

Seminarieuppsatser nr 164

Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂



Andrea Johansson

2009
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂

ANDREA JOHANSSON

Kandidatuppsats i
Naturgeografi och Ekosystemanalys

Handledare:
Margareta Johansson

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet 2009

Abstract

Different wetlandtypes effect on CH₄, N₂O and CO₂ emissions, and uptake of N₂

Wetlands are constructed for uptake of nutrients in areas that have exceeded critical loads of nitrogen and also for promoting biological diversity. Wetlands have not only positive effects, they have some negative environmental effects as they emit the greenhouse gases methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and nitrous oxide (N₂O). There are different ways to construct wetlands which gives different types of consequences. The vegetation in the wetlands has also proved to be important for both the uptake of nitrogen and for the emissions of greenhouse gases.

Four types of constructed wetlands have been compared, to see which is best suited for maximum uptake of nitrogen and minimum emissions of greenhouse gases. The different types are: the wetlands with free water surface (FWS), horizontal subsurface flow (HSSF), vertical subsurface flow (VSSF) and hybrid systems.

The hybrid system consisting of one vertical- horizontal subsurface flow wetland was found to be the best alternative regarding the uptake of nitrogen. If the purpose is to have as little greenhouse gas emissions as possible the free water surface is the most effective type of wetland.

Keywords: Geography, physical geography, wetland, free water surface, horizontal subsurface flow, vertical subsurface flow, methane, carbon dioxide, nitrous oxide, nitrogen

Abstrakt

Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂

Våtmarker konstrueras för att de ska ta upp näringsämnen i områden där de överstiger kritiska mängder av kväve, men även för att gynna den biologiska mångfalden. Våtmarker har inte enbart positiva effekter, de har även negativa effekter för miljön eftersom de avger växthusgaserna metan (CH₄), koldioxid (CO₂) och dikväveoxid (N₂O). Det finns olika sätt att konstruera våtmarker på som ger olika konsekvenser. Vegetationen i våtmarkerna har också visat sig vara viktiga både för upptaget av kväve och för utsläppen av växthusgaserna.

Fyra olika typer av våtmarker har blivit jämförda, för att se vilken av dem som är bäst ämnad för maximalt upptag av kväve och för minimalt utsläpp av växthusgaserna. De olika typerna är: våtmarker som är ytvattenflödande (FWS), horisontalflödande (HSSF), vertikalflödande (VSSF) och hybrida system.

Det hybrida system som består av en vertikal- horisontalflödande våtmark är det bästa alternativet med tanke på kväveupptaget. Om syftet däremot skulle vara att släppa ut så lite växthusgaser som möjligt var den ytvattenflödande våtmarken mest effektiv.

Nyckelord: Geografi, Naturgeografi, våtmark, ytvattenflödande, horisontalflöde, vertikalflöde, metan, koldioxid, dikväveoxid, kväve

Populärvetenskaplig sammanfattning

I det svenska landskapet saknas många av de naturliga våtmarker som fanns innan våtmarkerna dränerades för att göra plats till åkermark. Idag försöker man rekonstruera eller anlägga helt nya våtmarker i Sverige då främst i odlingslandskapet. Detta görs inte enbart för att ge tillbaka en del av det naturliga landskapet och öka den biologiska mångfalden, våtmarker konstrueras även i stor utsträckning för att öka det naturliga upptaget av näringsämnen, vilket för till att övergödning i sjöar och hav minskar.

Men våtmarker är inte bara positiva inslag i miljön de har även negativa konsekvenser. Våtmarker avger växthusgaser då främst metan, koldioxid och dikväveoxid (lustgas), dessa gaser är viktiga gaser då man tittar på den globala uppvärmningen som sker idag. Syftet med denna kandidatuppsats är att titta närmare på hur upptaget av kväve påverkas beroende på vilken typ av våtmark som konstrueras och hur de olika typerna påverkar utsläppen av växthusgaserna. Vad som också har undersökts är om vegetationen har någon viktig roll i detta samspel eller om den är helt oviktig i detta sammanhang.

