).

För att kunna uppskatta biogaspotentialen ( $B_{0u}$ ) som mängd metangas, gjordes en energiomvandling från gräsets energi (MJ/(kg, TS)) till biogaspotentialen uttryckt i (Nm<sup>3</sup>/kg TS), genom att dela energiinnehållet för gräset ( $E_{gräs}$ ) med värmevärdet för metan ( $E_{CH_4}$ ), (Tabell 2). Divisionen ger antal kubikmeter metan som kan produceras per kg TS av gräset och går att kontrollera genom enkel enhetsanalys enligt Ekvation 1.

$$\frac{\frac{MJ}{(kg,TS)}}{MJ/Nm^3} = \frac{Nm^3}{(kg,TS)} \quad (E1)$$

Det visar sig att det ska vara det övre värmevärdet (Tabell 2) och inte det undre värmevärdet som är lämpligt att använda i energiomvandlingen. En utförlig diskussion kring teorin och validiteten i denna omvandling finns under stycke (4.1).

## **2.2 SLÅTTER**

Länsstyrelsen i Västmanlands län genomförde under 2008 en undersökning kring småskaligt slätterarbete inom skyddade områden som Natura 2000 och ÅGP-tytor (Åtgärdsprogram för hotade arter). Materialet finns sammanställt i en rapport ”Småskalig maskinslätter som aktiv skötsel” (Constantinides, 2008). I rapporten beskrivs en undersökning kring slätter av fyra olika marktyper, torr äng, stenig torr äng, tuvig normal mark och våt mark. Arbetstider för de olika slättertyperna har sammanställts i Constantinides rapport. Dessa tider m.m. har legat till grund för nyckeltalen för småskalig slätter som tagits fram i detta arbete. Slätter utfördes med mindre, handledda maskiner som sköttes av en inhyrd entreprenör.

Det råder allmänt sett brist på entreprenörer som kan slåtta storskaligt på våtmarker. PE-TE Stubbfräsningar AB är en av aktörerna i Biogas Östs region som tillsammans med information från en våtmarkskonferens har bidragit med information kring storskalig slätter, kapacitet, prisuppgifter m.m.

## **2.3 LOKALISERING AV SLÅTTERMARKER**

Ett av målen för arbetet var att försöka lokalisera och klassa våtmarkstyperna som kan vara aktuella för slätter. Detta arbete har genomförts genom intervjuer och litteraturstudier i främst Jacobson (1997), Gunnarsson (pers.komm.) och Jordbruksverket (2005 b).

TUVA-databasen har använts för att geografiskt lokalisera de restaurerbara markerna med vattenvärden, men även Natura 2000 habitattypen; 6410 (fuktängar med blååtäl och starr), som även har visat sig innefatta de tre våtmarkstyperna (mad, strandäng, fuktäng) i stor utsträckning. Ytterligare ett argument för att inkludera habitattypen 6410 i undersökningen är för att det är en marktyp som oftast inkluderar de äldre historiska slättermarkerna, se stycke (2.3.2).

Våtmarksinventeringen (VMI) har främst använts för att presentera statistik över ytor, avkastning och teoretisk biogasproduktion, länsvis. GIS-objekten i VMI har utöver detta använts för att testa idén att aktualisera de relativt inaktuella objekten, via en överlappningsteknik med ett aktuellare kartdata (Svenska Marktäckedata). Idén kom av insikten att många av VMI-objekten förmodligen är inaktuella på grund av att de är tidigt inventerade med igenväxning som följd.

### **2.3.1 Databaser och GIS-material**

Som nämnts i inledningen används databasinformation huvudsakligen från ÄoB (Ängs- och betesmarksinventeringen) och VMI (våtmarksinventeringen). Båda databaserna har GIS-skikt och datatabeller för varje våtmarksobjekt i databasen. De har dock egna benämningar för de våtmarkstyper som är aktuella. I VMI är våtmarksobjektets morfologi centralt och faktorer som hävdstatus finns inte med, medan det i TUVA finns en del morfologiska faktorer medtagna som; Natura 2000 typ, kronprojektion och påverkan men även hävdstatus. Det borde således gå att finna nyttig information i båda databaserna med fler kartlagda slättervåtmarker som följd.

För att kunna koppla information från databaserna till de geografiska objekten har det varit nödvändigt med en hel del förbehandling och sortering i databastabellerna först. Arbetsgången har varit följande. 1) Import av TUVA- och VMI html-filer till Excel. Html-filerna innehåller fakta som bland annat yta, hävdstatus, naturvärden och en beskrivning av objektet. 2) En bearbetning har sedan utförts i Excel för att bland annat extrahera sifferinformation från textmassor med Visual basic script. 3) En sortering har sedan utförts av informationen i importproceduren från Excelfiler till ArcGIS-tabeller. 4) Slutligen har kopplingen av tabellinformation till de geografiska objekten genomförts i ArcGIS. Analyser har sedan utförts där avstånd, ytor och geografisk utbredning har studeras, till exempel andel våtmarksyta inom en viss radie av "hotspotsen". Kartor över våtmarkernas utbredning har också tillverkats.

### 2.3.2 Ängs- och betesmarksinventeringen

TUVA:s restaurerbara områdena är skärskilt intressanta, speciellt de som har naturvärdet vatten knutet till sig. Dessa restaurerbara marker valdes ut som potentiella slåttervåtmarker från TUVA. Som exempel kan ett sådant område ligga intill en sjö eller annat vattendrag och därför bedömas ha naturvärden som är speciellt förknippade till vattnet. Utöver florans gynnas fågel- och djurlivet av slåtter i dessa områden. Dessa områden har större chans att klassas som slåtterängar med "särskilda värden" av jordbruksverket efter restaurering. Att få marken klassad som "särskilda värden" medför en högre miljöersättning för markägaren enligt stycke (1.8), Tabell 1. Områdena som klassats som restaurerbara är tänkta att vara föremål för projektstödet för restaurering av slåtterängar och betesmarker. Efter en restaureringsperiod om 5 år kan området vara aktuellt för en åtgärdsplan. En åtgärdsplan (eller skötselplan) upprättas av länsstyrelsen, som beskriver hur området ska skötas (Jordbruksverket, 2005 b).

En andra våtmarkstyp som valdes ut i TUVA för sin slåtterpotential är Natura 2000 naturtypen: 6410 (Fuktängar med blåttåtel eller starr). Naturtypen är typisk för fuktigare ängs- och betesmarker som ofta kan vara dåligt hävdade. 6410 beskrivs även i den äldre inventeringen, Ängs- och Hagmarksinventeringen med naturtyperna; sötvattnsstrandäng, sidvallsäng, slåtterkärr, dammäng, siläng, sötvattnsstrandäng, havsstrandäng och öppen hagmark. Alla dessa naturtyper har historiskt varit slåttermarker och naturtypen 6410 borde därmed även vara högst intressant att kartlägga. Sökningen i TUVA-databasen har utförts med kriteriet högst 50 % välhävdad. Tabell 3 visar tänkbara val och vilka som har valts (i fet stil). Med valet välhävdad i högst 50 % av ytan finns möjligheten att resterande yta kan vara allt från svagt hävdad till ohävdad. Med detta sökkriterium exkluderas inte marker som skulle kunna vara aktuella.

TABELL 3. SÖKKRITERIER FÖR HÄVDSTATUS PÅ NATURTYPEN 6410, I TUVA- DATABASEN.

Sökkriterier för naturtypen 6410		
Ingen hävd	I minst/högst	% av marken
Svag hävd	I minst/högst	% av marken
<b>Välhävdad</b>	<b>I minst/högst</b>	<b>50 % av marken</b>

*Fet stil visar det valda sökkriteriet.*

De områdena som valts ut i TUVA är alltså följande två:

1. Områden som är restaurerbara och har kvaliteter med avseende på vatten.
2. Områden av natura-2000 typen 6410; Fuktängar med blååtäl eller starr.

### 2.3.3 Våtmarksinventeringen (VMI)

VMI-databasen undersöktes också för att se om det finns lämpliga våtmarker för restaurering/slåtter som inte finns med i ÄoB. Det finns en begränsning i möjligheten att söka på specifika våtmarker i den allmänna VMI databasen. Detta är en av begränsningarna kring VMI som beskrivs här tillsammans med hur databasen har använts.

Efter diskussion med Urban Gunnarsson (pers.komm.) medförfattare till "Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar" Gunnarsson & Löfroth (2009) och litteraturstudier, beslutades att undersökningen riktar in sig på VMI:s tre delobjektstyper; mader, strandfuktängar och fuktängar. Det är just dessa marktyper som även historiskt varit välhävdade genom slåtter i Sverige och har en relativt hög avkastning, för naturmarker sett.

VMI delar huvudsakligen in sina våtmarker i *objekt* och en underkategori till dessa; *delobjekt*. Som nämnts tidigare, finns nedladdningsbara kartskikt och tabeller att tillgå. Objekten beskriver ett våtmarksområde i stort medan delobjekten beskriver de enskilda våtmarkerna inom objekten. I de nedladdningsbara tabellerna finns objekten representerade men inte delobjekten. VMI har delat in våtmarkstyperna i 34 objektstyper. Några exempel är; bevuxen sjö, blandmyrkomplex, fuktäng och limnogen strandkomplex. Delobjektstyperna består av 67 olika varianter. Exempel på dessa är; backkärr, bevuxen sjö, fuktäng, mad vid sjö och sumpskog. Om objektet bara består av ett delobjekt har objektet blivit döpt efter delobjektet. Mer generellt har objektet döpts efter den dominerande delobjektstypen i objektet, och om det inte funnits en dominerande delobjektstyp (>75 % av ytan) har objektet döpts till ett komplex, till exempel våtmarkskomplex. Detta gör att de intressanta delobjektstyperna som inte dominerar ett objekt eller om delobjektstyperna finns representerade under olika komplex, undgår en sökning och missas på så sätt. Sökningar kan i dagsläget bara utföras på objektsnivå. När det inte går att lokalisera delobjektstyperna finns det heller ingen möjlighet att bestämma arealen av ett visst delobjekt på kartskiktet. Maderna och fuktängarna ingår som oftast till exempel i objektstyperna; våtmarkskomplex, limnogen strandkomplex, marint våtmarkskomplex och strand vid vattendrag.

Uppsala län har dock varit lite utförligare genom att i en speciell kolumn för beskrivning av objektet även tagit med delobjektsnamnet. På detta sätt har 52 % av de intressanta delobjekten i Uppsala län lokaliserats, men Uppsala län utgör ett undantag. Uppsalas beskrivning av vissa delobjekt har medfört att arbetet åtminstone kunnat verifiera tekniken att aktualisera delobjekten genom en SMD-analys. Det går dock att lokalisera de olika delobjektstyperna i VMI-databasen men då måste sökningen göras på ett objekt i taget. Detta är inte praktiskt eftersom det finns hundratals objekt per län som då måste gås igenom manuellt.

VMI-objekten har med utgångspunkt från begränsningen ovan istället huvudsakligen använts till att presentera våtmarksytor, teoretisk avkastning och teoretisk biogasutbyte, länsvis.

Fördelen med VMI är att det är en gedigen databas som täcker alla våtmarkstyper i Sverige där 4,3 miljoner ha har kartlagts. Nackdelen är att inventeringsdata i snitt är 20 år gamla i Biogas Östs region, se (Tabell 4). Det råder alltså stor osäkerhet om VMI:s våtmarker har växt igen, förbuskats eller till och med blivit skog. Ett försök har utförts för att analysera igenväxtheten med hjälp av en speciell karttyp som beskriver olika marktäcketyper som, skog, myr, hygge m.m. Detta kartskikt, SMD-marktäckedata är mer aktuellt än VMI.

TABELL 4. AKTUALITET PÅ VMI DATA.

Länen	C Län	U Län	T Län	D Län	E Län	AB län	I Län
Inventeringsår	1983- 1984	1989- 1990	1991- 1993	1991- 1992	1993- 1993	1989- 1990	1992- 1994
Max ålder på VMI-data, per 2009	26 år	20 år	19 år	19 år	16 år	20 år	17 år

*Förkortningar. C- Uppsala län. U- Västmanlands län. T- Örebro län. D- Södermanlands län. E- Östergötlands län. AB- Stockholms län. I- Gotlands län.*

### 2.3.4 SMD-analys

GSD (Geografiska Sverige Data) är samlingsnamnet för lantmäteriets databaser som innehåller information motsvarande de allmänna kartorna. Marktäckedata finns i databasen och förkortas SMD (Svenska Marktäckedata) och redovisar vegetationstyper och markanvändningen i Sverige. Syftet med SMD-analysen var att aktualisera de äldre VMI objekten som kan ha växt igen. Informationen är uppbyggd kring tolkningar av satellitdata och lantmäteriets allmänna kartdatabaser, riksskogstaxeringsdata från SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet) och uppgifter från SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut), SCB (Statistiska Centralbyrån), SGU (Sveriges Geologiska Undersökning), Naturvårdsverket och Länsstyrelsens miljöenheter. Referensår är år 2000.

SMD består av ett nedladdningsbart kartskikt från lantmäteriet i form av rasterdata. SMD-kartan har många ointressanta marktäckeklasser som träd och myr. De aktuella klasserna ur slåttersynpunkt som har använts är bl.a. naturlig gräsmark och limnogen våtmarker. Informationen uppdateras med ett minimum av 10 år. Aktualiteten i Biogas Östs region är i genomsnitt 6 år för SMD (Lantmäteriet i Kiruna, 2009). En GIS analys med SMD-data överlagrat på VMI-objekten, som är mellan 16 till 26 år gamla (Tabell 4) i Biogas östs region, borde således kunna ge VMI-data med en aktualitet på 6 år och samtidigt sortera bort inaktuella VMI-objekt som växt igen.

SMD är indelat i 58 klasser. De fem utvalda SMD-klasserna som använts för att jämföra med VMI- objekten finns i tabell 5. De är de enda SMD-klasserna som kan omfatta de intressanta våtmarkstyperna; mad, strandäng och fuktäng. Om nomenklatur och klassdefinitioner går det att läsa i Lantmäteriet (2003).

De utvalda SMD-klasserna kan innefatta alla VMI:s våtmarkstyper som är aktuella för slätter. Klasserna har även en begränsad omfattning av träd och buskar. De äldre VMI-objekten som växt igen med träd och buskar kan därmed sorteras bort från de relativt ”intakta” VMI-objekten. OBS! Det går inte bara att använda SMD-kartan för att hitta lämpliga våtmarker. SMD har inte en lika specificerad kategorisering av våtmarker. Primärt används alltså VMI:s delobjektstyper för att hitta de lämpliga våtmarkstyperna och marktäckedata är en andra sortering på igenväxthet.

TABELL 5. SVENSKA MARKTÄCKEDATA (SMD), KLASSER OCH SANNOLIK REPRESENTATION.

SMD Klass	Namn	Sannolik representation <sup>1)</sup>	Fakta
2.3.1	Betesmark	86 %	Träd och buskar < 30 %, markerna är hävdade och ingår inte i rotationsjordbruk och kan inkludera ohävdade slätter och betesmarker. Minsta redovisningsenhet (MRE) 2 ha.
3.2.1	Naturlig gräsmark	i.u.	Vegetation på minst 50 % av ytan, gräs och örter på minst 75 % av vegetationsytan. (MRE) 5 ha.
3.2.1.2	Örtäng	i.u.	–    –
4.1.1	Limnogen vätmarker	62 %	Träd och buskar < 30 %. Inkluderar mader, kärr, vass, blekevätmarker. (MRE) 1 ha.
4.2.1	Saltpåverkade vätmarker	72 %	Öppna vätmarker. Inkluderar marsk-områden (mader), kärr, vass. (MRE) 1ha.

1) Sannolikheten att befintlig marktyp i har karterats. (Lantmäteriet, 2005).

## 2.4 EKONOMI

För att kunna jämföra kostnaden mellan olika slättermetoder har nyckeltal tagits fram för slätterkostnaderna. För storskalig slätter har två olika ekonomiska scenarion utförts, det första kring ett restaureringsåtagande på fem år, och det andra kring ett slätteråtagande på fem år. Det ekonomiska resultatet i de två scenariorna bygger på prisuppgifter och information från olika entreprenörer och en jordbrukare. Beräkningarna har utförts i Excel för att enkelt kunna utföra en fallstudie med olika priser, bidrag, avkastningar m.m.

## **2.5 "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKER**

Författarens kartläggning av intressanta våtmarker har varit utgångsmaterial i samband med analyser som utförts kring hur många av våtmarkerna som ligger inom 30 km radie av varje "hotspot" i Jonas Forsbergs arbete (Forsberg, 2009). En tänkbar avkastning från våtmarkerna har räknats om till en teoretisk biogasproduktion. Denna biogasproduktion har sedan relateras till anläggningen/anläggningarnas tänkta biogasproduktion och eventuella behov av kompletterande substrat. Den geografiska våtmarksanalysen kring "hotspotsen" har utförts med de kartlagda intressanta våtmarkerna som utgångsmaterial. Samtidigt tillverkades täthetskartor som visar de större intressanta våtmarkernas geografiska utbredning.

### 3 RESULTAT

#### 3.1 ENERGIINNEHÅLL OCH BIOGASPOTENTIALER

Den intressantaste faktorn att studera när det gäller näringsinnehållet i grovfoder för husdjur är metabolisk energi, den energi som djuret kan tillgodogöra sig (Spörndly E, 2009). Här följer resultatet som kom av idén att omvandla djurfoderenergi till en biogaspotential. Det finns stora likheter mellan den energi som ett djur kan tillgodogöra sig och energin som utvinns i biogasprocessen, där det även handlar om metabolisk energi. Resultatet från energiomvandlingen relateras sedan bland annat till det experimentella biogasutbytet från Demetriades (2008) rötförsök på ängshö. Diskussion om hur representativt omvandlingsvärdet är förs under diskussionen (stycke 4.1).

I inledningen presenterades mader och fuktängen och lite om deras flora. Det finns en mångfald av olika gräs, starr och örter som kan växa på dessa marktyper. Lifvendahl (2004) har tagit fram energidata från två grässorter (madrör och brunven) och två starrsorter (hundstarr och norrlandsstarr). Dessa gräs- och starrarter var dominerande i florán på strandängar vid Svartån – Nötmyran i Sala kommun där Lifvendahls arbete genomfördes under 2003. Dessa gräs- och starrarter har fått representera våtmarksgräs på mader, strandängar och fuktängar. Några energidata för vasstarr, blåttåtel eller fräkenarter, som är typiska för de fuktigare marktyperna som mader och strandängar, har inte gått att hitta. Lifvendahls specifika energivärden för gräs- och starrarterna har omvandlats till ett medelvärde ( $E_{gräs}$ ) som representerar de olika gräs- och starrarternas energivärden vid vardera slåtter tillfället.

Metabolisk energi från gräs och starr ( $E_{gräs}$ ) visas i (Tabell 6) tillsammans med den uppskattade biogaspotential ( $B_{ou}$ ) framtagen via energiomvandlingen, gjord av författaren. På rad två finns biogaspotentialen som har valts ut att representera våtmarksgräs,  $0,21 \text{ Nm}^3 \text{ metan}/(\text{kg, TS})$ . Alla beräkningar kring gasutbyten för våtmarksgräs är baserade på denna siffra. Constantinides energivärde för slåttergräs ger ett liknande värde,  $0,23 \text{ Nm}^3 \text{ metan}/(\text{kg, TS})$ . Sent skördad tuvtåtel (i ax) utmärker sig med det lägsta värdet  $0,15 \text{ Nm}^3 \text{ metan}/(\text{kg, TS})$ . Under stycke (4.2) finns mer utförlig information om gräs- och starr arternas energiinnehåll.

TABELL 6. METABOLISK ENERGI FÖR GRÄS, OCH UPPSKATTADE BIOGASPOTENTIALER VIA METABOLISK ENERGI.

Gräs- och starrarter	$E_{gräs}$ (MJ/kg TS)	$B_{0u}$ Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> /kg TS) <sup>1)</sup>
Gräs och Starr <sub>2)</sub>	11,0	0,28
Gräs och Starr <sub>3)</sub>	8,5	0,21
Låglänt starrensilage 8/8 <sup>4)</sup>	10,0	0,25
Höglänt hö med mycket tuvtåtel och ängskavle 8/8 <sup>4)</sup>	9,6	0,24
Ensilerat starrhö 20/7 <sup>4)</sup>	9,5	0,24
Tuvtåtel i ax <sup>4)</sup>	6,1	0,15
Ängshö <sup>5)</sup>	9,0	0,23

1) Uppskattat biogasutbyte via  $E_{gräs}/E_{CH_4}$ .