Det finns tre huvudsakliga våtmarkstyper som kategoriseras efter hur vattnet flödar igenom dem. De består av ytvattenflödande våtmarker, horisontellt flödande våtmarker och vertikalt flödande våtmarker. En ytvattenflödande våtmark är en våtmark där vattnet flödar över marken, dvs. vattnet har direkt kontakt med atmosfären. En horisontellt flödande våtmark har sitt vattenflöde under markytan där det flödar horisontellt från inloppet till utloppet. En vertikalt flödande våtmark har också sitt vattenflöde under markytan men i det här fallet flödar vattnet vertikalt från inloppet till utloppet. De tre nyss nämnda våtmarkstyperna kan även kombineras vilket då bildar en hybrid våtmark. Växterna i våtmarker har en positiv påverkan på kväveupptaget, där de stabiliserar det annars mycket mer varierande kväveupptaget. Vegetationen påverkar även utsläppen av växthusgasen metan, de kan ha både en positiv eller negativ effekt beroende på vilken art som planteras i den konstruerade våtmarken, de andra två växthusgaserna, koldioxid och dikväveoxid har inte visat sig vara påverkade av vegetationen.

Det har visat sig att den våtmark som släpper ut mest växthusgaser är den vertikala våtmarken eller en hybrid våtmark där den vertikala typen är en beståndsdel. Den våtmarkstyp som har minst utsläpp av växthusgaser är den ytvattenflödande våtmarken. Den våtmark som har visat sig vara bäst på att ta upp kväve är en hybrid våtmark som kombinerar en vertikal med en horisontell våtmark. Men om man vill att en våtmark ska vara både effektiv på att ta upp kväve och släppa ut så lite växthusgaser som möjligt så är en ytvattenflödande våtmark eller en hybrid våtmark med en kombination av en ytvattenflödande och en horisontell våtmark de som är bäst lämpade.

Innehållsförteckning

Abstract	5
Abstrakt	7
Populärvetenskaplig sammanfattning	9
Innehållsförteckning	11
Inledning	13
Syfte	13
Bakgrund	14
Våtmarker i Sverige	14
Vad sker i våtmarker?	15
Utsläpp av kväve (N)	15
Utsläpp av växthusgaserna CH₄, N₂O och CO₂	15
Vegetationens roll i våtmarker	17
Våtmarkernas bottenmaterial	18
Olika våtmarkstyper	18
Ytvattenflödande våtmarker (FWS, 'free water surface')	18
Horisontalflödande våtmarker (HSSF, 'horizontal subsurface flow')	19
Vertikalflödande våtmarker (VSSF, 'vertical subsurface flow')	20
Hybrid system av våtmarker	21
Våtmarker mest använda i Europa och Sverige	21
Metod	22
Resultat	23
Ytvattenflödande våtmarker (FWS, 'free water surface')	23
Horisontalflödande våtmarker (HSSF, 'horizontal subsurface flow')	24
Vertikalflödande våtmarker (VSSF, 'vertical subsurface flow')	25
Hybridsystem av våtmarker	26
Jämförelse mellan de olika systemen	27
Vegetation i våtmarkerna	29
Diskussion	31

Slutsatser.....	33
Källor.....	34
Litteratur.....	34
Internet.....	36
Personlig kontakt.....	36

Inledning

Övergödning är ett stort problem i dag som leder till bland annat algbloomning och syrebrist som i sin tur leder till bottendöd i sjöar, vattendrag, kust- och havsområden (Bernes 2005). Övergödning sker när onaturligt stora mängder kväve och fosfor når de naturliga ekosystemen då främst i sjöar och hav (Jansson *et al.* 1994). Det var under 1980-1990-talet som man upptäckte nackdelarna med övergödning, då särskilt vid kusterna. Många naturliga våtmarker och sjöar hade blivit torrlagda för att göra plats för åkermarker. Detta medförde att övergödningen ökade i sjöar och hav. Tiden som kvävet tillbringade i avrinningsområdet minskade dramatiskt vilket inte gynnade det naturliga kväveupptaget (Stadmark & Leonardson 2005).

Våtmarker har börjat konstrueras i stora mängder för att förhindra övergödning. De är ett billigt och lätt sätt att få bort kväve och fosfor från vattendrag och därmed minska övergödningen (Søvik *et al.* 2006). Idag anser många forskare och politiker att anläggandet av nya våtmarker är den viktigaste åtgärden som kan tas för att minska transporten av näringsämnen från jordbruk, skogsbruk, avlopp och trafik till havet (Stadmark & Leonardson 2005).

Våtmarker har inte enbart positiva effekter på miljön utan de avger även växthusgaser, då främst metan (CH₄) och dikväveoxid (N₂O) (Gui *et al.* 2007). Växthusgaser bidrar till att den globala temperaturen ökar. Konsekvenserna av en temperaturökning i Europa kan bli ökade risker för störtfloder i inlandet, översvämningar och erosioner vid kusterna. Berg kommer att ha färre glaciärer och mindre snö under vintern, vilket inte påverkar enbart turismen utan även de växter och djur som lever där. Klimatförändringen kommer även att leda till fler värmeböljor och fler bränder i torra områden (IPCCa 2007).

Syfte

Syftet med denna undersökning är jämföra hur olika konstruktioner av våtmarker påverkar upptaget av kväve och hur mycket av växthusgaserna metan (CH₄) dikväveoxid (N₂O) och koldioxid (CO₂) som avges från dem. Spelar vegetationen i våtmarken någon betydande roll eller är dess påverkan obetydlig. Vilken våtmarkstyp bör man använda sig av för att maximera kväveupptaget och samtidigt ha så lite växthusgas utsläpp som möjligt.

Bakgrund

Våtmarker i Sverige

Våtmarker förhindrar att kvävet transporteras direkt ut i havet med vattendragen, vilket i sin tur medför att det naturliga kväveupptaget som finns i anaeroba (syrefattiga) miljöer har länge tid på sig att verka (Jansson *et al.* 1994). Det är viktigt att få bort kvävet från vattendragen eftersom 95 % av det kväve som når Östersjön är vattenburet (<http://www.helcom.fi>). Under 1850 och 1950-talet blev många våtmarker och sjöar torrlagda för att göra plats för åkermarker i Sverige (Stadmark & Leonardson 2005). Under den tid då våtmarker torrlades försvann 50-90 % av våtmarkerna i södra Sverige (Jansson *et al.* 1994).

Näringsämnen i de svenska vattendragen kommer inte i första hand från bebyggda områden utan från åkermarker. Ungefär en tredjedel av det kväve som når de Svenska vattendragen kommer från jordbruksmarken. Detta gör att mer utsläpp sker i den södra och mellersta delen av Sverige än i den norra delen eftersom jordbruk sker i större utsträckning i södra Sverige. Totalt från Sverige avges ca 158 000 ton vattenburen kväve varje år (Bernes 2005). Enligt Sveriges miljömål 'myllrande våtmarker' ska 12 000 hektar våtmarker ha anlagts eller rekonstruerats i Sveriges odlingslandskap från 1999 till 2010 (www.naturvardsverket.se). Detta mål kommer troligen inte att uppnås, det har beräknats att antalet anlagda våtmarker 2010 kommer att vara 9500 hektar. År 2007 hade 4730 hektar våtmarker anlagts, de beräknades ha en reningseffekt på drygt 600-650 ton kväve per år, vilket är en väldigt liten procentuell andel av de totala utsläppen (www.miljomal.nu). En överenskommelse för att förbättra kvaliteten i Östersjön är 'Baltic Sea action plan'. Den skrevs under den 15 november 2007 i Krakow, Polen. 2010 ska medlemsländerna ha utvecklat en plan över hur de ska nå målen. En del av denna plan är att länderna runt Baltiska havet ska minska övergödningen fram till 2021. Sverige ska fram till dess ha minskat kväveutsläppen till Östersjön med 20,780 ton per år (Tabell 1) (www.helcom.fi).