2) Energimedelvärde för gräs och starrarterna på försommaren (22-23 maj och 7:e juni). För värdena se (4.1).

3) Energimedelvärde för gräs och starrarterna vid slättertids punkten (7-8 juli). För värdena se (stycke 4.1).

4) Tidigare studier i bilaga från (Lifvendahl, 2004).

5) Från "Torr äng- hö" området, Slätter 15/7. Troligtvis med tuvtåtel. (Constantinides, 2008).

### 3.2 SMÅSKALIG SLÅTTER

I rapporten av Constantinides (2008) har mindre handledda självgående maskiner använts för att slåtta fyra olika marktyper. Hur bra fungerade maskinerna? Vad blev slätterresultatet? Nedan presenteras några slutsatser från Constantinides studie. Västmanlands länsstyrelse har genomfört studien med dessa maskiner med huvudsyftet att slåtta i Natura2000 områden och ÅGP-ytor (åtgärdsprogram för hotade arter).

Rapporten undersökte fyra olika marktyper, torr äng, stenig torr äng, tuvig normal mark och våt mark. De fyra marktyperna täckte totalt ett knappt fem hektar stort område. Området som slättades var ett naturreservat, Billingen, som tillhör Strömsholms naturreservat i Västmanland. Slåttern pågick mellan 14 juli till 12 augusti. Före slåttern uppmättes vegetationshöjden till i snitt 22 cm. Efter slåtterna var den 14 cm. Ca 5 ha slättades på en knapp månad. Typiska arter av kärlväxter och negativa indikatorer på området inventerades. Marken klassades som restaureringsmark eftersom det förekom negativa arter i mer än 25 % av provpunkterna. Med negativa arter menas arter som inte gynnas av hävd. Det fanns dock flera områden med flera intressanta positiva arter. Det får inte förekomma för många negativa arter om området ska klassas som "särskilda värden", annars blir det lägre miljöstödet enligt stycke (1.8) aktuellt.

Rapporten visar att det går bra att komma åt dessa ytor med de inköpta maskinerna (Tabell 7). Två slättermetoder användes. I den ena metoden tillverkades bara rundbalar av pressat ängs- och våtmarkshö.

I den andra metoden tillverkades ensilage av rundbalarna med en liten rundbalspress (Bild 4). Länsstyrelsen i Västmanland köpte in maskinerna och lät inhyrda entreprenörer sköta slåttarn.

TABELL 7. MASKINER SOM ANVNÄDES I BILLINGEN, VÄSTMANLAND SAMT INKÖSPRISER (CONSTANTINIDES, 2008).

Maskinpark	Inköspriser, kr
Tvåhjulstraktor (Aebi CC66) med slåtterbalk (1,68 m bred) och gaffelsidräfsa (2,7 m bred)	173 300
Breddningshjul	7 316
Rundbalspress med egen motor som dras av 4-hjuling.	195 000
Fyrhjulig motorcykel	70 000
Ensilageplastare	32 000
Mobilt elverk	i.u.
<b>Summa</b>	<b>477 600</b>



BILD 3. TVÅHJULSTRAKTOR (AEBI CC66) MED SLÅTTERBALK MONTERAD (VÄNSTER) OCH MED GAFFELSIDRÄFSA (HÖGER). (FOTO: MARVIN MARTINS)



BILD 4. FYRHJULIG MOTORCYKEL MED RUNDBALSPRESS (VÄNSTER) OCH ENSILAGEPLASTARE MED ELVERK (HÖGER), ASKÖVIKEN. (FOTO: MARVIN MARTINS)

De olika arbetsmomenten bestod av slåtter, vändning, strängläggning, pressning och inplastning. Slätterbalken var en självgående tvåhjulstraktor. Tvåhjulstraktorn växlade mellan sina två verktyg, slåtterbalken och gaffelsidräfsan (Bild 3). Rundbalspressen var av modell mindre och blev dragen av en fyrehjulig motorcykel (Bild 4).

Ensilageplastaren plastade in rundbalarna som vägde mellan 16 och 30 kg beroende på TS-halt i växtmassan.

Enligt Constantinides tyckte entreprenören att maskinerna fungerade i stort sett bra. 15 timmars maskinproblem förekom och 7 timmars service, på totalt 161 arbetade effektiva timmar av slåtterarbetet. Det var mest problem med maskinerna när höet var vått som på området ”våt mark” eller när det hade regnat. Den effektiva tiden består av vändning, strängläggning, pressning, inplastning, borttransport och bränning som redovisas under ”arbetstid” i tabell 8 under stycke (3.4.1). Där finns även slåtterkostnader för de olika marktyperna redovisade. Gaffelsidräfsan användes för att vända höet och för strängläggning. Det var lättast att slåtta på ”stening torr äng” och tyngst på ”tuvig normal mark” därefter ”våt mark”. Rundbalspressen hade vissa problem med smörjning och balnät i maskineriet. Slätterbalken och strängläggaren gick sönder vid något tillfälle. Det förekom även startproblem och säkringar som gick. Ungefär 5 % av balarna krävde tejpning på grund av hål. Inplastningen var flaskhalsen som tog längst tid att utföra av alla moment. Skötselresultatet blev dock bra. Andelen hävdad yta ökade och tuvigheten minskade vilket underlättar för nästa års slåtter. Kvaliteten på hö och ensilage varierade, förmodligen på grund av att det var första året som det bedrevs slåtter enligt Constantinides.

### **3.3 STORSKALIG SLÅTTER**

PE-TE Stubbfräsningar AB är en av två entreprenörer i Biogas Östs region som har kapacitet för storskalig slåtter. Deras maskinpark består av specialmaskiner med larvfötter som har lågt marktryck och som medför att de kan jobba på våtare marker utan att förstöra vegetation och markskikt. Maskinerna används för gräsklippning och tuv-, sly- och stubbfräsning (Bild 7) (Bengt Petterson, pers.komm.). Vid slåtter utförd av PE-TE, åker till exempel en maskin först och slår gräset och en andra maskin kommer sedan efter med balmaskinen. För att samla upp balarna åker sedan maskinerna med balspjut och spetsar två åt gången och lägger dem på torrare mark.

I skrivande stund utförs i Örebro ett arbete av PE-TE där stränderna kring en fågelsjö (Tysslingen) slåttas. Materialet ska rötas i Swedish Biogas Internationals nya biogasanläggning i Örebro. Arbetet sker i samarbete med Örebro länsstyrelse, Världsnaturfonden WWF, Örebro kommun, Swedish Biogas International AB, och lantbrukare vid Tysslingen. PE-TE Stubbfräsningar har även åtagandepplaner för andra slåtterområden.

LVR AB i Söderhamn är en annan entreprenör som klarar av storskalig våtmarksslåtter med liknande maskiner. De har dock ingen egen balpress utan använder en som Västmanlands länsstyrelse tagit fram (Bild 5) i ett LIFE-projekt (Asköviken, 2009). Slåtteraggregatet som används är av standardmodell (Bild 6) med kapaciteten 3 ha/timme. Jan-Inge Tobiasson på Västmanlands länsstyrelse har varit delaktig i projektet och har delat med sig av information kring balpressen.



BILD 5. SPECIALUTVECKLAD RUNDBALSPRESS AV VÄSTMANLANDS LÄNSSTYRELSE.  
(FOTO: MARVIN MARTINS).

Några fakta kring balpressen (Jan-Inge Tobiasson, pers.komm.).

- Balpressen är en modifierad kommersiell balpress. Inköp och modifieringskostnad ligger runt 1,5 ggr en standardmodell (Bild 5).
- Slåtterkapacitet ca 3-4 hektar/dag på våtmarker med känsligt underlag.
- Anslutningarna är av vanlig modell för traktor (krafturtag).
- Fuktiga marker är allmänt sett känsligare för mekanisk påverkan än torrare. Balpressen, som inte har någon egen drivning på banden, bör därför inte köras för snabbt på dessa ytor, då rotfilten riskeras ta skada. Balpressen klipper inte gräset vilket är bra för att undvika förlust av cellvätska.



BILD 6. ROTOR SLÅTTERAGGREGAT. VÄSTMANLANDS LÄNSSTYRELSE. (FOTO: MARVIN MARTINS).



BILD 7. SLÅTTERMASKIN (PE-TE STUBBFRÄSNINGAR AB) MED FRÄSAGGREGAT MONTERAT. (FOTO: MARVIN MARTINS).

### 3.4 EKONOMI

Här presenteras ekonomiska nyckeltal för slåtterkostnaden kring 1kg TS av våtmarksgräs. För storskalig slåtter inkluderas transportkostnad i nyckeltalet. Transportkostnad har inte behandlats för småskalig våtmarksslåtter eftersom det är alldeles för små balar som produceras för att vara intressant, och kostnaden visar sig redan vara 3-4 gånger högre än för storskalig slåtter. För småskalig slåtter är kostnaden för maskinutrustning inte medtagen. Här är det tänkt att maskinparken redan finns tillgänglig som till exempel hos Västmanlands län, där de köpt in maskinparken och låtit entreprenörer utföra arbetet. Ett antaget timpris på 350 kr/h för entreprenörskostnaden har alltså utgjort hela kostnadsbasen.

#### 3.4.1 Nyckeltal för småskalig maskinslåtter

Constantinides (2008) har bidragit med värdefulla nyckeltal kring avkastning och kostnad, se sammanställningen i tabell 8. Speciellt intressant är avkastningen 2,4 respektive 1,3 ton TS/ha. Dessa avkastningar utgör basen för senare beräkningar kring gasutbyten i denna rapport. Den lägre siffran, 1,3 ton TS/ha har använts i beräkningarna för att inte överskatta avkastningen när nyckeltalen tagits fram för kostnadsberäkningar kring storskalig slåtter. Värt att notera är också de relativt höga slåtterkostnaderna; 12,5 kr/(kg, TS) för ”våt mark” och 9,2 kr/(kg, TS) för ”tuvig normal mark”.

TABELL 8. SLÅTTERDATA OCH NYCKELTAL (FET STIL) BASERAT PÅ SIFFROR FRÅN CONSTANTINIDES (2008). SLÅTTERPERIOD 14/7 – 12/8, EN SKÖRD.

	Hö				Ensilage			
	Torr äng	Stenig torr äng	Tuvig normal mark	Våt mark	Torr äng	Stenig torr äng	Tuvig normal mark	Våt mark
Areal, m <sup>2</sup>	9265	5104	8896	4010	9872	2942	5330	1946
Arbetstid, timmar/ha	31,3	18,3	43,5	28,3	29,1	35,9	63,1	46,7
Skörd, ton/ha <sup>1)</sup>	2,3	1,4 <sup>3)</sup>	4,1 <sup>7)</sup>	i.u. <sup>4)</sup>	2,8	6,3	5,9	6,3
Skörd, ton TS/ha	-	-	-	-	-	-	<b>2,4<sup>5)</sup></b>	<b>1,3<sup>6)</sup></b>
Antal balar/ha	150	90	400	i.u.	140	210	370	260
Arbetskostnad Kr/ha <sup>2)</sup>	11000	6400	15200	9900	10100	12600	22100	16300
Arbetskostnad Kr/bal	73	71	38	-	72	60	60	63
Nyckeltal slåtterkostnad Kr/(kg, TS)	-	-	-	-	-	-	<b>9,2</b>	<b>12,5</b>

1) Beräknad våtvikt för ensilage har baserats på vägning av ett urval av balar. Varierande TS-halt på ensilaget. Höet vändes och torkades med varierande TS-halt.

2) Baserad på 350: -/tim.

3) Avkastningen blev mindre på denna yta.

4) Hö kasserat.

5) TS-halt uppskattat till 40 %, 24h torktid, fint väder.

6) TS-halt uppskattat till 20 %, marken våt, 6h torktid, 19 grader mulet.

7) 30 procent lägre skörd p.g.a. delvis kasserat hö.

### 3.4.2 Nyckeltal för storskalig slåtter

En ekonomisk uppskattning presenteras här i form av nyckeltal för slåtter- och transportkostnader avseende 1 kg TS av våtmarksgräs. Det ekonomiska resultatet av ett restaureringsscenario och ett slåtterscenario presenteras även.

PE-TE Stubbfräsningar har uppgett att de tar omkring 5 000 kr/ha för slåtter, balning och ihopsamling. För fräsarbeten kan arbetsbördan variera stort och det är svårt att ge en generell kostnad men en rimlig kostnad kan vara 10 000 kr/ha (Tabell 9). Arbeten som tillkommer och som inte har tagits med i beräkningarna är lossning av lastbil vid anläggningen och hackning/finfördelning av rundbalen. Här har antagits att biogasanläggningen kan hantera rundbalen med egen traktor eller liknande och hacka den i egen utrustning. Slätterkapaciteten borde ligga runt 3-4 ha/dag, samma som LIFE-projektets rundbalspress. Detta är dock obekräftade siffror.

TABELL 9. PRISER, PE-TE STUBBFRÄSNINGAR AB.

Entreprenör	Pris per 2009, kr/ha <sup>1)</sup>
PE-TE Stubbfräsningar AB	Ca 5000 kr, Slätter o balning Ca 10000 kr, restaurering (fräsning) <sup>2)</sup>

1) (Bengt Petterson, pers.komm.).

2) Uppskattning. Svårt att generalisera priset.

Ett tänkbart scenario är att det finns flera mindre våtmarker inom ett samlat geografiskt område som tillsammans kan producera ett minimum antal balar. Eller ett större våtmarksområde som kommer upp i ett minimum av balar. Ett minimum av balar är här tänkt som det antal balar som fyller en lastbil plus släp (40 ton) och visar sig motsvara ett 4 ha stort område (minimumyta). Eftersom transportavstånden blir längre jämfört med en biogasanläggning som har kontrakterade vallodlare i sin närhet blir lastbil (40 ton) den mest ekonomiska transporten eftersom nettolast/åkerkostnadskvoten måste maximeras. Liknande slutsats finns i (Johansson & Nilsson, 2007).

Lastbilen kan tänkas köra en vända inom en begränsat område för att samla upp balarna, men traktorn som ska lasta balarna kan bli ett problem. Det kan finnas lastbilar att hyra som har kranarm som kan hantera lastning och lossning själv, men det bygger på att slätterentreprenören själv transporterar och lägger balarna på fast mark intill en farbar väg så att lastbilen kommer åt dem. Det kan innebära längre sträckor vid vissa våtmarker och ingår inte i PE-TE:s givna priser. Ett mer sannolikt alternativ är att en traktor lämpligtvis hyrs in från en jordbrukare i närheten, som får sköta eventuell inplastning och transporten från våtmarksområdet till uppställningsplatsen vid lastbilen. Nedan följer två tänkbara scenarion rörande våtmarksslåtter. En tänkt ersättning om 0,6 kr/(kg, TS) för 1 kg TS av våtmarksgräs har kalkylerats att biogasanläggningar är villiga att betala. Detta är baserat på att biogaspotentialen för våtmarksgräs ligger runt 60 % av biogaspotentialen för åkervall, och att betalningen för åkervall kan tänkas vara 1 kr/(kg, TS) (Edström m.fl., 2008).

**Scenario 1:** Ett ca 4 ha stort våtmarkområde bedöms som restaureringsområde. Ingen slåtter har skett tidigare och området måste fräsas första året. En femårigt restaureringsåtagande inleds. Slåtter bedrivs år 2-5. 45 storrundbalar á ca 600 kg antas kunna produceras per skörd. Avstånd från biogasanläggningen till våtmarken är 30 km enkel väg, viket innebär totalt 60 km vägtransport. Biogasanläggningen antas betala på 0,60 kr/(kg, TS) för våtmarksgräset. Avkastningen antas vara den lägre (1,3 ton TS/(ha, år), enligt Tabell 8). Övriga antaganden som ligger till grund för beräkningarna finns i bilaga (NYCKELTAL VÅTMARKSGRÄS).

TABELL 10. SLÅTTER- OCH TRANSPORTKOSTNADER FÖR BÅDA SCENARIONA

Slåtter- och transportkostnader per år per minimumyta (4 ha)	
Slåtterkostnad/Minimumyta, kr	20000
Transportkostnad, kr	2100
Traktorentreprenörens pris, kr	875
Kostnader slåtter och transport, kr	22975
Nyckeltal, slåtter- och transportkostnader, kr/(kg, TS)	4,42

Tabell 10 presenterar resultat kring kostnaden för storskalig slåtter i form av nyckeltalet 4,42 kr/(kg, TS), vilket är betydligt lägre nyckeltal än för småskalig slåtter (Tabell 8).

Resultatet från scenario 1 (Tabell 11) visar att det inte är ekonomiskt hållbart i dagsläget att inleda ett restaureringsarbete. Ett negativt resultat på 11 053 kr erhålls efter fem år.

TABELL 11. RESULTAT SCENARIO 1

Resultat, scenario 1	
Restaureringsstöd, kr	72000
Intäkter från försäljning av våtmarksgräs till biogasanläggning, låg avkastning, (4 år), kr	12847
Initial slåtterkostnad (år 1), 10 % av faktiska utlägg (90 % erhålls av JBV), kr	4000
Kostnader slåtter och transport (4 år), kr	91900
Intäkter, Total, kr	84847
Kostnad, Total, kr	95900
Resultat, kr	-11053
Nyckeltal, slåtterintäkter, kr/(kg, TS)	3,26
Nyckeltal, slåtter- och transportkostnader, kr/(kg, TS)	4,42

**Scenario 2:** År 1-5. Ett våtmarksområde bedöms som slåtteräng där ungefär hälften av ytan klassas som särskilda värden och andra hälften som allmänna. En skötselplan upprättas på fem år. Området är en minimumyta (ca 4 ha) som kan producera 45 storrundbalar á ca 600 kg per skörd. Avståndet från biogasanläggningen till våtmarken är 30 km enkel väg, totalt 60 km vägtransport.

Biogasanläggningen antas betala på 0,60 kr/(kg, TS) för våtmarksgräset. Övriga antaganden som ligger till grund för beräkningarna finns i bilagan (NYCKELTAL VÅTMARKSGRÄS).

TABELL 12. RESULTAT SCENARIO 2.

Resultat, Scenario 2	
Miljöstödet, särskilda värden, kr (2 ha)	35000
Miljöstödet, allmänna värden, kr (2 ha)	11000
Intäkter från försäljning av våtmarksgräs till biogasanläggning, låg avkastning, kr	16059
Intäkter, Total, kr	62059
Kostnader slätter och transport, kr	114875
Resultat, kr	-52816
Nyckeltal, slätterintäkter, kr/(kg, TS)	2,39
Nyckeltal, slätter- och transportkostnader, kr/(kg, TS)	4,42

Resultatet i Tabell 12 visar att det är betydligt mer ohållbart ekonomiskt att bedriva slätter än restaurering. Ett negativt resultat på 52 816 kr erhålls efter fem år. I diskussionen under stycke (4.4.2) kommer de ekonomiska faktorer som har störst inverkan på resultatet att belysas.

### 3.5 GIS-ANALYSER

Sammanställningen av VMI-objekten visade att det finns betydande VMI-arealer med slätterpotential. Dock är förmodligen hälften av dessa ytor inaktuella på grund av igenväxning. TUVÅ-arealerna visade sig vara mindre men mer aktuella på grund av sin senare inventering. Forsbergs centraliserade biogasanläggningar och dess behov av ett kompletterande substrat kan förmodligen gott och väl tillgodoses genom våtmarksgräs. Detta om både VMI- och TUVÅ-objekten räknas med i tillgänglighetsanalysen av våtmarksobjekt i anläggningarnas närhet.

#### 3.5.1 VMI

Som nämnts under stycke (2.3), valdes tre delobjektstyper ur VMI; mader, strandängar och fuktängar. Alla bedömdes som aktuella för arbetet. Tabell 13 visar en sammanfattning av hur mycket som finns kartlagt av de intressanta våtmarkstyperna. Siffrorna kommer från rapporten "Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar" (Gunnarsson & Löfroth, 2009). SMD-analysen som utfördes kom fram till att ca hälften av delobjekten är igenväxta. SMD-analysen förklaras nedan. Som nämnts tidigare finns endast vissa VMI-delobjekt identifierade för Uppsala. Dessa VMI-ytor i Uppsala län (2744 ha i Tabell 14) utgör 52 % av den totala ytan för de intressanta delobjektstyperna i Uppsala, totalt 5300 ha i Uppsala län (Tabell 13). Delobjektens areal (2744 ha) erhöles genom att manuellt undersöka VMI-databasens objekt som innehåller de intressanta delobjekten, en efter en. Detta förfarande är opraktiskt för en större mängd delobjekt men har ändå bidragit med ett underlag för SMD-analysen.