Tabell 1. Förväntad minskning av kväveutsläppen till Östersjön fram till 2021 enligt 'Baltic Sea action plan' för de olika länderna (<http://www.helcom.fi>).

	Kväve (ton)
Danmark	17,210
Estland	900
Finland	1,200
Tyskland	5,620
Lettland	2,560
Litauen	11,750
Polen	62,400
Ryssland	6,970
Sverige	20,780
Gemensamma utsläpp	3,780

Vad sker i våtmarker?

Upptag av kväve (N)

Kväve förekommer i många olika former, i våtmarker förekommer kväve främst som ammonium (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻) och nitrat (NO₃⁻) (Vymazal 2007). Kväve tas huvudsakligen upp på två olika sätt i våtmarker, nitrifikation/denitrifikation och genom upptag av växter (assimilation) (Vymazal 2005). Nitrifikation följt av denitrifikation är de processer som anses vara de viktigaste med tanke på kväveupptaget i våtmarker (Lee *et al.* 2009).

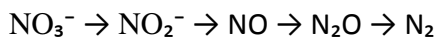
Nitrifikation sker i en aerob (syrerik) miljö och dess effektivitet beror oftast på tillgången till syre (Vymazal 2005). Det är två grupper av mikroorganismer som gör det möjligt för nitrifikationen att ske (Vymazal 2007). En grupp omvandlar ammonium till nitrit genom ammoniumoxidation. Den andra gruppen omvandlar nitrit till nitrat genom nitritoxidation. Eftersom båda stegen sker med hjälp av oxidation behövs stora mängder av syre för att nitrifikation ska ske (Lee *et al.* 2009).



De två nitrifikations-stegen (Maltais-Landry *et al.* 2009)

Nitrifikationen är mest effektiv om temperaturen överstiger 10°C och sjunker vid lägre temperaturer och om den går ned till under 6°C så försvinner nitrifikationen helt (Yalcuk & Ugurlu 2009). Nitrifikation sjunker också fort om pH värdet i våtmarken ligger under 7 (Lee *et al.* 2009).

Denitrifikationen sker när bakterier omvandlar nitrat (NO₃⁻) och nitrit (NO₂⁻) till atmosfäriskt kväve (N₂) (Chapin *et al.* 2002). Denitrifikation förekommer i en anaerob (syrefattig) miljö där denitrifikationsbakterierna har tillgång till organiskt material, som de kan bryta ned (Jansson *et al.* 1994). Det finns två grupper av denitrifikationsbakterier, de heterotrofa och de autotrofa. De heterotrofa mikroberna använder sig av organiska substrater för sin tillväxt och får sin energi från organiskt material. De autotrofa använder sig av oorganiska substanser för att få energi och koldioxid för sin tillväxt (Lee *et al.* 2009). Denitrifikationen sker i sedimentbotten av våtmarken. En våtmark som är ämnad till att ta upp kväve bör alltså ha en stor area så att denitrifikation kan ske över ett stort område (Jansson *et al.* 1994). Denitrifikations aktiviteten är högst vid pH 6-8 men förekommer vid både lägre och högre värden (Jansson *et al.* 1994).



Denitrifikations stegen (Maltais-Landry *et al.* 2009).

Utsläpp av växthusgaserna metan (CH₄), dikväveoxid (N₂O) och koldioxid (CO₂)

De växthusgaser som avges från våtmarker är främst metan (CH₄), dikväveoxid (N₂O) och koldioxid (CO₂). De är alla viktiga växthusgaser.