Genom att se hur delobjekten som trots allt har lokaliserats, grupperar sig i Uppsala län, ges en viss insikt om var resterande våtmarksytor kan tänkas ligga i länet.

TABELL 13. AREAL INTRESSANTA VÅTMARKSTYPER ENLIGT VMI I BIOGAS ÖSTS REGION OCH FÖRMODAD AKTUELL AREAL I DAGSLÄGET (SMD-ANALYS), AREAL I HA.

	C Län	U Län	T Län	D Län	E Län	AB län	I Län
Mad vid sjö	2500	1600	700	600	400	300	20
Mad vid vattendrag	1500	2000	500	600	1300	50	500
Limnogen strandfuktäng	500	2300	700	700	300	300	100
Marin strandfuktäng	500	0	0	300	700	300	2100
Fuktäng	300	50	200	700	20	400	2300
Totalt	5300	5950	2100	2900	2900	1350	5020
Minus 47 % av Total (SMD-analys)	2491	2797	987	1363	1363	635	2359

*Förkortningar. C- Uppsala län. U- Västmanlands län. T- Örebro län. D- Södermanlands län. E- Östergötlands län. AB- Stockholms län. I- Gotlands län.*

För att kunna undersöka effekten av SMD-analysen, med andra ord hur mycket av VMI-objekten som har växt igen, har en ”före och efter jämförelse” utförts. Ett urval<sup>1)</sup> av objekten valdes ut för denna jämförelse (Tabell 14). Storleken på delobjektens ytor har sedan erhållits genom det manuella förfarandet enligt ovan. Storleken på de utvalda<sup>1)</sup> delobjektens ytor visas i tabell 14, före och efter SMD-analysen.

Resultatet visar att knappt hälften av de intressanta VMI-delobjekten i Uppsala län (47 %) inte har växt igen med buskar eller träd. Det blir förmodligen inte samma resultat för de andra länen beroende på de olika fördelningarna av delobjekten inom länen. Vissa delobjekttyper kan ha större igenväxningsgrad än andra, men det borde inte skilja mycket med tanke på att de andra länen har inventerats senare än Uppsala.

TABELL 14. ANALYS PÅ URVAL AV VMI-YTOR I UPPSALA LÄN.

Resultat av SMD-analysen	Delobjektytor, ha
Ytan av ett urval, 85 st., av intressanta VMI-delobjekt <sup>1)</sup>	2744 <sup>2)</sup>
Kvarvarande yta efter SMD-analys på urvalet.	1283

**Resultat: 47 %** av VMI-ytorna är fortfarande aktuella (2009).

- 1) Ett urval av intressanta VMI-delobjekt visade sig bli alla objekt p.g.a. den stora variansen för objektens areal. Se bilaga (Beräkningar för VMI-urvalet) för urvalsanalysen.*
- 2) I VMI databasen har delobjektytornas areal under varje objekt sammanställts genom en manuell sökning på objekten i VMI-databasen och utgör ca 52 % av alla lämpliga våtmarker i Uppsala län.*

### 3.5.2 Ängs- och betesmarksinventeringen

De kartlagda ÄoB- (Ängs och Betesmarksinventeringen) objekten finns representerade i tabell 15. I kategorin restaurerbara ytor med naturvärdet vatten (rest, vatten) behöver inte naturvärdet vatten vara exklusivt utan även andra naturvärden kan ingå. Det betyder att ytan (rest, vatten) som är intressant ur ett slåtter perspektiv kan vara mindre än vad som framgår, dock oklart hur mycket mindre. Av den anledningen har det inte varit möjligt att sortera ut objekt med minimumytan 4 ha.

Resultatet från sammanställningen visar att det finns betydliga ytor som kan restaureras, speciellt inom Gotlands och Uppsala län. Samma två län har även stora områden med naturtypen 6410 där det borde finnas en betydande andel ohävdad mark. Som förklarats tidigare utfördes sökningen med kriteriet att området får vara välhävdad på högst 50 % av ytan. Detta sökkriterium medger att merparten av ytorna kan vara dåligt eller inte alls hävdade. Bara 6410-tytor från 4 ha och uppåt togs med i sammanställningen.

Differensen mellan (Totalt) och (rest, vatten) representerar de andra restaurerbara objekten. Naturvärdena hos dessa objekt har alltså inte varit centrerade kring vatten. Bland dessa objekt återfinns marker som värderats restaurerbara med avseende på träd, kultur, flora och övriga naturvärden. Dessa övriga restaurerbara ytor behandlas inte i detta arbete.

TABELL 15. ÄNGS- OCH BETESHAGSINVENTERINGENS UTVALDA YTOR OCH AVKASTNING.

	C Län	U Län	T Län	D Län	E Län	AB län	I Län
ÄoB- typ 6410, all yta, ha	679	224	282	288	270	122	1498
ÄoB- typ, 6410, endast objekt med area $\geq$ 4 ha, ha	543	196	240	179	139	110	1147
ÄoB- typ, rest, vatten <sup>1)</sup> , ha	578	178	28	493	444	284	666
<b>Totalt<sup>2)</sup>, ha</b>	1121	374	268	672	583	394	1813
Rest, alla <sup>3)</sup> , ha	1810	599	251	1356	2235	1003	7824

Förkortningar. C- Uppsala län. U- Västmanlands län. T- Örebro län. D- Södermanlands län. E- Östergötlands län. AB- Stockholms län. I- Gotlands län.

- 1) Restaurerbara områden enligt TUVÅ där naturvärdet vatten ingår. Andra värden kan ingå, och vattenvärdet behöver inte vara exklusivt.
- 2) Ytan 6410 (endast objekt med area $\geq$ 4 ha) + ytan rest, vatten.
- 3) Alla restaurerbara områden. Med värdena; vatten, floravärden, kulturmiljövärden, träd, övrigt.

### 3.5.3 Dubbelrepresentation

För att undersöka hur stor andel av ytorna som är dubbelrepresenterade i de bägge databaserna TUVÅ och VMI, användes GIS-mjukvaran som på ett enkelt sätt tog fram den andel av ytan som överlappar varandra. VMI-kartskiktet som användes representerar dock endast Uppsala län, med samma 47 % som presenterats ovan (efter SMD-analysen). VMI-kartskiktet är det som använts i Tabell 16 (1283 ha). Det andra kartskiktet består både av TUVÅ-kartskiktet 6410 och restaurerbart med avseende på vatten. Resultatet visat att det finns en marginell överlappning i kartskikten mellan TUVÅ-objekt och VMI-objekt (6,9 %). Resultatet är representativt för Uppsala län men kan tänkas vara i samma storleksordning för de andra länen i Biogas Östs region.

TABELL 16. ANALYS AV ÖVERLAPPNING MELLAN VMI- OCH TUVÅKARTSKIKT.

Kartskikten som jämförs	
VMI: Kvarvarande yta efter SMD-analys på urvalet, ha	1283
TUVÅ: 6410 + restaurerbart/vatten, ha	1257
Överlappande yta, ha	174
Överlappande yta av totala (1283+1257)	<b>6,9 %</b>

### 3.6 AVKASTNING OCH BIOGASPRODUKTION

Här presenteras teoretiska biogaspotentialer och energiinnehåll i våtmarksgräs länsvis. För VMI (Tabell 17) och TUVA (Tabell 18) gäller att den lägre biogaspotentialen och det lägre energiinnehållet baseras på den lägre skörden 1,3 ton TS/ha från området ”våt mark” (Tabell 8). För den högre biogaspotentialen och det högre energiinnehållet gäller den större skörden 2,4 ton TS/ha från området ”tuvig normal mark” (Tabell 8).

Avkastningen är dessutom baserad på en skörd per år. Biogasutbytena i tabellerna baseras på den framtagna biogaspotentialen för våtmarksgräs 0,21 Nm<sup>3</sup> metan/(kg, TS). Utöver detta har biogasutbytet för våtmarksgräs reducerats till 40 % av denna biogaspotential, se diskussionen (stycke 4.3) för förklaring. VMI ytorna i Tabell 17 är baserade på de i Tabell 13.

TABELL 17. RESULTATET AV TÄNKBARA AVKASTNINGAR OCH BIOGASUTBYTEN FRÅN VMI-OBJEKT.

	C Län	U Län	T Län	D Län	E Län	AB län	I Län
Areal Totalt, minus 47 % (SMD-analys), ha	2491	2797	987	1363	1363	635	2359
Avkastning lågt räknat <sup>1)</sup> , ton TS, 1 skörd	3238	3635	1283	1772	1772	825	3067
Avkastning högre räknat <sup>2)</sup> , ton TS, 1 skörd	5978	6712	2369	3271	3271	1523	5663
Biogasutbyte lågt räknat <sup>3)</sup> , metan, Nm <sup>3</sup>	272017	305378	107780	148840	148840	69287	257646
Biogasutbyte högre räknat <sup>3)</sup> , metan, Nm <sup>3</sup>	502186	563774	198979	274781	274781	127915	475655
Energiinnehåll, lågt räknat, GWh	3,0	3,4	1,2	1,6	1,6	0,8	2,8
Energiinnehåll, högre räknat, GWh	5,6	6,2	2,2	3,0	3,0	1,4	5,3

Förkortningar. C- Uppsala län. U- Västmanlands län. T- Örebro län. D- Södermanlands län. E- Östergötlands län. AB- Stockholms län. I- Gotlands län.

1) Baserat på 47 % av total yta och den lägre skörden 1,3 ton TS/ha från området ”våt mark”, 1 skörd.

2) Baserat på 47 % av total yta och den högre skörden 2,4 ton TS/ha från området ”tuvig normal mark”, 1 skörd.

3) Baserat på ett 40 % erhållet metanutbyte av den totala biogaspotentialen vid 20 dagar.

TUVA-arealerna i tabell 18 är baserade på de i tabell 15. I Uppsala län finns det sammanlagt 4,4 GWh biogasenergi lågt räknat från VMI och TUVA (3,0 GWh +1,4 GWh). I Biogas Östs region finns ca 20 GWh biogasenergi bundet i våtmarksgräs, lågt räknat.

TABELL 18. RESULTATET AV TÄNKBARA AVKASTNINGAR OCH BIOGASUTBYTEN FRÅN TUVA-OBJEKT.

	C Län	U Län	T Län	D Län	E Län	AB län	I Län
Areal, Totalt <sup>1)</sup>	1121	374	268	672	583	394	1813
Avkastning lågt räknat <sup>2)</sup> , ton, 1 skörd	1457	486	348	874	758	512	2357
Avkastning högre räknat <sup>3)</sup> , ton, 1 skörd	2690	898	643	1613	1399	946	4351
Biogasutbyte lågt räknat <sup>4)</sup> , metan, Nm <sup>3</sup>	122413	40841	29266	73382	63664	43025	197980
Biogasutbyte högre räknat <sup>4)</sup> , metan, Nm <sup>3</sup>	225994	75398	54029	135475	117533	79430	365501
Energiinnehåll, lågt räknat, GWh	1,4	0,5	0,3	0,8	0,7	0,5	2,2
Energiinnehåll, högre räknat, GWh	2,5	0,8	0,6	1,5	1,3	0,9	4,0

Förkortningar. C- Uppsala län. U- Västmanlands län. T- Örebro län. D- Södermanlands län. E- Östergötlands län. AB- Stockholms län. I- Gotlands län.

1) Ytan 6410 (min areal/obj, 4 ha) + ytan rest, vatten.

2) Baserat på totalt och den lägre skörden 1,3 ton TS/ha från området "våt mark" Tabell 8.

3) Baserat på totalt den högre skörden 2,4 ton TS/ha från området "tuvig normal mark" Tabell 8.

4) Baserat på 40 % erhållet metanutbyte av den totala biogaspotentialen vid 20 dagar.

### 3.6.1 "Hotspots"

För att lokalisera våtmarksobjekt som kan förse anläggningarna i Forsbergs (2009) rapport med kompletterande substrat, utfördes en radiell sökning kring varje "hotspot". Våtmarksobjekten som ingick i sökningen bestod av; TUVAs-6410, TUVAs restaurerbart med avseende på vatten och VMI objekt (endast Uppsala län). Bara TUVAs-objekt 6410 med en minimumstorlek på 4 ha togs med. Sökningen sträckte över länsgränserna (i Biogas Östs region). I tabell 19 redovisas teoretiskt gasutbyte ur våtmarksgräs från våtmarksobjekten runt varje "hotspot", som den andel i procent denna gas utgör av minimikravet för gasproduktion i Forsbergs anläggningar (300 000 Nm<sup>3</sup> metangas).

40 % av våtmarksgräsets  $B_{0u}$  har använts i beräkningen av den teoretiskt genererade biogasen från våtmarksgräs runt varje "hotspot". Ingen hänsyn har tagits till när en "hotspot" ligger inom- eller överlappas av andra "hotspots" och den konkurrenssituation som kan uppstå om våtmarksgräset, om flera "hotspots" realiseras samtidigt. "Hotspots" för Uppsala län betecknas UP i tabell 19, och speciellt för Uppsala län gäller att 52 % av alla lämpliga VMI objekt i länet är inkluderade förutom TUVAs objekten ovan.

TABELL 19. ANDEL VÅTMARKSGRÄS AV MINIMUM GASPRODUKTION

	"Hotspots"	PL	PH
• PL betecknar teoretisk genererad biogas från våtmarksgräs runt varje "hotspot" som procent av 300 000 Nm <sup>3</sup> , baserat på den lägre avkastningen, 1,3 ton TS/ha.	UP1+VMI	26	47
	UP2+VMI	19	57
	UP3+VMI	21	64
• PH betecknar teoretisk genererad biogas från våtmarksgräs runt varje "hotspot" som procent av 300 000 Nm <sup>3</sup> , baserat på den högre avkastningen, 2,4 ton TS/ha.	UP4+VMI	18	56
	UP5+VMI	24	75
	UP6+VMI	19	60
	UP7+VMI	11	35
• Våtmarker som lokaliserats finns inom en radie av 30 km runt varje "hotspot".	UP8+VMI	13	39
	UP9+VMI	9	26
	ÖS1	5	16
Östergötland (ÖS) representerar här även Västmanland, Örebro, Södermanland och Stockholms län. De har ungefär samma storleksordning på procenttalen (PL och PH). Det framgår tydligt att VMI-objekten kan bidra med en betydande andel våtmarksgräs. Det finns alltså mer än tillräckligt av våtmarksgräs för att uppfylla "hotspot" anläggningarnas behov av kompletterande substrat (20 %) om VMI-objekten räknas in. Gotland (GO) utmärker sig genom att ha ungefär dubbelt så stor TUVAs-areal än de andra länen. Gotland har dessutom tillräckligt med substrat enbart från TUVAs- objekten för att täcka anläggningarnas kompletteringsbehov. Kartor över våtmarksutbredningen och "hotspots" finns i bilagan (KARTOR ÖVER VÅTMARKSUTBREDNINGEN I BIOGAS ÖSTS REGION).	ÖS2	3	9
	GO3	9	28
	GO4	6	20
	GO5	6	17
	GO6	14	44

## 4 DISKUSSION

På grund av fågelskyddet ät det rimligt att anta att slåtter kommer bedrivas efter den 15:e juli och på vissa plaster t.o.m. senare. Detta leder till att de flesta gräs har utvecklat en relativt hög fiberhalt. Vilken betydelse detta har för biogaspotentialen är något oklart men en diskussion angående detta förs nedan. Andra saker som diskuteras i detta avsnitt är gräs- och starrarternas metaboliska energivärden och avkastning samt energiomvandlingen i VOS-analysen, följt av diskussion kring möjliga gasutbyten för våtmarksgräs, lämpliga uppehållstider i biogasanläggningar och avgörande parametrar för ekonomin i en fallstudie.

### 4.1 ENERGIOMVANDLING VIA VOS-FODERDATA

De energivärden som Lifvendahl (2004) har presenterat för gräs- och starrarterna har tagits fram genom en s.k. VOS-analys. I detta arbete användes värden från denna analys för att göra en omräkning till biogaspotential se (stycke 3.1). Här nedan diskuteras teorin och validiteten i denna energiomvandling.

VOS (Vomvätskelöslig Organisk Substans) är en analysmetod för att beräkna metabolisk energi för olika fodersorter, in vitro, för bland annat idisslare. Energivärdena för gräsen i Tabell 6 benämnt  $E_{gräs}$ , är baserade på denna analysmetod.

VOS-analysen går till på följande sätt. Förtorkat och malet grovfoderprov blandas med en buffert (pH 7) och 1 ml vomvätska från en ko som standardutfodras. Blandningen inkuberas i 38 grader under 96 timmar i en syrefri miljö. Gas som bildas (bland annat metan och koldioxid) evakueras successivt utan införsel av syre. Efter inkubationstiden avlägsnas vätskan och kvarvarande mängd av provet torkas och vägs. Sedan askas och vägs provet igen. Kolet som bakterierna kan tillgodogöra sig (metaboliskt) har då avgått som koldioxid och metan eller är upplöst i provvätskan. VOS-faktorn beräknas som löslig organisk substans i förhållande till olöslig organisk substans. VOS-faktorn korreleras sedan till empiriska djurförsöksstudier där energimängder i träck, urin och gas relateras till energiinnehållet i idisslarens foder (gräset). En regression utförs sedan mellan djurförsöken och VOS faktorn (Lindgren, 1980). Ekvationen ger metabolisk energi för det specifika gräset (MJ/(kg, TS)), Ekvation 2.

$$E_{gräs} = 0,16 \times VOS - 1,91, r = 0,91, CV = 4,1 \quad (E2)$$

Tekniken för att utvärdera biogaspotentialen för specifika grödor är väldigt likartad VOS-analysen. Vatten, växtsubstrat, en buffertlösning och ympvätska blandas i glasflaskor. Ympvätskan tas från en stabil biogasanläggning (Seppälä m.fl., 2009). Både i Seppäläs studie och också i en annan biogasstudie som analyserar energigrödor och gräs Lehtomäki (2006) tas ympvätskan i bägge fall från anläggningar som samrötar med nötgödsel. Likhetera med bakteriekulturen, buffertlösning, temperatur m.m. talar för en jämförelse mellan energivärdena.

Biogaspotentialen ( $\text{Nm}^3$  metan per (kg, TS)) och metaboliskt energiinnehåll för idisslare (MJ/(kg, TS)) har alltså tagits fram med liknande laborativa metoder.

Som beskrivits under stycke (2.1), går teorin för uppskattad biogaspotential ut på att helt enkelt dela den metaboliska energin för gräset med värmeverdet för metan. En kontroll kan utföras mot vall där båda energiformer finns angiva i litteraturen. Oensilerad odlad vall har ett  $B_0$  på  $0,34 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  (Lehtomäki m.fl.; 2008). Vallfoder av toppkvalitet har ett metaboliskt energivärde runt  $11,7 \text{ Mj}/(\text{kg, TS})$  (Lindgren, 1980). Detta ger via energiomvandlingen  $E_{\text{gräs}}/E_{\text{CH}_4}$  en uppskattad biogaspotential ( $B_{0u}$ ) på  $0,29 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$ , det vill säga den uppskattade biogaspotentialerna är ca 15 % lägre än den som tagits fram med en metanpotentialanalys. Är det en slump? Eller borde det kanske förhålla sig så? Följande resonemang kan klargöra. En analys av de bägge systemens (rötprocessen och VOS analysen) delenergikomponenter ger följande:

- $E_{B0}$ , energin i metanet från ett fullständigt utrötat gräsmaterial (biogaspotentialen).
- $E_{B0, \text{ värme}}$ , värmemängd som bakterierna producerar i biogasanläggningen.
- $E_{B0, \text{ rötrest}}$ , kalorimetriskt energiinnehåll i askning av rötresten.
- $E_{VOS, \text{ gräs}}$ , metabolisk energi för gräset framtagen med VOS-analys och används i energiomvandlingen.
- $E_{VOS, \text{ CH}_4}$ , energin i metanet som evakueras ur VOS-provbehållaren.
- $E_{VOS, \text{ aska}}$ , det kalorimetriska energivärdet i det askade restmaterialet från VOS-analysen.
- $E_{VOS, \text{ värme}}$ , värmemängd som bakterierna producerar i provbehållaren.

De bägge systemens totala energi borde kunna likställas enligt Ekvation 3. Vänsterledet (VL) i Ekvation 3 motsvarar all energi i en anläggning som rötar gräset och högerledet (HL) motsvarar all energi i VOS-analysen för samma gräs.

$$E_{B0} + E_{B0, \text{ värme}} + E_{B0, \text{ rötrest}} = E_{VOS, \text{ gräs}} + E_{VOS, \text{ aska}} + E_{VOS, \text{ CH}_4} + E_{VOS, \text{ värme}} \quad (\text{E3})$$

Bakterierna i en rötprocess utvecklar extremt lite värme (Jarvis & Schnürer, 2009). Energitermerna för bakteriernas värmeutveckling är alltså små och står dessutom på var sin sida om ekvationen. Därmed förmodas de ha liten inverkan på analysen och kan dessutom antas till stor del ta ut varandra. Detta gör att  $E_{VOS, \text{ värme}}$  och  $E_{B0, \text{ värme}}$  kan strykas. Då erhålls Ekvation 4.

$$E_{B0} + E_{B0, \text{ rötrest}} = E_{VOS, \text{ gräs}} + E_{VOS, \text{ CH}_4} + E_{VOS, \text{ aska}} \quad (\text{E4})$$

Idisslare är väldigt bra på att smälta växtmaterial men de klarar inte av allt. Vissa polysackarider, lignin och vaxer – växternas strukturella komponenter – är fortfarande osmältbara för dem. I röt-kammaren kan det dock ske en ytterligare nedbrytning av dessa, fast då under en längre tidsperiod (Hobson & Wheatley, 1993). I detta fall produceras  $E_{VOS, \text{ CH}_4}$  under en betydligt kortare tid (96 h), än  $E_{B0}$  i en biogasanläggning (600 h). Det är alltså rimligt att anta att  $E_{VOS, \text{ CH}_4}$  också kommer att omsättas till metan i biogasanläggningen.  $E_{VOS, \text{ gräs}}$  består av upplöst organisk substans. Med samma resonemang som ovan går det alltså att säga att  $E_{VOS, \text{ gräs}}$  också kommer att omsättas till metan i biogasanläggningen.

Med resonemanget ovan borde följande gälla:  $E_{B0} > (E_{VOS, gräs} + E_{VOS, CH4})$ . (E5)

Hur stora är då energikomponenterna  $E_{VOS, aska}$ , och  $E_{B0, rötrest}$  ?

En ommöblering av Ekvation 4 ger.

$$E_{B0} - (E_{VOS, gräs} + E_{VOS, CH4}) = E_{VOS, aska} - E_{B0, rötrest} \quad (E6)$$

Eftersom VL i Ekvation 6 är positiv (större än noll) följer att även HL måste vara positiv. Vilket ger att energiinnehållet i  $E_{VOS, aska}$  måste vara större än energiinnehållet i  $E_{B0, rötrest}$ . Differensen i HL kallar vi  $\Delta E$ . En omstrukturering av Ekvation 4 ger då Ekvation 7.

$$E_{B0} = E_{VOS, gräs} + E_{VOS, CH4} + E_{VOS, aska} - E_{B0, rötrest} \quad (E7)$$

$$E_{B0} = E_{VOS, gräs} + E_{VOS, CH4} + \Delta E \quad (E8)$$

Ekvation 8 förstärker argumentet att  $E_{VOS, gräs}$  endast utgör en andel av den totala biogaspotentialen ( $E_{B0}$ ). Den uppskattade biogaspotentialen ( $B_{0u}$ ) som grundar sig på  $E_{VOS, gräs}$  bör alltså vara en underskattning. Något om storleksordningen på  $\Delta E$  och  $E_{VOS, CH4}$  går dock inte att säga utan vidare analys.

Det övre värmevärdet har använts vid energiomvandlingen se (stycke 2.1, Tabell 2). Det övre värmevärdet är ett större tal för energivärdet för metan och betyder att all värme tas tillvara vid förbränning genom att inkludera det bildade vattnet som ånga. Det undre värmevärdet används normalt vid förbränningsberäkningar där vattenhalten i materialet kondenseras och reducerar därmed den praktiskt erhållna värmeenergin. Det övre värmevärdet är således det lämpliga värmevärdet att välja i energiomvandlingen ( $E_{gräs}/E_{CH_4}$ ) i och med att det är en teoretisk energiomvandling som görs mellan två energiformer. Teorin med energiomvandlingen är inte bunden till VOS-modellens framtagna energivärden utan borde kunna tillämpas på andra metaboliska energimodeller.

#### 4.2 ENERGIINNEHÅLL OCH AVKASTNING AV VÅTMARKSGRÄS

Energiomvandlingen som diskuterats ovan, används för att uppskatta biogaspotentialen via metaboliska energivärden från Lifvendahl (2004). Nedan framgår att en senare skördetid även ger ett lägre energivärde och därmed en lägre uppskattad biogaspotential. Hur stor är då skillnaden i energivärde mellan olika grässorter och vilka faktorer inverkar på värdet? Lifvendahl studerade två gräsarter (madrör och brunven) och två starrarter (hundstarr och norrlandsstarr). Dessa var de dominerande gräs och starrarterna på strandängarna. Provtagningarna fördelades på tre tillfällen; försommaren (22-23 Maj och 7 juni), slättertidspunkten (7-8 juli) och under betesperioden (efterbete på de redan slåttade ytorna) under sensommaren (28 augusti). Där det sista provtagningstillfället inte behandlas eftersom det sannolikt bara blir frågan om en slåtter per säsong.

På försommaren var energivärdet för madrör och brunven 11,7 respektive 11,2 MJ/kg TS och norrlandsstarr och hundstarr 10,9 respektive 10,3 MJ/kg TS. Vid slåttertidpunkten hade energivärdena sjunkit och var för brunven, norrlandsstarr respektive hundstarr: 8,0, 7,7 och 7,9 medan madrör hade 10,3 MJ/(kg, TS). Ett energimedelvärde för Lifvendahls gräs- och starrsorter från försommaren blir 11,0 MJ/(kg, TS) och vid slåttertidpunkten 8,5 MJ/(kg, TS), (Tabell 6). Energiinnehållet i gräs- och starrsorterna sänks alltså med 23 % under denna tid. Provplatserna i Lifvendahls arbete visade att de två skiftena inte hade någon signifikant skillnad mellan sig med avseende på växtens näringsvärde. Arbetet visar även att växtplatsen är av mindre vikt för energiinnehållet än skördetillfället (tillväxtfas).

Lifvendahl (2004) nämner att det råder osäkerhet i kopplingen mellan gräsets utvecklingsstadium och smältbarheten i vissa studier kring foderväxter. Lehtomäki (2006) visar även på liknande problem. Det finns stora skillnader i biogaspotentialen mellan gräsblandningar, och inom gräsblandningar som skördats vid olika tidpunkter, som orsakas av komplexiteten i lignifieringsprocessen. Allmänt sett ökar avkastningen per hektar vid senare slåtter och med den, biogaspotentialen per våtvikt, eftersom TS-halten ökar i växterna med tiden, enligt Lehtomäki. En senare slåtter kan alltså ge mer biomassa per hektar men med högre grad av lignifiering i gräset. En tidigare slåtter ger då mindre biomassa per hektar men med en mindre grad av lignifiering. I och med att anläggningar arbetar med en begränsad uppehållstid (tiden då materialet bryts ner) finns det således ett optimalt slåtterdatum för en viss uppehållstid. Tidigare eller senare slåtter från denna brytpunkt (datum) ger alltså ett mindre gasutbyte per hektar.

Det är således inte biogaspotentialen som är den viktigaste parametern utan den biogasmängd som bildats fram till ca 20 dagar, speciellt om grödan är ett substrat i en samrötningsprocess. Där styrs uppehållstiden av de mer energirikare substraten som har en snabbare nedbrytningstid. Ur rötsynpunkt är det förmodligen fördelaktigare att slåtta så tidigt som möjligt efter den 15/7, trots en lägre biomassa jämfört med senare slåtter. Brytpunkten (slätterdatumet) som nämnts ovan har förmodligen redan passerats för anläggningar med uppehållstider kring 20-30 dagar. Den sena slåttertiden i slutet av juli har dock andra fördelar. Den gynnar inte bara fågellivet utan även återväxten av gräs och örter. När gräs och örter har gått i ax och bildat fröställning kommer en del av fröna att hamna på marken när våtmarksgräset hanteras. Detta bidrar till nästa års återväxt. Detta och fågelskyddet motiverar i sin tur senare slåtter.

Utöver energiinnehållet kommer också avkastningen av respektive grässort ha stor betydelse för det slutgiltiga energiutbytet om gräset används till biogasproduktion. En viktig faktor för avkastningen av våtmarksgräs är markfuktigheten. Enligt Jan-Inge Tobiasson (pers.komm.) på Västmanlands länsstyrelse, är avkastningen på Västmanlands läns våtmarker som står i anslutning till Mälarens vatten, beroende på vattenståndet på våren. Någon skillnad i avkastning orsakad av själva slåttern som pågått i 10 år på områdena, har Tobiasson inte märkt av. Att fuktigare marker ger en högre avkastning stämmer väl överens med de äldre populära slåttermarkerna mader, strandängar och fuktängar och deras produktivitet.

Enligt Constantinides (2008) är skördeutbytet från ”våt mark” 6,3 ton/ha. Hon anger ingen TS-halt men det verkade som om våtmarksgräset var extra vått på grund av tidigare regn och den korta torktiden. TS-halten har därmed uppskattats lågt för detta våtmarksgräs, till 20 % av författaren, vilket ger 1,3 ton TS/ha. Detta är siffran som använts för den lägre avkastningsberäkningen. Det andra högre avkastningsvärdet som använts är 2,4 ton TS/ha och baseras på området ”tuvig normal mark”. Marktypen kan säkert återfinnas i strandängar och fuktängar och har typiskt uppstått genom betande djurs klövtramp och kan alltså betraktas som en aktuell marktyp. ”Tuvig normal mark” har haft torktiden 24 timmar och TS-halten uppskattats till 40 % av författaren. Dessa två avkastningssiffror är endast exempel på tänkbara avkastningar och bör utredas mer, men de är inte på något sätt orealistiska utan är förmodligen underskattade med avseende på TS-halter och avkastning per hektar, med tanke på att det var första året som det slåttades.

Lifvendahl skriver följande om avkastning på naturmarker. Avkastningen kan variera mellan 800 kg TS/ha och år på naturbetesmarker av ”fårsvingeltyp” och 3 500 kg TS/ha och år för marker av ”storstarrstyp”. Det är dock oklart om det rör sig om en eller flera skördar (författarens anmärkning). Lifvendahl och Constantinides visar på svårigheten att generalisera över avkastningen från våtmarker. Slätter efter en restaureringsperiod ger sannolikt mer avkastning enligt Constantinides. Över tiden borde dock avkastningen sjunka något på grund av näringsbortfallet i avlägsnandet av gräs. Detta är något som Tobiasson dock inte märkt på deras våtmarker. Sammanfattningsvis är det tydligt att olika gräs, på grund av olika energiinnehåll, kommer att ge olika gasutbyten om det används som substrat i en biogasprocess. Då energiinnehållet i gräset varierar med tidpunkten för skörd kommer skördetiden också ha betydelse på det slutliga biogasutbytet. För att få en bättre uppfattning om de tre våtmarkstypernas flora, bör en noggrannare undersökning utföras över vilka växter som är typiska tillsammans med en studie för att finna brytpunkten (slätterdatumet) för anläggningar med uppehållstider runt 20-30 dagar. Samrötningseffekter bör även studeras i samband med rötfförsöken.

### **4.3 GASUTBYTE OCH UPPEHÅLLSTIDER**

Biogaspotentialen hos ett gräs kan bestämmas pratiskt med s.k. satsvisa utröttningsförsök. Idag finns resultat från fåtal sådana försök tillgängliga (Tabell 20). Rörflen (*Phalaris arundinacea*) representerar en växt där röttningsdata finns tillgänglig. Rörflen växer i fuktig miljö nära havsstränder, insjöstränder och diken (Nylén, 1992), se även stycke (1.1). Den kan ses som ett exempel på en sent skördad våtmarksväxt men den är sannolikt inte en representativ art för de tre intressanta våtmarkstyperna. Till exempel finns den inte med i arbetet där Lifvendahl (2004) inventerar växterna på strandängen i Nötmyran (Västmanland). I rapporten av Demetriades (2008) finns metanpotentialsdata från ”ängsgräs”, men hon talar inte om vilket grässlåg det rör sig om och inte heller skördetid anges. Resultaten från dessa försök ger emellertid ett riktmärke för gasutbytet som skulle vara möjligt att få på en biogasanläggning.

Vid jämförelse mellan teoretisk data ( $B_{0u}$ , omvandling från energiinnehåll) och praktisk framtagna värden (satsvisa utrotningsförsök) är det också tydligt att stora överensstämmelser finns. Demetriades (2008) anger till exempel i sin rapport värdet  $0,24 \text{ Nm}^3 \text{ metan}/(\text{kg TS})$  för ”ängsgräs”. Denna siffra är i närheten av det uppskattade värdet ( $B_{0u}$ )  $0,21 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  för gräs och starr slåttat 7-8 juli. Är det då rimligt att anta att detta är en representativ biogaspotential för våtmarksgräs?

Vid användningen av praktiska och teoretiska värden på biogaspotential är det viktigt att ha insikt i att denna potential av flera skäl inte kommer att nås i anläggningen. Biogaspotentialer är framtagna i laborativa satsvisa försök där materialet får röta färdigt till dess att gasproduktionen upphört. Det är inte ovanligt att tiden kan uppgå till 100 dagar i dessa försök. Biogasanläggningar å andra sidan är oftast konstruerade som kontinuerliga processer där den hydrauliska uppehållstiden ligger omkring 20-30 dagar. Det är alltså uppenbart att den teoretiska biogaspotentialen inte kommer att utnyttjas fullt ut, utan ett vanligt värde på nedbrytningsgraden är till exempel 64 % av VS för vallgröda (Jarvis & Schnürer, 2009).

En aspekt som gör att gasbildningskinetiken inte bör jämföras mellan de olika gräsen är den stora variationen mellan teknik, ymp och förbehandling i de satsvisa försöken som finns tillgängliga. En annan viktig faktor utöver själva utförandet av utrotningsförsöken, och som har stor betydelse för biogaspotentialen, är materialets fiberhalt. Ligninhalten i ett växtmaterial ökar vanligtvis med åldern på växten. Lignin bryts inte alls ner i anaeroba rötningsprocesser (Hobson & Wheatley, 1993) och kan alltså i princip betraktas som ett inert material. För rörflen skiljer ligninhalten endast 2 % mellan tidig och sent skörd men skillnaden i gasutbyte blir ändå så mycket som 22 %. En förklaring kan vara att cellulosa och hemicellulosa, som bryts ner i processen, ligger inbäddat i ligninet och blir mer svårtillgängligt med ökande halter av lignin.  $B_{0u}$  för våtmarksgräs har alltså förmodligen sänkts rejält under den sista månaden innan slåtter, på grund av den sena slåttertiden (7-8 juli) och den högre fiberhalten. Det är tyvärr oklart om det liknade värdet som finns för ”ängsgräs” också beror på en relativt hög fiberhalt? Ett annat lågt värde är  $0,15 \text{ Nm}^3 \text{ metan}/(\text{kg, TS})$  för tuvtåtel i ax (stycke 3.1, Tabell 6). Sent skördad tuvtåtel är en synnerligt representativ gräsart, se bakgrundsfakta (stycke 1.1). En motpol är sent skördad rörflen som via energiomvandlingen ger  $0,43 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$ .

I diskussionen tidigare kring energiomvandlingen framgick det att  $0,21 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  förmodligen är en underskattad biogaspotential. Detta påstående förstärks av annat rötningsdata. En jämförelse visar att  $B_{0u}$  för våtmarksgräs utgör 62 % av värdet på  $B_0$  för odlad vall (Tabell 20). Detta resultat överensstämmer med data för våtmarksgräs som Swedish Biogas International har låtit göra. De uppger att biogaspotentialen för våtmarksgräs (troligtvis skördad efter 15/7) är ca 70 % av vallens  $B_0$  (Erik Florell, pers.komm.). Den låga biogaspotentialen för tuvtåtel och rörflen motiverar till att trots allt betrakta  $0,21 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  som ett realistiskt värde för sent slåttat våtmarksgräs.

TABELL 20. BIOGASUTBYTEN OCH KINETIK FÖR VALL OCH GRÄS.

Substrat	Biogaspotential <sup>1)</sup> ( $B_0$ )	Dag, % av $B_0$	Dag, % av $B_0$	Dag, % av $B_0$
Odlad vall <sup>2)</sup>	0,34	-	dag 30, 70 %	dag 50, 90 %
Rörflen <sup>3)</sup>	0,34	-	dag 30, 76 %	dag 50, 88 %
Rörflen <sup>4)</sup>	0,43	-	dag 30, 54 %	dag 50, 71 %
Ängsgräs <sup>5)</sup>	0,24	dag 20, 28 %	dag 30, 67 %	dag 60, 86 %

1)  $Nm^3 CH_4/(kg, TS)$ .

2) Vallfröblandning. (67.5% timothy *Phleum pratense*, 22.5% meadow fescue *Festuca pratensis*, 10.0% red clover *Trifolium pratense*). Skörd 6/6. vegetativt stadium. hackstorlek 1 cm. Rötteknik experimentell batch metod i flaska. C/N = 26., Lignin 15,5 % av TS (Lehtomäki m.fl.;2008).

3) Rörflen. 26/6, tidigt blommande, hackstorlek 1 cm, rötteknik samma som 2. C/N=28, Lignin 20 % av TS (Lehtomäki m.fl.;2008).

4) Rörflen 8/8, sent blommande, hackstorlek 1 cm, rötteknik samma som 2. C/N=25, Lignin 22 % av TS (Lehtomäki m.fl.;2008).

5) Okänd skördetid och grässort. hackstorlek 1 mm. Rötteknik experimentell batch metod i flaska. Demetriades(2008) gasutbyte ( $CH_4/kg VS$ ) omräknat till ( $CH_4/kg TS$ ) via multiplikation med VS av TS (89 %).

De flesta samröttningsanläggningar och avloppsreningsverk har uppehållstider runt 20 till 30 dagar, se stycke (1.6.3). Med dessa uppehållstider går det troligen inte att förvänta sig att få ut mer än mellan 30-50 % av den maximala biogaspotentialen för sent slåttat våtmarksgräs (ängsgräs och rörflen), (Tabell 20). Beräkningarna för biogasproduktionen under stycke (3.6) utgår därför på värden motsvarande 40 % i gasutbyte. Detta är inte ett effektivt utnyttjande av substratet och sannolikheten är stor att det volymetriska gasutbytet sänks om gräs används i större mängd, jämfört med ett högvärdigare material. Anläggningens totala gasutbyte skulle teoretisk dock kunna öka genom den s.k. samrötningseffekten, se stycke (4.6.4) nedan.

Anläggningar som troligen lämpar sig väl för att ta in våtmarksgräs är anläggningar som arbetar med längre uppehållstider, kring 50-60 dagar. Andra lämpliga anläggningar kan vara de med ett andra efterröttningssteg, där uppehållstiden är ca 20-30 dagar i den primära reaktorn. I dessa anläggningar ökar då utröttningsgraden totalt sett (Edström & Nordberg, 1997), viket skulle passa våtmarksgräs. Anläggningar som har låga TS-halter i ingående material, mindre än 5 %, kan få problem med svämtäcke om de tar in gräs som substrat. Våtmarksgräs som skördats sent med högt fiberinnehåll är då sannolikt inte ett lämpligt material för till exempel VA-verk, som jobbar runt dessa TS-halter (stycke 1.6.3). Däremot kan gräs vara av intresse för samröttningsanläggningar som ofta har högre TS-halter (> 10 %).

Demetriades (2008) har även en tänkvärd aspekt kring kontinuiteten i en reaktors matning av lignin- och cellulosarika material. Hon skriver att anläggningar som matas kontinuerligt med dessa material har anpassat sig och bryter ner cellulosadelen i större grad än en anläggning som matas med materialet tillfälligt. En kontinuerlig matning med fiberrika material kan alltså ge högre gasutbyten över tiden än om reaktorn matas tillfälligt med fiberrika material.