Metan har en atmosfärisk livslängd på 12 till 17 år och bidrar i det närmaste med 25 % av den globala uppvärmningen (Søvik & Kløve 2007). Den globala uppvärmningspotentialen (GWP) på 100 år är 25 gånger större för växthusgasen metan än koldioxid (IPCCb 2007). Metanhalten i atmosfären ökar med ungefär 0,8 % varje år (Teiter & Mander 2005). Metan bildas i den anaeroba miljön som finns i våtmarker med hjälp av metanbakterier, metanogener. Bakterierna tillverkar metan genom två olika processer, de kan antingen reducera CO₂ med H₂, vilket ger metan som slutprodukt eller så kan fermentering av acetat bilda metan och koldioxid. Den första processen står för ca 30 % av den naturliga produktionen av metan och den andra processen står för ca 70 % av den naturliga metantillverkningen (Stadmark 2008). Hur effektiv metan tillverkningen är beror på temperaturen, vattendjupet och vilken vegetation som finns i våtmarken (Ström *et al.* 2007). De bakterier som tillverkar metan lever endast i våtmarker där pH är mellan 6.5 och 7.5 (Vymazal 2005). Två tredjedelar av det metan som bildas i våtmarker oxideras innan det når atmosfären. Detta beror på att i en aerob miljö oxideras metan lätt till koldioxid, eftersom våtmarker ofta innehåller både anaeroba och aeroba miljöer är det lätt för metan att hamna i ett område som gynnar oxidationen (Stadmark 2008). I Sverige står de naturliga våtmarkerna för ungefär 75 % av metanemissionerna. Åkerlandskap har visat sig ta upp metan från atmosfären, vilket medför att när våtmarker konstrueras på gamla åkermarker så går området från att ha varit en metansänka till att bli en metankälla (Stadmark & Leonardson 2005).

Koncentrationen av N₂O i atmosfären ökar idag med ca 0.3% varje år (Søvik & Kløve 2007), och den har en livslängd i atmosfären på cirka 114 år (IPCCb 2007). Den tros vara ansvarig för 5 % av den globala uppvärmningen (Søvik & Kløve 2007). Dikväveoxid har en global uppvärmningspotential (GWP) på 298 för en 100 års period (IPCCb 2007). Naturliga våtmarker avger inte några större mängder N₂O (0,023-0,118 mg m⁻²dag⁻¹). De konstruerade våtmarker har en mycket högre halt med kväve vilket leder till att de även får en högre halt av N₂O emissioner (Ström *et al.* 2007). Om man jämför hur stora N₂O emissioner våtmarker har jämfört med hur mycket kväve som lämnar systemet som N₂ visade det sig att N₂O stod för mindre än en procents utsläpp jämför med den totala kväve reningen (N₂ emissionerna) i de flesta våtmarker (Stadmark 2008). N₂O produktionen är störst i områden med pH under 5 (Picek *et al.* 2007). Det är under nitrifikation och denitrifikation som växthusgasen dikväveoxid (N₂O) produceras (Maltais-Landry *et al.* 2009).

Koldioxid är den växthusgas som påverkar klimatet mest, inte för att den är en effektivare växthusgas utan för att den avges i störst mängder än de andra gaserna (IPCCb 2007). Koldioxid tas upp i våtmarker genom fotosyntesen med växterna, men den avges även genom respiration från växter och bakterier. Detta medför att våtmarker kan vara både koldioxidkällor och sänkor (Maltais-Landry *et al.* 2009). Våtmarker kan också fungera som kolsänkor genom sedimentation av organiskt kol på våtmarkens botten (Stadmark 2008).