## **4.4 EKONOMI**

### **4.4.1 Småskalig slåtter**

Småskalig slåtter har sina fördelar men är ingen aktuell metod för att samla in våtmarksgräs i större mängder. Constantinides (2008) uppger att arbetstiden för slåtter av fem hektar var ca en månad. Samma yta skulle slåttas på drygt en dag med storskalig slåtter. Arbetskostnaden blir helt enkelt för stor med småskalig slåtter och kapacitet är även låg. Därtill kommer inköp av maskinparken. Nyckeltalen för slåtterkostnaden visar att småskalig slåtter är minst 3 gånger dyrare än storskalig och då är enbart timkostnaden inräknad och inte maskinparken. Småskalig slåtter ger för ”våtmark” 12,5 kr/(kg, TS) och för ”tuvig normal mark” 9,2 kr/(kg, TS) (stycke 3.4.1, Tabell 8. Detta är mycket höga kostnader. För storskalig slåtter ligger siffran runt 4,4 kr/(kg, TS), inklusive transport.

En anledning som kan ha medfört längre arbetstid än normalt är markens tuvighet. Constantinides (2008) rapporterar att markområdet som slåttades inte hade slagits förut utan att det var första året. Det blir tyngre att köra maskinerna på sådan ohävdad mark, vilket även uppgavs i rapporten, speciellt på området ”Tuvig normal mark” eftersom tuvorna är bökgigare att klippa och tar mer tid.

Det är relativt dyra maskininvesteringar som behövs för att utföra slåttern, totalt ca 480 000 kr för en maskinuppsättning. Inom Constantinides (2008) projekt slåttades ca 5 ha mellan den 14/7 och 12/8. Det är heller ingen fördel att gå ihop flera parter och dela på maskinparkskostnaden på grund av den låga slåtterkapaciteten. Fördelen med en mindre maskinpark är dock att den kommer åt där de större maskinerna inte kan. Kuperad, stenig och ojämn mark kan slåttas, dock som nämns med vissa svårigheter. Slätterresultatet var trots allt gott enligt Constantinides (2008) med tanke på att det slåttades för första gången. Hon säger vidare i sin rapport att målområdena för slåttern är de så kallade ÅGP-ytorna och Natura 2000-områdena. Författaren ser inget problem med att använda de storskaliga entreprenörernas maskiner även på dessa ytor, om terrängen tillåter detta. En snabbare avverkning måste vara att föredra över en långsammare. Djur och fågellivet störs i båda fallen. Storskalig maskinslåtter med den stora rundbalspressen har kapaciteten 3-4 ha/dag. Medan den småskaliga klarar av knappt 5 ha/månad på en uppsättning maskiner.

### **4.4.2 Storskalig slåtter**

Under stycke (3.4.2) beskrivs att det minsta område som bör slåttas är fyra hektar. Fyra hektar som minimumyta baseras vidare på en avkastning runt 1,3 ton TS/ha. Denna yta krävs för att maximera lastkapaciteten hos lastbil + släp. Om en högre avkastning antas (2,4 ton TS/ha) kan den nedre gränsen för slätterytan dock sänkas till ca 2 hektar.

De tre aktuella våtmarkstyperna har sannolikt en begränsad tillgänglighet där det kanske bara finns en enskild väg som kan utnyttjas en bit bort från området. Om våtmarksområdet består av ett par mindre områden blir detta ett problem. För det första bör lastbilen inte köra omkring mer än nödvändigt, speciellt inte med tanke på släpet.

För det andra kommer det ta betydligt längre tid för slätterentreprenören att transportera sig mellan de mindre områdena och lika så för traktorn som ska samla ihop alla rundbalar och transportera dem till lastbilen. Detta gör att minimumytan på 4 ha bör vara samlad.

I Tabell 21 nedan visas resultatet från en fallstudie avseende kostnader och intäkter som påverkar det ekonomiska resultatet mest. Siffrorna visar tydligt att storsaklig slätter (scenario 2) i dagsläget sannolikt inte går att driva med vinst. Endast en mer fördelaktig situation med högre avkastning, sänkt slätterkostnad och en fördelaktigt klassad slåtteryta kan generera ett plusresultat (fall +3+5 och ”särskilda värden”) för scenario 2. Ett plusresultat verkar dock mindre troligt och gäller troligen inte för en lägre förmodad avkastning under de första åren. Bidragande till det negativa resultatet är att scenario 2 får ett lägre miljöbidrag, 46 000 kr jämfört mot 85 000 kr för scenario 1 (restaurering + slätter). Där är det restaureringsbidraget och inte miljöstödet som får störst genomslag. Av de två scenariorna har Scenario 1 har störst chans att drivas med vinst efter fem år.

Slätterkostnaden utgör i dagsläget drygt 80 % av den totala kostnaden (slätter, hantering och transportkostnader). Fall nr 5 visar på att en sänkning av slätterkostnaden direkt får genomslag, och en fördelaktig kombination av sänkt slätterkostnad med en högre avkastning faktiskt kan ge ett plusresultat (fall +2+5, och fall +3+5) i restaureringsscenario. Det är inte orimligt att anta att avkastningen kan vara 2,4 ton/(ha, år), (stycke 3.4.1, Tabell 8). Siffran kommer från området ”tuvig normal mark” och är ganska typisk för våtare marker som betats av kor en längre tid. En justering av biogaspotentialen till ett faktiskt erhållet gasutbyte (40 % av  $B_0$ ), med ett motsvarande lägre pris från biogasanläggningen (fall nr 1), har störst genomslag på scenario 1. Där sänks resultatet med 70 % mot scenario 2:s sänkning på 20 %. Av naturliga skäl får Scenario 1 sämre procentuellt resultat än scenario 2, enbart för att scenario 1 har ett mindre dåligt resultat än scenario 2 i utgångsläget. Det är oklart i dagsläget hur mycket biogasanläggningar är villiga att betala för våtmarksgräs. Betalningen i kalkylen grundar sig på att våtmarksgräsets biogaspotential utgör 62 % av biogaspotentialen för odlad vall. Tänkbar ersättning för vallgröda enligt Edström m.fl. (2008) är 1 kr/(kg, TS), vilket skulle motsvara 62 öre/(kg, TS) för våtmarksgräs.

Kostnaden för våtmarksslätter är hög beroende på markförutsättningar och entreprenör. De få entreprenörer som finns, och som kan utföra storskalig slätter, jobbar i princip utan konkurrens och pristryck. Ett problem som kan uppstå i och med att det finns få aktörer, är kapacitetsbristen. Slåttersäsongen är relativt kort och de verksamma entreprenörerna klarar inte av hur många slätterarbeten som helst under den korta perioden.

TABELL 21. FALLSTUDIE FÖR STORSKALIG SLÅTTER MED OLIKA VÄRDEN PÅ AVKASTNING, SLÅTTERKOSTNAD M.M. FÖR DE TVÅ SLÅTTERSCENARIORNA.

Fall Nr <sup>2)</sup>	Referensvärden, (testvärde)	Resultat scenario 1	Resultat scenario 2
0	Referens scenario	- 11053	- 52816
1	<sup>1)</sup> B <sub>0</sub> , 0,21 Nm <sup>3</sup> /(kg, TS), (0,084 Nm <sup>3</sup> /(kg, TS), 40 % av B <sub>0</sub> )	- 18761	- 62451
2	Avkastningen 1,3 ton/(ha, år), (1,6, +25 %)	- 8088	- 49110
3	Avkastningen 1,3 ton/(ha, år), (2,4, +185 %)	- 182	- 39228
4	30 km (60 km) till objekt	- 15853	- 58816
5	Slåtterkostnad 5000: - (4000: -, -20 %)	4947	- 32816
6	Restaureringskostnad 10 000: -, (7500: -, -25 %)	- 10053	- 52816
+1+2		- 17575	- 60969
+1+3		- 14413	- 57016
+2+5		7912	- 29110
+3+5		15818	- 19228
+3	(Hela ytan klassas "särskilda värden")	- 182	- 15228
+3+5	(Hela ytan klassas "särskilda värden")	15818	4772
+3+5+1	(Hela ytan klassas "särskilda värden")	1587	- 13016

1) Gasutbytet är här satt till att vara 40 % av B<sub>0</sub> för våtmarksgräs, vilket motsvarar 25 % av B<sub>0</sub> för åkervall. Antaget försäljningspris blir då 0,25 kr/(kg, TS).

2) Exempel. +1+2 betyder att fall 1 och 2 kombineras.

## 4.5 GIS-ANALYS

### 4.5.1 VMI

I SMD-analysen aktualiserades VMI-objekten via speciellt utvalda SMD-klasser. Fem SMD-klasser valdes ut med det primära syftet att sälla bort träd och buskar som kan tänkas växa på de äldre VMI-objekten (stycke 2.3.4, Tabell 5). Analysen utfördes på ett urval av objekt i Uppsala län. SMD-klasserna som använts är; 231 betesmarker, 321 naturlig gräsmark, 3212 örtäng, 411 limnogen vätmarker och 421 saltpåverkade vätmarker. Alla dessa klasser kan tänkas innehålla VMI-objekt för slåtter. Resterande VMI-ytor som inte sammanföll med dessa klasser i kartöverlappningen, sorterades bort. Dock finns risken att SMD-analysen kan bidra med en överskattad areal i kartöverlappningen. Här förtydligas och analyseras denna risk.

Det naturliga förvandlingsförloppet för en ohävdad mad eller limnogen strandäng är att de efter flera år av inaktivitet övergår till kärr och sedan en alsumpskog. Mader och strandängar som endast har beteshävdats, blir tuviga av kreaturens trampande och klassas ofta som kärr i SMD. En beskrivning över hur den hävdade maden utvecklar sig till dessa naturtyper finns i inledningen. SMD-analysen upptäcker alsumpskogen som inte inkluderas i de utvalda klasserna och utesluter denna, medan det tuviga, sankta området som ofta klassas som kärr i SMD-klasserna 411 och 421, undgår upptäckt tillsammans med vassbälten se stycke (2.3.4, Tabell 5). Det gör inte så mycket att kärren undgår upptäckt för de har fortfarande restaureringspotential och kan därför inkluderas. Däremot bidrar vassbältena med överskattning av arealen eftersom de inte ingår i arbetets våtmarkstyper. Hur stor del som vassbältena utgör av klasserna 411 och 421 är oklart. I klassen 411 ingår även blekevåtmarker (blekesjö/blekefält) som huvudsakligen finns på Gotland. De är ointressanta för arbetet p.g.a. de inte är speciellt bevuxna. De består av sjöar med utfällt kalciumkarbonat på botten eller sterila fält av detta slam när sjön torkar ut. VMI slutinventerades på Gotland 1994 och SMD-data är från 2003. Det är därför mindre sannolikt att blekesjöar/blekefält skulle ha föregåtts av mader eller strandängar 9 år tidigare. Ett VMI-objekt som klassades som mad 1994 har alltså förmodligen inte utvecklats till ett blekefält och bidrar därför inte med någon överskattning av ytan.

SMD analysen borde alltså ha en potential att utesluta inaktuella VMI-objekt och förhöja kvaliteten på våtmarksurvalet (53 % inaktuella ytor har exkluderats från de intressanta VMI-objekten). I Tabell 4 (stycke 2.3.3) framgår det att VMI-objekten för Uppsala län är 26 år gamla. SMD-analysen visade att 47 % av våtmarksytorna inte hade växt igen. De andra länen är betydligt senare inventerade, med inventeringar som avslutades för ca 19 år sedan. Detta talar för att schablonen på 47 % kan appliceras generellt även på de andra länen utan risken för överskattning. SMD och VMI verkar ha god överensstämmelse mellan sina klassificeringar av liknade marktyper. Gunnarsson & Löfroth (2009) har till exempel utfört en analys med avsikten att undersöka skillnaden mellan inventerad myrta i VMI och kartlagd myrta i SMD. De fann att överensstämmelsen var god och att skillnaden kunde förklaras genom VMI:s förutbestämda exkludering av vissa myrmarker.

Angående VMI-delobjekten och dess sannolikhet att klassas fördelaktigt kan man på jordbruksverkets hemsida läsa ” Även om din mark inte finns med i TUVVA kan din mark berättiga till ersättning för särskilda värden.” (Jordbruksverket, 2009 a). Det finns alltså en möjlighet att andra markområden än de som finns med i TUVVA, kan få den högre naturvärdesklassningen, och där kan sannolikt VMI-objekten inkluderas.

#### **4.5.2 TUVVA**

Sökkriteriet som utfördes på naturtyp 6410, gjordes med parametern ”välhävdad” inställd på högst 50 %. Detta innebär att resterande ytor eventuellt kan ha ”svag hävd” och ”ingen hävd” i olika procentsatser. Dock finns risken till överskattning av potentiella slåtterytor. Ett fall kan vara när t.ex. våtmarksgräset redan används.

Till exempel kan en identifierad 6410-yta till 50 % bestå av den välhävde ytan, och biogasproduktion är därmed kanske mindre intressant för den resterande, möjligen fragmenterade ytan. Marken kan även ha börjat hävdats igen efter inventeringens slut.

Dubbelrepresentationen mellan TUVA- och VMI-objekt ger en viss överskattning av ytor, 6,9 % (stycke 3.5.3, Tabell 16). Samma analys bör utföras vid en eventuell utförlig VMI-kartläggning för att se om samma förhållande kring dubbelrepresentation råder för de andra länen. Tuva objekten uppdateras i dagsläget men de uppdaterade objekten kommer att ligga i en kompletterande databas till TUVA och åtkomliga för allmänheten först från och med årsskiftet 2009/2010 (JBV, miljöenheten). Slutligen kan sägas att om någon vill restaurera eller slåtta de potentiella objekten bör det föregås av ett fältbesök där förutsättningar såsom hur blött det är vid den tänkta skördetiden, djur och fågelliv, farbara vägar m.m. undersöks. Kartläggningen bör ses som en orientering i var som det går att hitta potentiella slåtterytor. Det samma gäller för VMI-objekten.

#### **4.5.3 Våtmarkskartor**

De intressanta våtmarksområdena som presenteras i kartorna (se bilaga) beskrivs i teckenförklaringen med ”våtmarkstäthet”. En gråskala visar var de större ansamlingarna av våtmarker finns, där de mörkare områdena som framträder motsvarar större våtmarksytor, och de ljusare, mindre ytor. Täthetsindelningen som konstruerades över våtmarkerna är speciellt anpassad för de enskilda länen, för att lyfta fram den geografiska fördelningen och tätheten så tydligt som möjligt för respektive län. Detta innebär att när till exempel Gotland som har mest TUVA-ytor, jämförs med Örebro län som har minst TUVA-ytor i Biogas Östs region, kan informationen bli missvisande om man inte erinrar sig att täthetsindelningen har specialanpassats för varje län. Gotlands län kan alltså ha lika mörka områden för ett visst våtmarkscluster, som Örebro län har för ett visst cluster, och trots detta kan alltså våtmarksarealen skilja sig åt mellan klustren. I och med att områden som har samma färg i gråskalan på olika kartor, kan skilja sig åt i våtmarksstorlek, ska alltså inte kartorna jämföras sinsemellan. Kartorna är alltså en relativ sortering av lokaliserade våtmarksytor inom respektive län.

En annan sak som bör erinras när kartorna studeras, är sökkriteriet som användes när 6410-ytorna togs fram. 6410-ytorna som användes inkluderade välhävde ytor med en förekomst upp till högst 50 %. Alla 6410-ytor med större procentuell andel välhävde yta ingår inte i sökningen. Detta kan förklara varför till exempel ”hotspot”-områdena ÖS5 och ÖS3 i Östergötlands län har så lite våtmarksgräs tillgängligt (låga PL- och PH-siffror). ”Hotspot”-områdena ligger nära sjön Tåkern med sina stora ytor av strandängar och mader. Där bedrivs det redan i dagsläget våtmarksslätter i stor utsträckning tillsammans med beteshävd. Områdena som mörkmarkerats i kartorna kan alltså vara de resterande, mindre, ohävde ytor.

## 4.6 SUBSTRATASPEKTER

Här diskuteras substrataspekter som lagring, förbehandling, C/N-kvoter och samrötning kring våtmarksgräs som substrat.

### 4.6.1 Lagring

Att torka hö är inget lämpligt alternativ för substrat ämnat åt biogasanläggningar (Lehtomäki, 2006). Utrustning för att blötlägga och finfördela hö finns vanligtvis inte på biogasanläggningen. Nästan alla anläggningar i Sverige är gjorda för flytande substrat. TS halten är förmodligen omkring 20 % av våtvikten i vattenälskande växter vilket gör ensilering till den enda praktiska lagringsformen för våtmarksgräs. Om våtmarksgräs lagras i ensilageform och senare används som substrat vid en biogasanläggning är det viktigt att ha insikt om olika begränsningar och olika inverkan faktorer. Vid ensilering får växtmaterialet till exempel inte vara för vått (Rolf Spörndly, pers.komm.). Ett för vått våtmarksgräs kan medföra problem när gräset hackas inför ensileringen genom läckage av växtsaft (pressvatten), men innebär också att onödigt mycket vatten måste transporteras. Växtsaften innehåller näring och om detta rinner bort leder det till att gasutbytet minskar. För ensilering i storrundbalar bör TS-halten vara 35-45 %. Det går att få en sådan TS-halt om våtmarksgräset får ligga kring två dagar utan regn. Med denna TS-halt bör det inte, enligt Rolf Spörndly vara några problem att ensilera våtmarksgräs.

För att minska materialförlusten som kan orsakas av biologisk oxidering vid lagringen är det lämpligt att förbehandla substratet. Finfördelning och applicering av mjölksyrabakterier eller myrsyra är vanligt förekommande vid vallensilering. Förutom reduktion av materialförlusten förhindras också uppkomsten av bakterier av släktet *clostridium* och av mögelsvamp (Spörndly & Pauly, 2008). Detta är främst viktigt ur djurfoderaspekt då korna inte mår bra av mögel. Enligt Lehtomäki (2006) är sura och basiska förbehandlingar gynnsamma för hydrolysteget i biogasprocessen. Tillsatserna kan dock vara omotiverat dyra i relation till resten av produktionskostnaden för våtmarksgräs.

Det finns två aktuella typer av ensileringsformer med rundbalar som utgångspunkt. Den ena är att plasta in balen men det genererar förmodligen för stora hanteringskostnader. Den andra är ha sönder balen och hacka materialet och använda sig av plansilo- eller korvensilage. Ingen jämförelse har utförts för att utreda vilken av lagringsmetoderna som är mer ekonomiskt fördelaktig utan detta måste undersökas vidare. Kapaciteten per ytenhet för korvensilage är sannolikt lägre än för plansilo och korvarna kan behöva ta en betydlig markyta i anspråk. Å andra sidan begränsas lagringskapaciteten endast av ledig markyta som finns till förfogande. Plansilo har sannolikt även en större investeringskostnad än korvensilage.

### 4.6.2 Förbehandling

Många olika förbehandlingsmetoder ger en tydlig effekt på biogaspotentialen (Tabell 22). Gasutbytet fram till ca 20 dagar är intressant att känna till. En biogaspotential visar bara det maximala gasutbytet som erhållits under en lång laborativ provtid och ger

ingen direkt information om gasutbytet fram till exempelvis 20 dagar. Det är sannolikt inte ekonomiskt motiverat att investera i förbehandlingsmetoder, andra än finfördelning, för enbart våtmarksgräset. Om andra metoder redan finns tillgängliga kan dessa naturligtvis användas för att också öka tillgängligheten på gräset.

Ensilering är en förbehandling som också fungerar som en lagringsmetod. Ensilering av våtmarksgräs ”löser upp” materialet och gör det mer tillgängligt för biogasprocessen, som beskrivits under stycke (1.6.2). Ett krav för lyckad ensilering är en förbehandling av våtmarksgräset som ger en finfördelning till ca 1-2 cm storlek. Sönderdelningen krävs för att mjölksyrebakterierna ska få tillgång till växtsaften och föröka sig. Denna finfördelning förbättrar ensileringen men ger också senare ett förbättrat biogasutbyte. Lehtomäki m.fl (2008) rekommenderar en partikelstorlek på <1 cm storlek för ett optimalt biogasutbyte. Lehtomäki (2006) redovisar följande effekter av förbehandlingar av gräs (Tabell 22).