Vegetationens roll i våtmarker

I våtmarker består vegetationen av makrofyter vilka är vattenväxter, det vill säga växter som har anpassat sig till en våt miljö (www.biology-online.org). Olika makrofyter har olika egenskaper vilket gör att de är bättre eller sämre ämnade att ta upp kväve och släppa ut växthusgaser, till exempel har *Thypha latifolia* visat sig vara en bra växt för att ta upp kväve (Yalcuk & Ugurlu 2009). Våtmarker blir oftast planterade med *Phragmites australis* eftersom den har en hög produktivitet och en djup rotzon. I central Europa används oftast vegetationen *Schoenoplectus* (Säv (<http://linnaeus.nrm.se>)) och *Juncus* arter istället för *Phragmites*. De används eftersom den har en aktiv syre transport även under vintern (Luederitz *et al.* 2001). Växter tar upp oorganiskt kväve genom assimilation, för att sedan använda det som byggstenar i växten. Den kväveform som växter föredrar för assimilering är ammonium och nitrat. Hur mycket kväve de olika arterna av växter tar upp beror mycket på hur snabbväxande de är (Vymazal 2007). Många av de växter som tål att växa i våtmarker har arenkymer, luftfyllda kanaler som leder från rötterna direkt till atmosfären (Vymazal 2005). De växter som har arenkymer tillför syre från atmosfären till rötterna men de fraktar även metan (CH₄) och dikväveoxid (N₂O) direkt till atmosfären från rötterna. Dessa växter kan öka emissionerna av växthusgaserna metan (CH₄) och dikväveoxid (N₂O) från våtmarker eftersom gaserna då inte transporteras genom vattnet där oxidering kan ske på vägen till vattenytan. Mer än 90% av de årliga utsläppen av metan kan komma från transport genom växternas arenkymer (Johansson *et al.* 2004).

Det finns vanligtvis fem saker som bestämmer vilken vegetation som bör användas i en våtmark. De bör vara ekologiskt acceptabla i det område våtmarken befinner sig i, det vill säga att den inte påverkar området runt våtmarken med tanke på utspridning och sjukdomar. De borde även tåla det lokala klimatet, sjukdomar och djurliv. De måste även tåla föroreningar och vara vattentåliga. Makrofyterna bör även vara lätta att plantera och ha bra överlevnad och spridningsförmåga i våtmarken. Det viktigaste är kanske att de har en hög renings effekt då antingen genom en hög assimilation eller genom att hjälpa nitrifikationen med syretillförsel till rotzonen eller att hjälpa denitrifikationen med tillförsel av organiskt material (Tanner 1996).

Makrofyter ger även epiphyter och denitrifikations bakterierna en yta där de kan fästa sig vid vilket gynnar kväveupptaget (Weisner *et al.* 1994). Epiphyter är växter som lever på andra växter men som inte är parasiter, de har alltså ingen förankring i jorden (www.biology-online.org). En blandning mellan växter som befinner sig över och under vattenytan kan vara bra för kväveupptaget i en kväverik våtmark. Växterna ger våtmarken organiskt kol, vilket behövs för att denitrifikation ska kunna ske, detta är extra viktigt i de våtmarker som har en låg tillförsel av organiskt kol. Tillgång till solljus ökar också kväveupptaget. De växter som befinner sig under ytan med sina epiphyter ger systemet stora mängder organisk kol som är mer lättnedbrytbar än de växter som befinner sig över vattenytan. De tillför alltså våtmarken den organiska kol som behövs för denitrifikation. De makrofyter som sticker upp ur vattnet har fri tillgång till solljus och koldioxid vilket gör att de har större produktion än undervattensväxterna, de tillför även syre till botten vilket är bra för denitrifikationsbakterierna. Det översta jordlagret (10cm)

på en planterad våtmark har visat sig vara mer syrerikt än motsvarande område på en våtmark utan vegetation. Detta är mycket viktigt i syrefattiga våtmarker (Vymazal 2005).

Växtlighet kan även ha negativa konsekvenser på upptaget av kväve. Om de växer för tätt kan de hindra genomflödet av vatten och därigenom förlorar våtmarken områden där kväveupptag annars skulle kunna ske (Weisner *et al.* 1994).