TABELL 22. FÖRBEHANDLINGAR AV GRÄS OCH DESS EFFEKT PÅ BIOGASPOTENTIALEN (LEHTOMÄKI, 2006).

Förbehandlingsmetod, optimala exponeringstider, temperaturer	Ökning av biogaspotential i procent jämfört med obehandlat gräs
NaOH, 2 %, 24 h, 20 °C	9
NaOH, 2 %, 72 h, 20 °C	17
3 % Ca(OH) <sub>2</sub> + 4 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 24 h, 20 °C	4
3 % Ca(OH) <sub>2</sub> + 4 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 72 h, 20 °C	17
Autoklavering	13
Förinkubering i vatten, 24 h, 35 °C	13
Enzymatisk förbehandling <sup>1)</sup> , 24 h, 35 °C	17

1) Cellulaser, och hemicellulaser.

Den sura och den alkaliska behandlingen har lite olika effekt på cellulosa och lignin men båda förbehandlingarna gynnar hydrolysen (Lehtomäki, 2006). Demetriades (2008) visar också att en termisk förbehandling med ångexplosion kan ha en positiv effekt för gasutbytet för gräs. Enzymatisk förbehandling av ligninrika material, kan utöver ökning av biogaspotentialen även ge en initial ökning av gasutbytet (Stenströmer Moglia, 2008). Det framgår inte ur Lehtomäki (2006), när den största förändringen i gasutbytet sker, men det kan antas att en del av ökningen sker under de 20 första dagarna (författarens anmärkning). Om våtmarksgräs och förbehandlingar kan således sägas att förbehandling, i synnerhet enzymatisk, ökar gasutbytet något i anläggningar med uppehållstider kring 20 dagar, medans effekten blir mindre i anläggningar med längre uppehållstider.

#### 4.6.3 C/N-kvot

För att erhålla en stabil och optimerad biogasprocess är det viktigt att C/N-kvoten på det ingående materialet ligger mellan 15 och 25 (Jarvis & Schnürer, 2009). Om C/N-kvoten är för låg kan detta leda till problem p.g.a. de höga ammoniaknivåerna som bildas och som hämmar metanogenerna i biogasprocessen. En för hög C/N-kvot kan leda till att organismerna får brist på kväve, men ibland även på fosfor. Höga C/N-kvoter är typiska för olika växtmaterial. I litteraturen finns begränsad information om C/N-kvoter för just våtmarksgräs. Det enda gräset med funnen information om C/N-kvoten är rörflen. Till exempel har sent skördad rörflen en C/N-kvot på 25, se (Tabell 20). Det är jämförbart med åkervallens C/N-kvot på 26. Dessa värden antyder att C/N-kvoten för gräs trots allt är ganska bra för en biogasprocess.

Emellertid är det också andra faktorer som kan vara begränsande för användningen av växtmaterial i processen, till exempel spårämnen. På grund av låga spårämneshalter är det därför sannolikt inte lämpligt att våtmarksgräs utgör någon större del i processen. Samrötning med material som ger ett mer balanserat näringsinnehåll kan vara till hjälp för att optimera processen (se stycke 4.6.4 nedan).

En annan faktor än C/N-kvoten som kan ha en inverkan på processen är kolets ursprung. Om kolet utgörs av ett snabbt nedbrytbart kol, som till exempel stärkelse och glukos kan detta leda till att processen "går sur" även om C/N-kvoten är inom det optimala området. Detta beror på att sockren snabbt bryts ner till fettsyror, som sedan ansamlas eftersom efterföljande nedbrytningssteg är betydligt långsammare. Substrat som innehåller mer cellulosa och hemicellulosa, till exempel våtmarksgräs, kräver längre nedbrytningstid och därmed borde det inte finnas någon risk för försurning.

Slakteriavfallets mjukdelar kan till exempel ha en så låg C/N-kvot som 4 (Carlsson & Udal, 2009). Att enbart röta detta leder till problemen ovan. Substratblandningens C/N-kvot kan därför med fördel anpassas till ett värde runt 20 om slakteriavfall och våtmarksgräs blandas i rätta proportioner.

#### **4.6.4 Samrötning**

Under samrötning behandlas flera olika substrat samtidigt. Det finns stora fördelar med detta. Ett vanligt förekommande substrat är nötflytgödsel. Detta substrat lämpar sig bra att använda som ett samrötningmaterial då det innehåller många av de komponenter som organismerna i biogasprocessen behöver. Inblandning av gödsel under rötning av växtbaserade material leder vanligtvis till en ökning av gasutbytet (Edström & Nordberg, 1997). I en studie av Edström & Nordberg (1997) undersöktes möjligheten att istället för gödsel tillsätta en spårelementlösning under rötning av växtmaterial. Resultaten visade dock att spårelementlösning inte alls hade samma effekt som när nötflytgödsel (20 % på TS-basis) istället tillfördes. Stabiliteten i processen förbättrades när gödsel tillsattes och anrikade organiska syror förbrukades och belastningen av processen kunde till och med höjas.

I ett exempel från Lehtomäki (2006) framgick att i samrötning mellan nötflytgödsel och vetehalm (förhållandet 60:40, TS-basis) som är ett fiberrikt material, gav ett biogasutbyte som var ca 5 % större än om enbart nötflytgödsel rötades. Eller 23 % större jämfört med om endast vetehalmen rötades. Studien utfördes med en mesofil CSTR process med 40 dagars uppehållstid. Thyselius m.fl. (1997) visade att en inblandning av vallgröda med källsorterat hushållsavfall i förhållandet (50:50) gav ett optimalt biogasutbyte. Andra kombinationer till exempel med mer matavfall gav inte ett högre biogasutbyte, detta trots att matavfall har större biogaspotential än vallgröda. En inblandning av växtmaterial i hushållsavfall med detta förhållande skapar tydligen den bästa miljön för bakterierna att föröka sig i. Det finns många likheter med vallgröda och våtmarksgräs så det är sannolikt att anta att liknande resultat skulle erhållas.

#### 4.6.5 Rötrest

För att rötresten ska vara av god kvalitet finns det en möjlighet att certifiera sin rötrest enligt SPCR 120. Aspekter kring hur våtmarksgräs kan tänkas påverka rötrestens kvalitet och dess möjligheter att bli certifierad diskuteras nedan.

Certifieringen SPCR 120 har ett krav gällande groddbara frön i rötresten, men endast på fast rötrest och berör således inte rötresten från de flesta biogasanläggningar. Det finns studier som visar på att halten gröningsbenägna frön minskar redan efter några dagar i en mesofil process (35° C) (Jordbruksverket, 2005 a). Ett par analyser som görs i SPCR 120 är bland annat att materialet analyseras med avseende på näringsinnehåll och tungmetaller. För våtmarksgräs kan det vara lämpligt att i ett tidigt skede göra en sådan materialanalys för att ta reda på om det kan finnas tungmetaller i förhöjda nivåer, speciellt med tanke på att våtmarksgräs idag inte ingår som godkända substrat i SPCR 120 utan betraktas som ett nytt material. Det finns dock ingen anledning till att misstänka att våtmarksgräs skulle innehålla förhöjda halter av tungmetaller, utan analysen utförs som en naturlig del i certifieringsproceduren. I och med att våtmarksgräs kommer att bedömas som ett nytt material kan det först efter att styrgruppen för SPCR 120 godkänt substratet bli aktuellt för en certifierad anläggning (Ola Palm, pers.komm.). Det är bara befintliga anläggningar med certifikat eller anläggningar som är på väg in i systemet som kan begära att ett nytt material undersöks.

Näringsämnen som kalium och fosfor är förmodligen lågt i våtmarksgräs. I en jämförelse mellan vallgröda och våtmarksgräs har vullen ca 0,6 % (av TS) fosfor, och ca 2,8 % (av TS) kalium (Dalemo m.fl, 1993). En näringsanalys gjord av Constantinides (2008) för området ”torr äng” visade på ett innehåll av 1,6 % (av TS) kalium och 0,16 % (av TS) fosfor. Näringsinnehållet var alltså 50 % lägre för kalium och 76 % lägre för fosfor jämfört med vallgrödans. Våtmarksgräs bidrar alltså inte med näringsämnen till rötresten i några mängder av betydelse.

## 5 SLUTSATSER

Analysen visar att det finns betydande arealer våtmarker att slåtta i Biogas Östs region, där VMI-arealerna är ungefär dubbelt så stora som TUV A-arealerna. Våtmarksgräset (TUV A + VMI) binder upp ca 20 GWh biogasenergi årligen, lågt räknat i regionen. En fullständig geografisk kartläggning bör med anledning av detta även utföras för VMI objekten, ackompanjerat av fältbesök för att testa validiteten i SMD-analysen.

Den uppskattade biogaspotentialen  $0,21 \text{ Nm}^3/(\text{kg, TS})$  är ett representativt gasutbyte för våtmarksgräs om än något i underkant. En utförligare undersökning över representativa växter i florän bör genomföras för våtmarkstyperna tillsammans med röttningsstudier för att bland annat hitta brytpunkten för det optimala slätterdatumet.

Enligt GIS-analysen finns det mer än tillräckligt av våtmarksgräs runt varje "hotspot" för att täcka ett 20-procentigt kompletteringsbehov av substrat för de gödselbaserade anläggningarna inom dessa områden. Våtmarksgräs är troligen bra att använda då detta kolbaserade material är utmärkt att samröta med mer kväverika substrat som till exempel gödsel, matavfall och slakteriavfall. En sådan samrötning kan öka anläggningens nettogasutbyte som följd.

För markägare med slätterambitioner kan ett restaureringsåtagande bära sig ekonomiskt, men knappt. En avkastning på omkring 2,4 ton TS/(ha, år) med något lägre slätterkostnader gör detta möjligt. I dagsläget är det inte ekonomiskt försvarbart att ingå i ett slätteråtagande. För att detta ska löna sig måste främst slätterkostnaden sänkas, men det krävs också att merparten av ytan klassas fördelaktigt av länsstyrelsen och att området minst genererar den högre avkastningen.

Det är klart att miljömålen starkt gynnas av våtmarksslätter och därför är länsstyrelserna som klassificerar markerna allmänt sett välvilligt inställda till slätter på dessa marker. Det är sannolikt att åtminstone en del av dessa våtmarksytor kommer att klassas som särskilda värden, speciellt med tanke på dess fauna som skulle gynnas av våtmarksslätter. Denna fördelaktiga klassning kan därmed öppna upp för att få ett slätteråtagande att bära sig.

Det kan vara motiverat för en anläggning att investera i hanterings- och ensileringsutrustning för våtmarksgräs eftersom det lagrade våtmarksgräset snabbt skulle kunna komplettera när brist uppstår för anläggningens andra substrat. Investeringen i utrustningen öppnar även upp för möjligheten att tillvarata annan gröda från till exempel jordbruk och parker.

## REFERENSER

### LITTERATURFÖRTECKNING

- Asköviken- ett LIFE projekt. (den 19 10 2009). Hämtat från Publikationer. Lekmannarapport för LIFE- Asköviken.: <http://www.askoviken.se/>
- Avfall Sverige. (den 01 12 2009). *Avfallshantering/Biologisk behandling/Certifiering/FAQ-certifiering*. Hämtat från Avfall Sverige: <http://www.avfallsverige.se>
- Bernhardsson, G. (2008). *Sidvallsängar i Västmanland, Förändringar över 1900-talet, rapport nr 5*. Länsstyrelsen Västmanlandslän.
- Biogasföreningen och Gasföreningen. (2009). *Biogas- Ett stort steg mot det hållbara samhället, informationsboschyr*. Biogasföreningen och Gasföreningen.
- Black, J. G. (2002). *Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion, rapport 200*. Svenskt Gastekniskt Center.
- Constantinides, A. (2008). *Småskalig maskinslätter som aktiv skötsel, rapport nr 22*. Länsstyrelsen Västmanlands län, Natur- och kulturmiljöenheten.
- Dalemo, M., Edström, M., Thyselius, L., Brodin, L., & Dalemo, M. (1993). *Biogas ur vallgrödor, teknik och ekonomi vid storskalig framställning, rapport nr 162*. Uppsala: JTI, Jordbrukstekniska institutet.
- Demetriades, P. (2008). *Termisk förbehandling av cellulosarika material för biogasproduktion, examensarbete*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mikrobiologi.
- Dernroth, M. (den 21 08 2009). Länsstyrelsen Uppsala, Samordnare natur och kultur inkl. åtgärdsplaner och åtagandeplaner samt utvald miljö. Stödansvar betesmarker. (M. Martins, Intervjuare)
- Detox AB. (2008). *Tång och alger som en naturresurs och förnyelsebar energikälla. Sammandrag av Rapport Steg 2*. Malmö: Detox AB.
- Edström, M., & Nordberg, Å. (1997). *Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor, rapport nr 11*. Kretslopp och avfall. Uppsala: JTI, Jordbrukstekniska Institutet.
- Edström, M., Jansson, L.-E., Lanz, M., Johansson, L.-G., Nordberg, U., & Åke, N. (2008). *Gårdsbaserad biogasproduktion. System, ekonomi och klimatpåverkan, rapport nr 42*. Uppsala: JTI, Jordbrukstekniska Institutet.
- Florell, E. (08 2009). *Materialstrategi*, Swedish Biogas International AB. (M. Martins, Intervjuare)

- Forsberg, J. (2009). *Biogasens expansion i östra Mellansverige- Identifiering av potentiella biogashotsspots, rapport*. Uppsala: Biogas Öst.
- Gunnarsson, U. (den 28 05 2009). Forskare, Uppsala Universitetet, Institutionen för ekologi och evolution, Växtekologi. (M. Martins, Intervjuare)
- Gunnarsson, U., & Löfroth, M. (2009). *Våtmarksinventeringen - resultat från 25 års inventeringar, rapport 5925*. Naturvårdsverket.
- Hagmarks-MISTRA. (2004). *Årsrapport*. Stockholm: Stiftelsen för miljöstrategisk forskning.
- Hobson, P. N., & Wheatley, A. D. (1993). *Anaerobic Digestion, Modern Theory and Practice*. Leicestershire: Elsevier Applied Science.
- Jacobson, R. (1997). *Våtmarkernas värden i Uppsala län*. Uppsala: Upplandsstiftelsen.
- Jarvis, Å., & Schnürer, A. (2009). *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar, rapport SGC 207*. Svenskt Gastekniskt Center.
- Johansson, M., & Nilsson, T. (2007). *Transporter i gårdsbaserade biogassystem - Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner, examesarbete*. Lund: Lunds universitetet.
- Jordbruksverket. (den 19 10 2009). Hämtat från Jordbruksverket: <http://www.jordbruksverket.se>
- Jordbruksverket. (2009). *Betesmarker och slåtterängar, informationsfolder*.
- Jordbruksverket. (2005). *Biogas ger energi till ekologiskt lantbruk, rapport 22*.
- Jordbruksverket. (den 03 08 2009). *Miljömål*. Hämtat från [www.miljomal.se](http://www.miljomal.se).
- Jordbruksverket. (2005). *Ängs- och Betesmarks- inventeringen -inventeringsmetod, rapport nr 2*.
- Kjellman, C. (den 3 9 2009). Jordbrukare, Sködinge Sörmland. (M. Martins, Intervjuare)
- Lantmäteriet i Kiruna. (den 29 09 2009). Hämtat från Lantmäteriet i Kiruna: <http://www.envicat.com/>
- Lantmäteriet. (2003). *Nomenklatur och klassdefinitioner, informationsfolder*. Lantmäteriet.
- Lantmäteriet. (2005). *Tematisk noggrannhet i Svenska Marktäckedata, informationsfolder*. Lantmäteriet.
- Lehtomäki, A. (2006). *Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues*. Jyväskylä: University of Jyväskylä, academic dissertation.

Lehtomäki, A., Viinikainen, T., & Rintala, J. (2008). Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass & Bioenergy*, nr 32 , 541-550.

Lifvendahl, Z. (2004). *Fodervärde på fuktiga naturbetesmarker, examensarbete*. Uppsala: SLU, Institutionen för naturvårdsbiologi.

Lindgren, E. (1980). *Några metoder för beräkning av fodrets energivärde till Idisslare, rapport nr 51*. Avdelningen för husdjurens näringsfysiologi, Sveriges lantbruksuniversitetet.

MISTRA, H. (2001). *Årsrapport 2001*.

Naturvårdsverket. (2006). *Nationell strategi för Myllrande våtmarker, informationshäfte*.

Nilsson, S. (2000). *Gårdsbaserad biogas på Plönninge naturbruksgymnasium, rapport nr 21*. Uppsala: JTI, Jordbrukstekniska Institutet.

Nordberg, Å., & Nordberg, U. (2007). *Torrötning- kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov, rapport 357*. JTI, Jordbrukstekniska Institutet.

Nylén, B. (1992). *Norden Flora*. Stockholm: Norstedts Förlag.

Overud, S., Lennartsson, T., Björklund, J.-O., & Persson, A. (2005). *Landskap att vårda, rapport*. Uppsala: Upplandsstiftelsen.

Palm, O. (den 5 10 2009). Ordförande i styrgruppen för SPCR 120. (M. Martins, Intervjuare)

Persson, M. (2006). *Basdata om Biogas, informationsblad*. Malmö: Svenskt Gastekniskt Center.

Petterson, B. (den 21 08 2009). PE-TE Stubbfräsningar. (M. Martins, Intervjuare)

Richard A, J. (2000). *Probability and Statistics for Engineers*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.

Seppälä, M., Paavlova, T., Lehtomäki, A., & Rintala, J. (2009). Biogas production from boreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield per hectare. *Bioresource Technology*, nr 100 , 2952-2958.

SP, S. T. (den 5 10 2009). *Övriga märkningsystem- Biogödsel*. Hämtat från SP: <http://www.sp.se>

Spörndly, E. (den 10 06 2009). Grovfodertill husdjur. Västerås, Våtmarkskonferens.

Spörndly, R. (den 31 08 2009). Forskningsledare, HUV fodervetenskap, SLU Uppsala. (M. Martins, Intervjuare)

Spörndly, R., & Pauly, T. (2008). Control of the fermentation process at the conservation of feeds. *13th ICFC, 2008* (ss. 27-33). Plenary Papers.

Stenströmer Moglia, E. (2008). *Enzymatic pre-treatment of cellulose rich biomasses for use in the biogas process, examensarbete*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet.

Svensk Växtkraft AB. (2006). *Växtkraft – Process description of the Biogas plant in Västerås, informationsfolder*. Svensk Växtkraft AB.

*Svenskt gastekniskt center AB, nedladdningsbart excel-ark*. (den 20 10 2009). Hämtat från Gasers egenskaper: <http://www.sgc.se>

Thyselius, L., Nordberg, Å., Edström, M., Petterson, C.-M., & Petterson, L. (1997). *Samrotning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall, rapport nr 13*. Uppsala: JTI, Jordbrukstekniska Institutet.

Tobiasson, J.-I. (den 16 10 2009). Västmanlands länsstyrelse. Förvaltning och skötsel av naturreservat. (M. Martins, Intervjuare)

TUVA. (den 01 09 2009). Hämtat från Jordbruksverket: <http://www.jordbruksverket.se/etjanster/etjanster/tuva>

VA- Forsk. (2003). *Svenska Biogasanläggningar - erfarenhetssammanställning och rapporteringssystem. rapport nr 14*.