Våtmarkernas bottenmaterial

Något som borde övervägas vid val av bottenmaterial till de vertikala och horisontella våtmarkerna är hur den hydrauliska konduktiviteten (markens genomsläpplighet för vatten) påverkas av de olika materialen. När jord används som markmaterial blir den hydrauliska konduktiviteten så låg att vattnet börjar flyta över ytan på våtmarken vilket minskar den tid som det tar vattnet att ta sig igenom systemet. Man trodde att växternas rötter skulle hjälpa med konduktiviteten men flera försök har misslyckats. Idag använder man sig av grovt material som till exempel grus för att vattnet ska flöda igenom systemet som det är tänkt, under markytan (Vymazal 2005).

Det har visat sig att det finns en skillnad i kväveupptaget med och utan växter beroende på vilket bottenmaterial våtmarken har. Testerna med vegetation på grus och lera visade att båda hade ett upptag på ungefär 50 % av kvävet, efter en tid ökade upptaget av NH₃ (ammoniak) för den våtmark med vegetation och grusbotten tills upptaget i vissa fall nådde 80 %. Där två våtmarker med grus och ler jämfördes utan vegetation visade det sig att kväve upptaget stannade på ca 50 % hela tiden. Det fanns mycket mer mikroorganismer i gruslagret än i lerslagret. Detta tros bero på att det finns mer ledigt utrymme för mikroorganismerna mellan grusstenarna än mellan lerpartiklarna. Undersökningen av Yang *et al.* (2001) visade att vegetation var bra för våtmarker med en grusbotten men att vegetation inte hjälper upptaget väsentligt för våtmarker med lerbottnar.

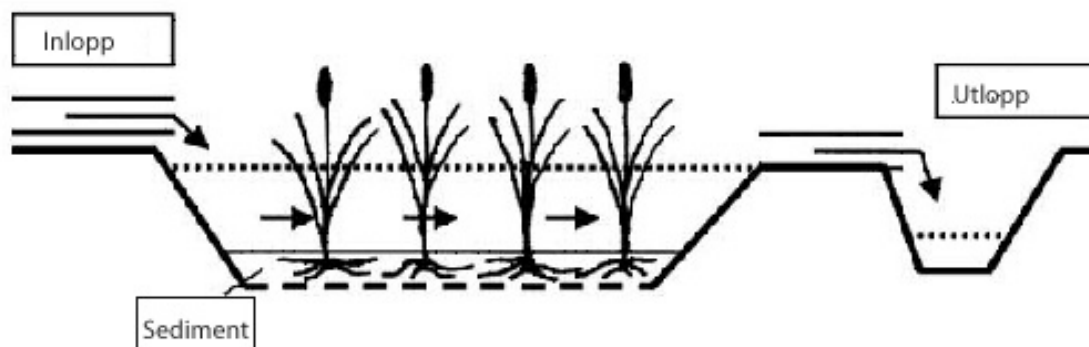
Olika våtmarkstyper

De våtmarker som konstrueras kan delas in i tre kategorier de ytvattenflödande, de horisontellt flödande och de vertikalt flödande våtmarkerna. Det finns även de som är en kombination av de ovan nämnda våtmarkerna, hybrida våtmarker.

Ytvattenflödande våtmarker (FWS, 'free water surface')

Definitionen av en våtmark med ytvattenflöde definieras enligt EPA (United States Environmental Protection Agency) som ett våtmarkssystem där vattenytan är i kontakt med atmosfären. De flesta naturliga och rekonstruerade våtmarker är ytvattenflödande. I detta system flödar vatten från ett inlopp till ett utlopp över en sedimentbotten med vegetation (Figur 1). När denna våtmarkstyp konstrueras grävs en eller flera grunda dammar eller kanaler med vattentåliga utsidor för att det vattnet i våtmarken inte ska läcka ut till grundvattnet. I botten av våtmarken finns ett jordlager så att makrofyterna

kan växa där (EPA 2000). Våtmarkerna har oftast ett djup på ca 0.5 meter (Lee *et al.* 2009) men även djupare våtmarker kan räknas som ytvattenflödande våtmarker (Stadmark & Leonardson 2005). För att våtmarken ska ta upp så mycket kväve som möjligt bör den ha så stor volym som möjligt så att vattnets genomfart tar så lång tid som möjligt. Den bör även ha så stor sedimentyta som möjligt eftersom det är i sedimentbotten som denitrifikationen och nitrifikationen sker (Jansson *et al.* 1994).