*Våtmarksinventeringen*. (den 01 09 2009). Hämtat från SLU. Datavärdsakpet är under utredning. Naturvårdsverket har vidare information.: <http://www-vmi.slu.se>

## **PERSONLIGA REFERENSER**

Dernroth, Martina. (den 21 08 2009). Länsstyrelsen Uppsala, Samordnare natur och kultur inkl. åtgärdsplaner och åtagandeplaner samt utvald miljö. Stödansvar betesmarker. (M. Martins, Intervjuare)

Florell, Erik. (08 2009). Materialstrateg, Swedish Biogas International AB. (M. Martins, Intervjuare)

Gunnarsson, Urban. (den 28 05 2009). Forskare, Uppsala Universitetet, Institutionen för ekologi och evolution, Växtekologi. (M. Martins, Intervjuare)

Kjellman, Claes. (den 3 9 2009). Jordbrukare, Sköldinge Sörmland. (M. Martins, Intervjuare)

Palm, Ola. (den 5 10 2009). Ordförande i styrgruppen för SPCR 120. (M. Martins, Intervjuare)

Petterson, Bengt. (den 21 08 2009). PE-TE Stubbfräsningar. (M. Martins, Intervjuare)

Spörndly, Rolf. (den 31 08 2009). Forskningsledare, HUV fodervetenskap, SLU Uppsala. (M. Martins, Intervjuare)

Tobiasson, Jan-Inge. (den 16 10 2009). Västmanlands länsstyrelse. Förvaltning och skötsel av naturreservat. (M. Martins, Intervjuare)

### **INTERNET REFERENSER**

*Asköviken- ett LIFE projekt.* (den 19 10 2009). Hämtat från Publikationer/Lekmannarapport för LIFE- Asköviken.: <http://www.askoviken.se/>

*Avfall Sverige.* (den 01 12 2009). Hämtat från Avfall Sverige, Avfallshantering/Biologisk behandling/Certifiering/FAQ-certifiering: <http://www.avfallsverige.se>

*Jordbruksverket, a.* (den 19 10 2009). Hämtat från Jordbruksverket: <http://www.jordbruksverket.se>

*Miljömålsportalen, a.* (den 03 08 2009). Hämtat från, Ett rikt odlingslandskap/Delmål/Ängs- och betesmarker (2010): <http://www.miljomal.se>

*Miljömålsportalen, b.* (den 03 08 2009). Hämtat från, Myllrande våtmarker/Defenition: <http://www.miljomal.se>

*Lantmäteriet i Kiruna.* (den 29 09 2009). Hämtat från Lantmäteriet i Kiruna: <http://www.envicat.com/>

*SP.* (den 5 10 2009). Hämtat från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Certifierade produkter/Märknigar/Övriga märkningssystem/Biogödsel: <http://www.sp.se>

*Svenskt gastekniskt center AB,* nedladdningsbart excel-ark. (den 20 10 2009). Hämtat från Gasers egenskaper: <http://www.sgc.se>

*TUVA.* (den 01 09 2009). Hämtat från Jordbruksverket, Startside/E-tjänster/TUVA: <http://www.jordbruksverket.se>

*Våtmarksinventeringen.* (den 01 09 2009). Hämtat från SLU. Datavärdsakpet är under utredning. Naturvårdsverket har vidare information.: <http://www-vmi.slu.se>

## BILAGOR

### NÄRINGSINNEHÅLL

TABELL 23. NÄRINGSINNEHÅLL I GRÄS FRÅN OMRÅDE "TORR ÄNG", SLÅTTER 15/7 (CONSTANTINIDES, 2008).

Näringsinnehåll	g/(kg, TS)
Råprotein	95
Smältbart råprotein	49
Energi	9 (MJ/kg TS)
Kalcium, Ca	4,6
Fosfor, P	1,6
Magnesium, Mg	2,0
Kalium, K	16,0

### NYCKELTAL VÅTMARKSGRÄS

PE-TE Stubbfräsningar AB har uppgett att de tar omkring 5000 kr/ha för slåtter, balning och ihopsamling. Prisuppgift från större åkeri i Uppsala (Wiklunds Åkeri AB), 2009-09-02; ca 1200 kr/h. Lastbil + släp. Kapacitet; 18 flakmeter, 35 ton, antal balar á 600 kg blir 58 st. Praktiskt lastbart uppskattat till ca 45 inplastade balar (27 ton), och några fler om balarna är oplastade.

Ett praktiskt förslag för transport från slåtterentreprenörens uppställningsplats till lastbilens uppställningsplats, är med traktor och vagn. Samtal med Claes Kjellman (pers.komm.), jordbrukare, gav information om tider, priser och dieselförbrukning. Kostnad för att plasta in 45 balar, och forsla dessa till lastbilens uppställningsplats (500 m) uppger Kjellman vara: 150kr/bal ger  $150 \cdot 45 = 6\ 750$  kr.

Inga beräkningar görs på inplastningsalternativet. Det mer praktiska alternativet ur biogasanläggningens synvinkel är att få rundbalarna enbart med nät. Framst på grund av den högre kostnaden som inplastning skulle innebära och risken för skador på plasten i hanteringsprocessen.

Antaganden:

- Avstånd från slåtterentreprenörens uppställningsplats till lastbilen; 500 m. Traktorgagn á 10 balar.
- Uppskattad tidsåtgång för forsling till lastbilens uppställningsplats (45 balar). 4 vändor med lastvagn som tar 12 balar. 0,75 timmar (Claes Kjellman, pers.komm.).
- Tidsåtgång för att lasta lastbilen = 0,75h.
- Med en timpris på 350 kr/h blir kostnaden för transport och lastning av rundbalar (med en framkörningstid för jordbrukaren till plasten på 1 h):  $(1\text{ h} + 0,75\text{ h} + 0,75\text{ h}) \cdot 350\text{ kr} = 875$  kr.
- Transportavstånd exempel; från Kungsängens biogasanläggning till våtmark; 30 km.

- Medelhastighet för transport med lastbil, 60 km/h (Johansson & Nilsson, 2007).
- 1 hektar våtmarksgräs ger 1,3 ton TS/ha, lågt räknat (Tabell 8).
- Exempel på avkastning från våtmark (Tabell 8.) ger ca 6 ton våtmarksgräs per hektar. Sex ton våtmarksgräs per ha ger 10 balar á 600 kg per ha. Fyra hektar är då en minimumyta att skörda som ger ca 40 balar för att fylla lastkapaciteten, lastbil + släp (27 ton).
- Biogasutbytet för våtmarksgräs är ca 60 % av den för odlad åkervall. Baserat på fallet att ersättningen är ca 1 kr/(kg, TS) för åkervallen (Edström m.fl; 2008). Räknar arbetet med 0,6 kr/(kg, TS) för våtmarksgräs.
- Priser för slätter och restaurering (PE-TE Stubbfräsningar AB) Tabell 9.

TABELL 24. GRUNDANTAGANDEN FÖR DEN EKONOMISKA BERÄKNINGEN FÖR DE TVÅ SCENARIORNA (RESTAURERING OCH SLÅTTER).

PE_TE restaureringskostnad/ha, kr	10000
PE_TE slätterkostnad/ha, kr	5000
Wiklunds åkeri, lastbil + flak, timkostnad, kr	1200
Pris för att plasta in och transportera 45 balar till en uppställningsplats, 500m, kr	6750
Uppskattad tidsåtgång för forsling till lastbilens uppställningsplats (45 balar); 4 vändor med lastvagn som tar 12 balar, h	0,75
Tidsåtgång för att lasta lastbilen, h	0,75
Traktorentreprenörens tim pris, kr	350
Traktorentreprenörens framkörningstid (och retur), h	1
Transport avstånd, våtmark- anläggning(åkeri i närheten av anläggning), km	30
Medelhastighet för lastbil, km/h	60
1 ha våtmark ger avkastningen (lågt räknat), kg TS/ha	1300
1 ha våtmark ger avkastningen (högre räknat), kg TS/ha	2400
Minimum yta, ha	4
Restaureringsstöd/(ha, år), kr	3600
Miljöstöd, särskilda värden/(ha, år), kr	3500
Miljöstöd, allmänna värden/(ha, år), kr	1100
Biogasutbyte Nm <sup>3</sup> /(kg, TS), åkervall	0,34
Biogasutbyte Nm <sup>3</sup> /(kg, TS), våtmarksgräs	0,21
Intäkter från försäljning av 1 kg TS, våtmarksgräs till biogasanläggning, (pris för 1 kg TS åkervall är 1kr), kr	0,62

## BERÄKNINGAR FÖR VMI-URVALET.

För Uppsala län har 85 intressanta VMI-objekt valts ut med hjälp av objektsnamnet och beskrivande data. Tanken var att ett urval av de 85 objekten skulle göras för att slippa ta fram ytorna för vart och ett av de underliggande delobjekten. Problemställningen var alltså att ta fram ett representativt urval av delobjekt från de 85 objekten. Vilka/vilken parameter representerar då alla objekten bäst? Den enda gemensamma morfologiska parametern som finns att tillgå är delobjektets areal.

Objekten bestod huvudsakligen av 5 objektstyper med ungefär 20 objekt inom varje objektstyp; marint strandkomplex, strandkomplex, limnogen strandkomplex, strand vid vattendrag och sjöstrand. Morfologin skiljer sig säkert mer mellan objektstyperna än inom dem, vilket skulle påbjuda ett separat urval inom varje objektstyp. I detta arbete görs emellertid inte detta på grund av de relativt få objekten, ca 20 inom varje objektstyp. Variansen för arealerna är hög inom dessa 20 objekt. Kanske är det tillräckligt låg varians för alla 85 objekten, för att ett urval ska tillåtas? Sampelformeln nedan kommer att avslöja detta.

För att räkna ut hur stort ett sampel skall vara för att kunna representera hela mängden med en viss noggrannhet finns det en statistisk formel som använder sig av variansen, konfidensintervallet och feluppskattningen. Formeln antar att värdena är normalfördelade och om så inte är fallet måste en lämplig transformation användas. Här visade det sig att roten ur ger en bra transformation.

I tabell 25 och tabell 26 presenteras data för alla delobjektens ytor. Medianens avstånd till medelvärdet antyder att värdena kommer ur en fördelning som inte är speciellt normalfördelad. Detta bekräftas av histogrammet i (Bild 8). (Bild 9) visar data för samma delobjekt som bild 8 men med transformationen roten ur. Medianen är här betydligt närmare medelvärdet och en någorlunda hyfsad normalfördelning har skapats genom transformationen som bekräftas av histogrammet i (Bild 9).

Formel för antal sampel:  $n = \left[ \frac{Z_{\alpha/2} \times \sigma}{E} \right]^2$  (Richard A, 2000).

$n$  blir 98 sampel under dessa valda parametrar:

Ett 95 % konfidensintervall väljs för variabeln,  $y_{tan}$ , och feluppskattningen sätts till  $\pm 10$  % från medelvärdet.  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ , med  $\alpha = 0,05$  och skattningen för  $\sigma$  erhålls från den beräknade standardavvikelsen = 2,56. Medelvärdesfelet väljs till 10 % vilket ger  $E = 0,1 * \text{Medel}$ , vilket ger  $E = 0,1 * 5,08 = 0,508$ .

Ett sampel på 98 delobjekt måste alltså göras ur transformationen; roten ur, om urvalet ska vara representativt. Det blir en så hög siffra huvudsakligen på grund av den stora standardavvikelsen. Det gick alltså inte att göra ett urval (det finns bara 85 delobjekt), utan alla delobjektsytor var tvungna att tas fram.

TABELL 25. STATISTIK FÖR 85 DELOBJEKTSYTOR.

Delobjektyta	Antal	Medel	Median	Std.av.	Max	Min
	85	32,28	22,00	34,37	177	2

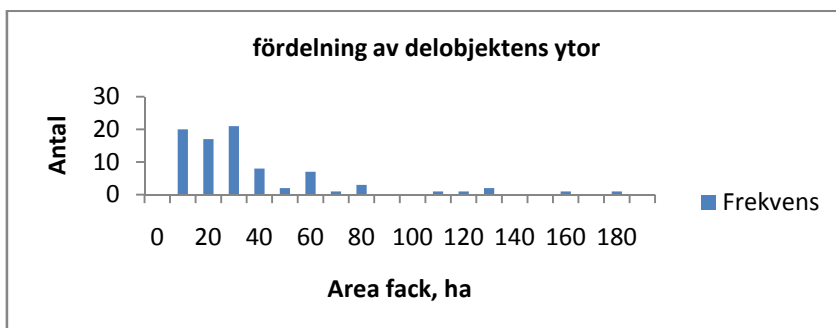


BILD 8. STATISTIK FÖR 85 DELOBJEKTYTOR

TABELL 26. STATISTIK FÖR 85 DELOBJEKTYTOR MED TRANSFORMATIONEN ROTEN UR

Sqr(Delobjektyta)	Antal	Medel	Median	Std.av.	Max	Min
	85	5,08	4,69	2,56	13	1

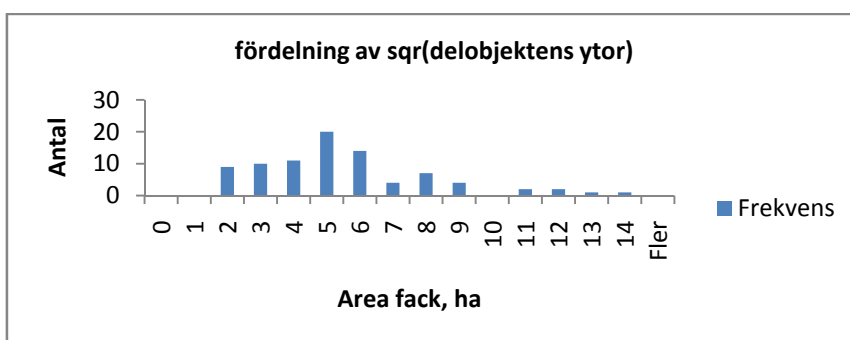


BILD 9. STATISTIK FÖR 85 DELOBJEKTYTOR MED TRANSFORMATIONEN ROTEN UR

## KARTOR ÖVER VÅTMARKSUTBREDNINGEN I BIOGAS ÖSTS REGION

Här följer GIS-kartor framtagna över den geografiska utbredningen av TUVAs objekten i Biogas östs region. Det är bara Uppsala län som har ca hälften av de intressanta VMI-objekten inkluderade i våtmarksutbredningen. PL och PH är procentsatser. De står för lågt respektive högre beräknad avkastning (se stycke 3.6.1). Våtmarkstätheten kan inte jämföras mellan kartorna utan är gjord utifrån en relativ- och länsspecifik-sortering, se 4.5.3 för förklaring.

För Sverigekartan gäller © Lantmäteriet Gävle 2009. Medgivande I 2008/1962.

VMI GIS-material har hämtats från (Våtmarksinventeringen, 2009).

TUVA GIS-material har hämtats från (TUVA, 2009).

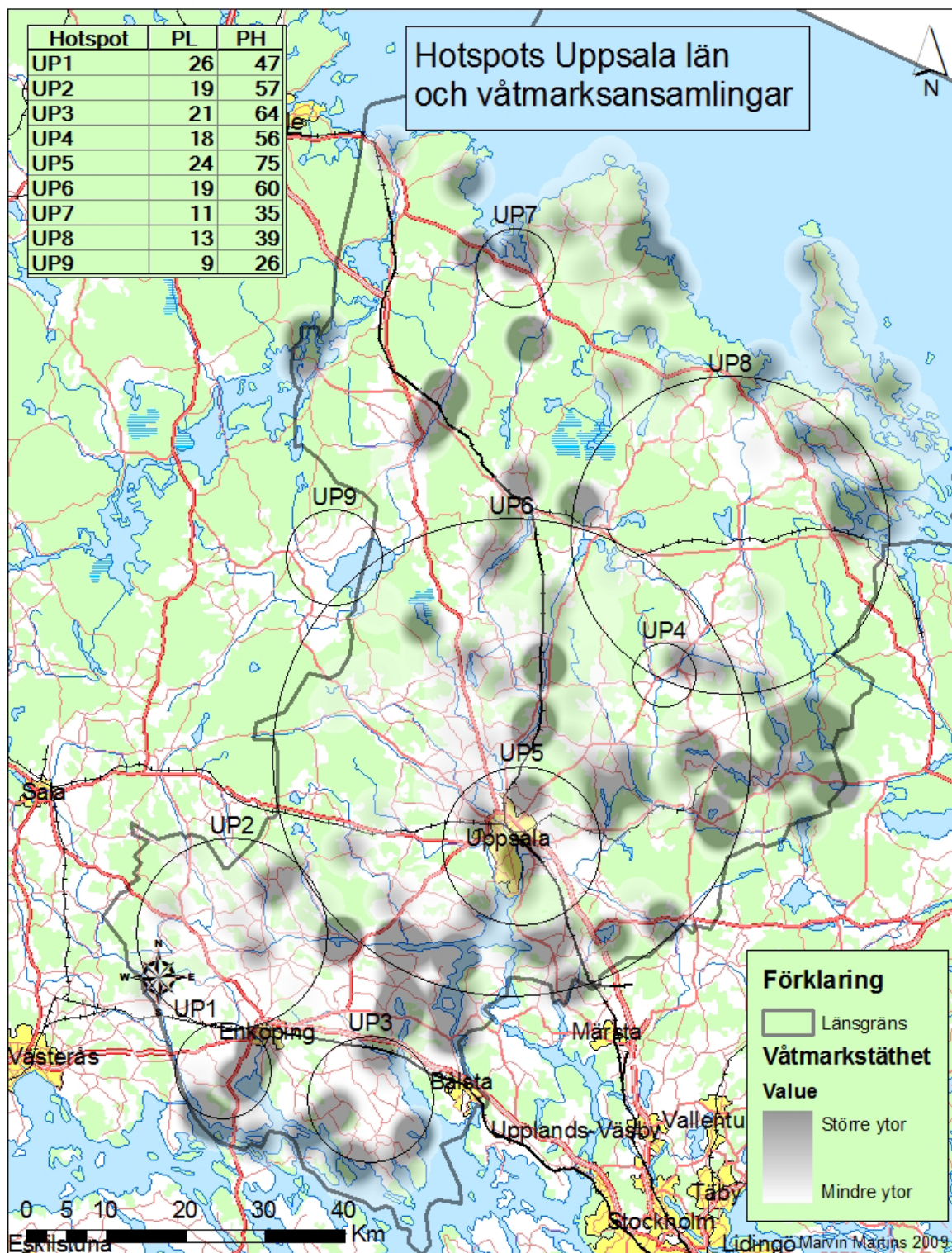


BILD 10. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA- OCH VMI-OBJEKT) I UPPSALA LÄN.

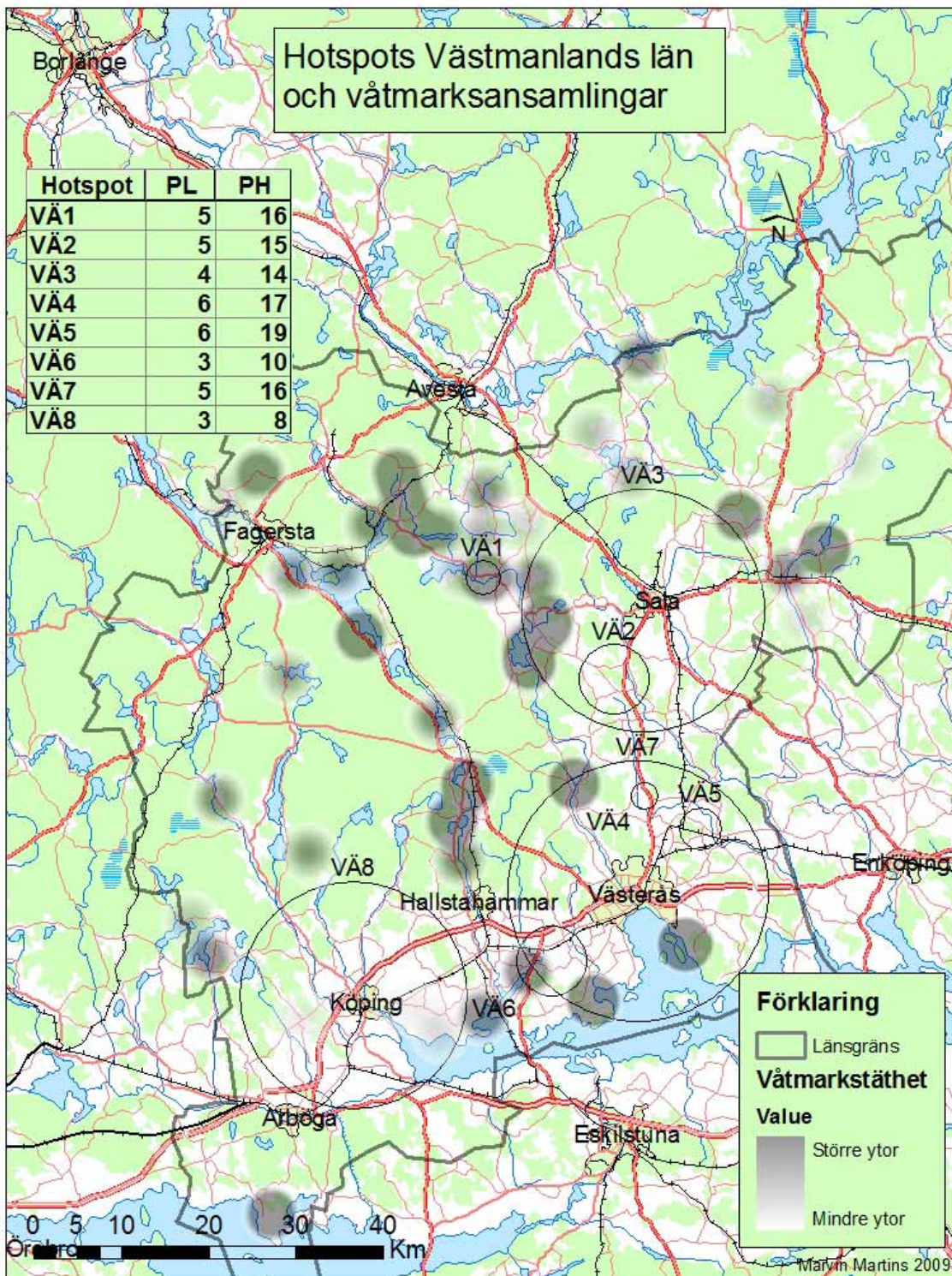


BILD 11. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I VÄSTMANLANDS LÄN.

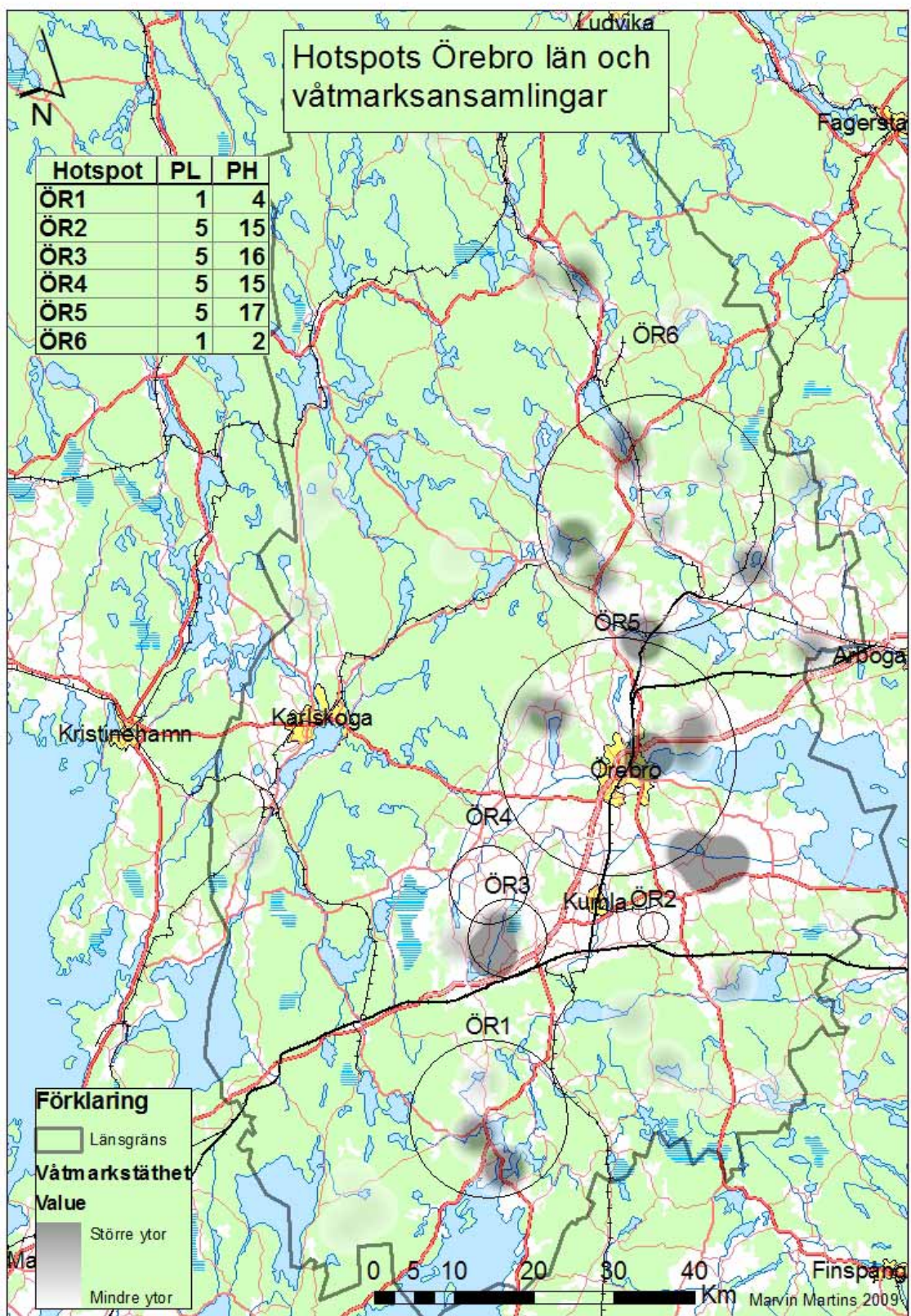


BILD 12. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I ÖREBRO LÄN.

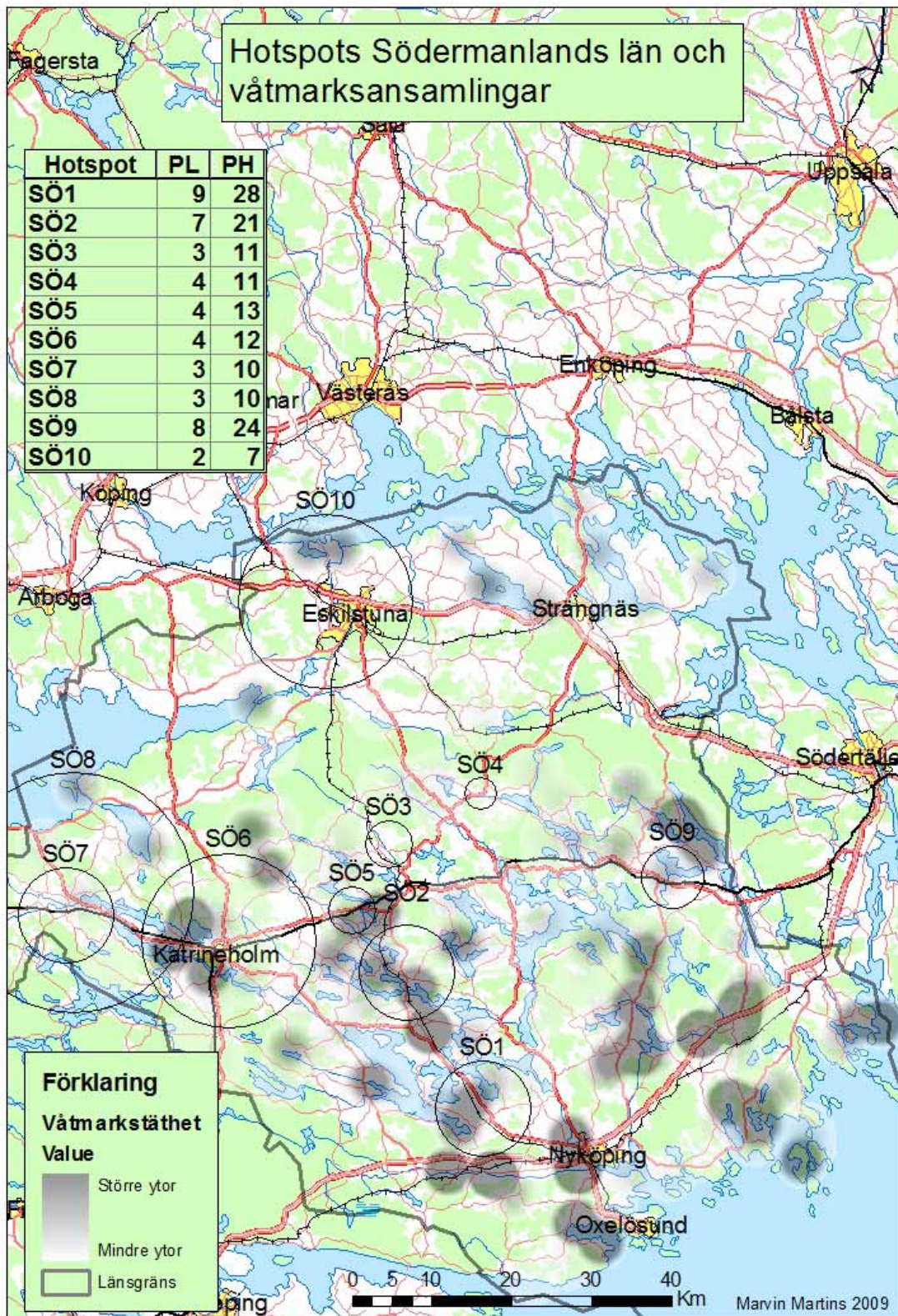


BILD 13. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I SÖDERMANLANDS LÄN.

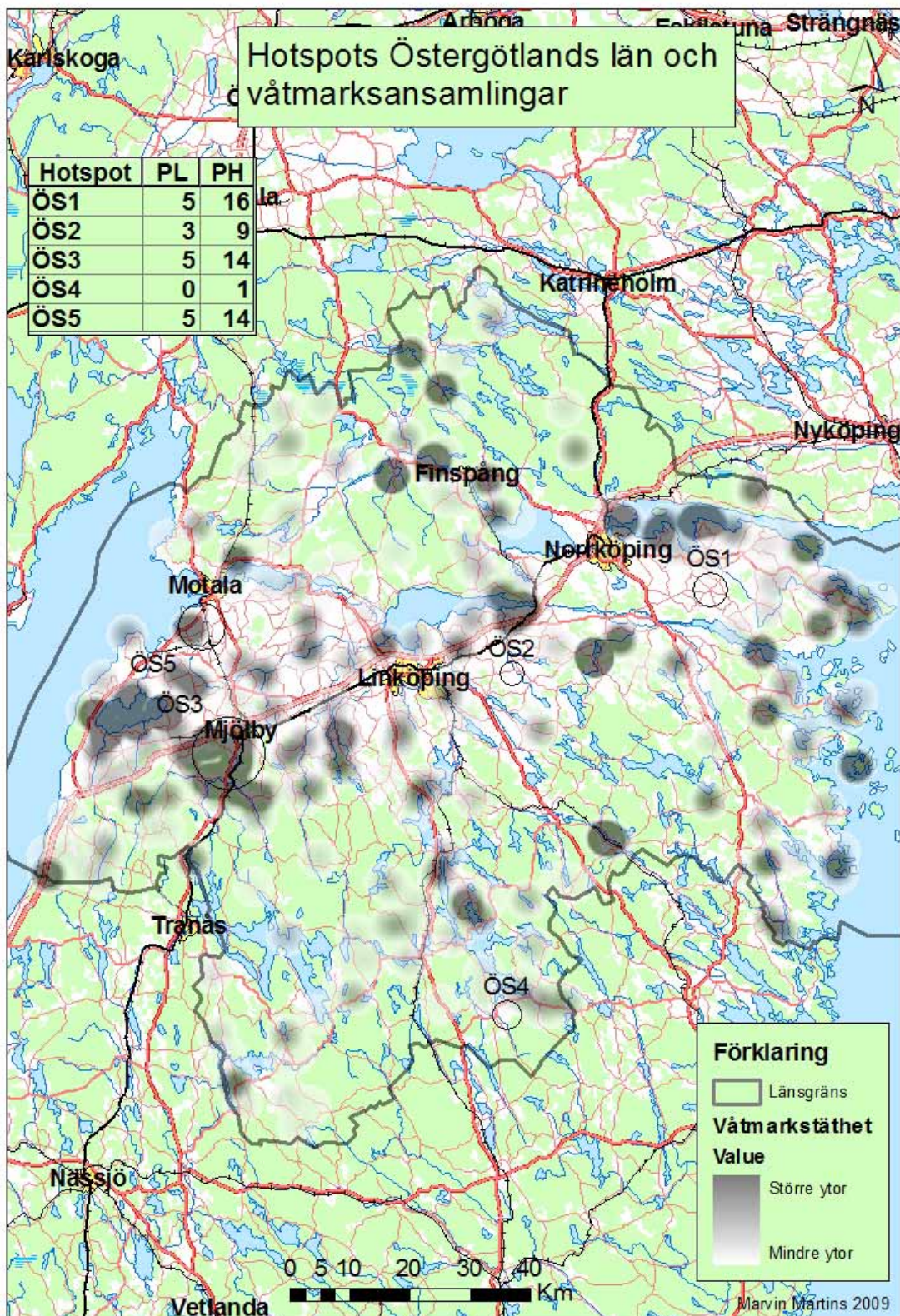


BILD 14. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I ÖSTERGÖTLANDS LÄN.

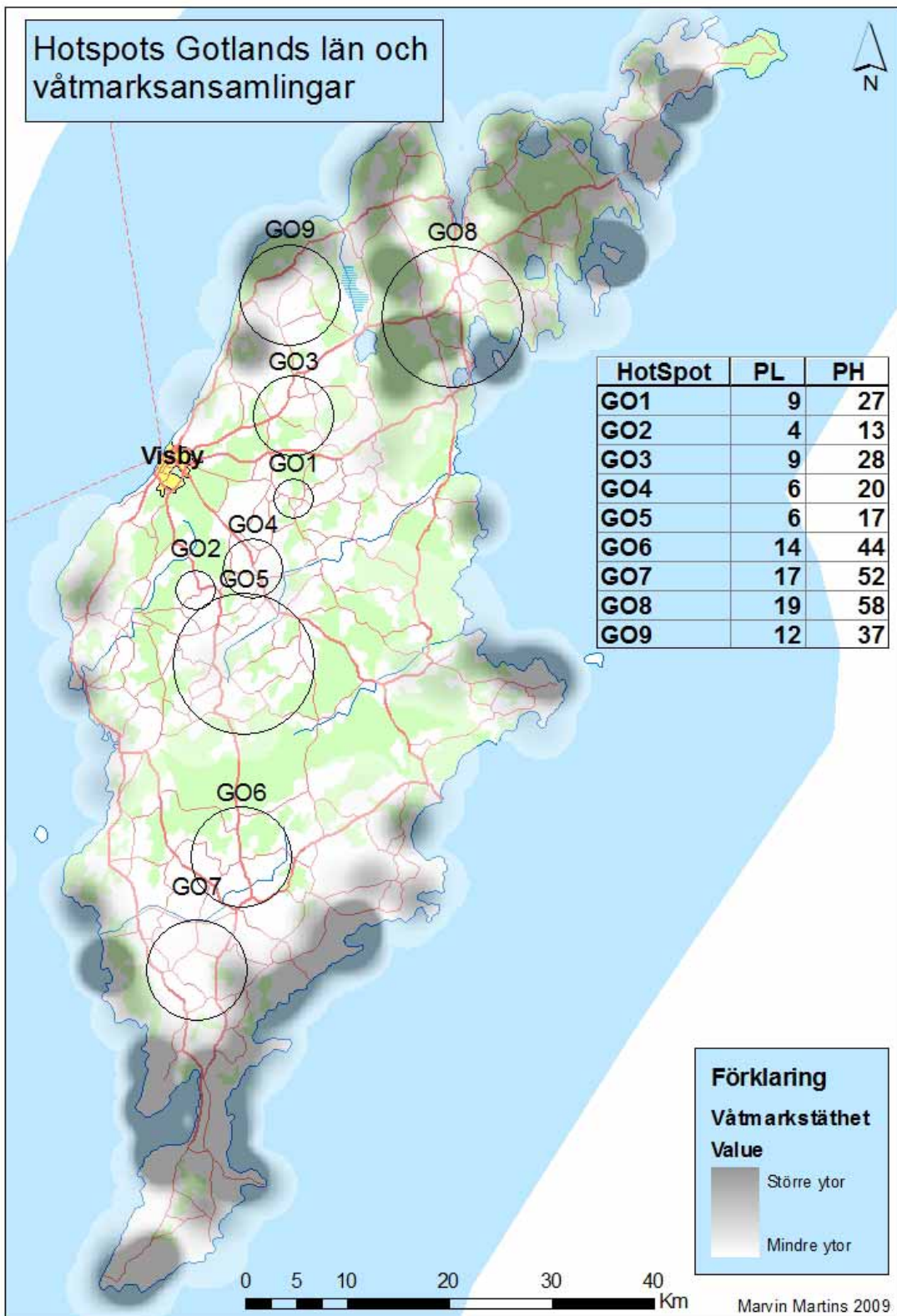


BILD 15. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I GOTLANDS LÄN.

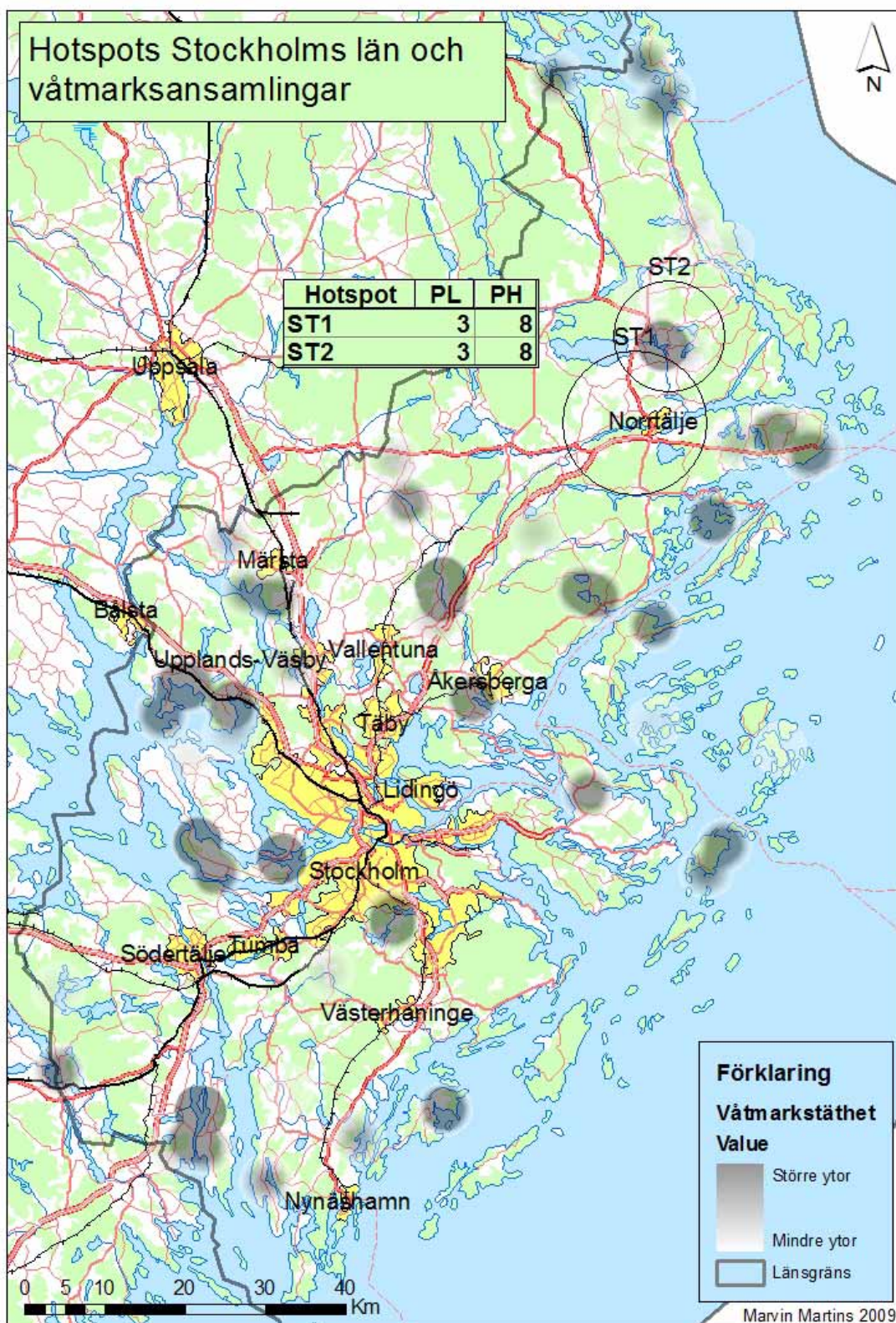


BILD 16. "HOTSPOTS" OCH VÅTMARKSANSAMLINGAR (TUVA-OBJEKT) I STOCKHOLMS LÄN.