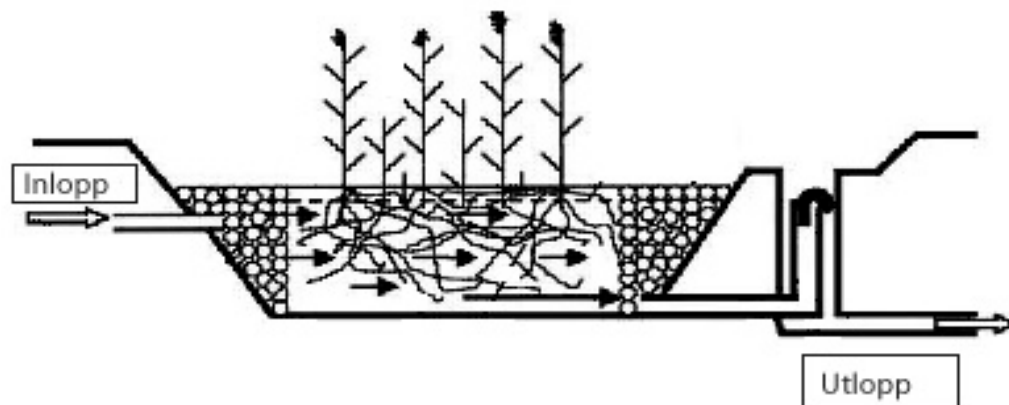
Figur 1. En ytvattenflödande våtmark. Modifierad från Vymazal (2007).

Horisontalflödande våtmarker (HSSF, 'horizontal subsurface flow')

I en horisontalt flödande våtmark befinner sig vattnet under markytan, där det rör sig horisontellt hela vägen från inloppet till våtmarken till utloppet (Figur 2). Denna typ av våtmark är mycket syrefattig (anaerob). På våtmarken planteras nästan alltid makrofyter vilket medför att när vattnet rör sig från inloppet till utloppet passerar det genom växternas rotsystem och utsätts därigenom för både aeroba och anaeroba miljöer (Vymazal 2005). Våtmarkerna brukar ha ett djup på ca 0.6-0.8 m just för att växternas rötter ska få all den plats de behöver. Makrofyterna tillför syre till rotzonen (Vymazal 2005). Horisontella våtmarker är väldigt bra på att ta bort organiskt material men är mindre bra på att ta upp näringsämnen (Vymazal 2005). Denitrifikation sker i den horisontella våtmarken men nitrifikation händer bara där det finns tillräckligt med syre och eftersom denna typ av våtmark har väldigt lite syre så sker mest denitrifikation (Yalcuk & Ugurlu 2009).

En horisontellt flödande våtmark skulle alltså passa bäst i ett område där det finns mycket nitrat och mindre mängder ammonium. Merparten av kvävet som transporteras i vattendrag från åkermarker är i form av nitrat (Bernes 2005), vilket gör jordbruksmark till den bästa platsen att anlägga horisontellt flödande våtmarker.

Arean på våtmarken är också viktig att titta på eftersom längden på dem påverkar hur mycket kväve som tas upp. I en för liten våtmark når den inte sin fulla potential för kväveupptag. Om vattnet har en tillräckligt lång sträcka att ta sig igen om har den större chans att färdas igenom ett område där bra förutsättningar för denitrifikation eller nitrifikation finns (Luederitz *et al.* 2001).

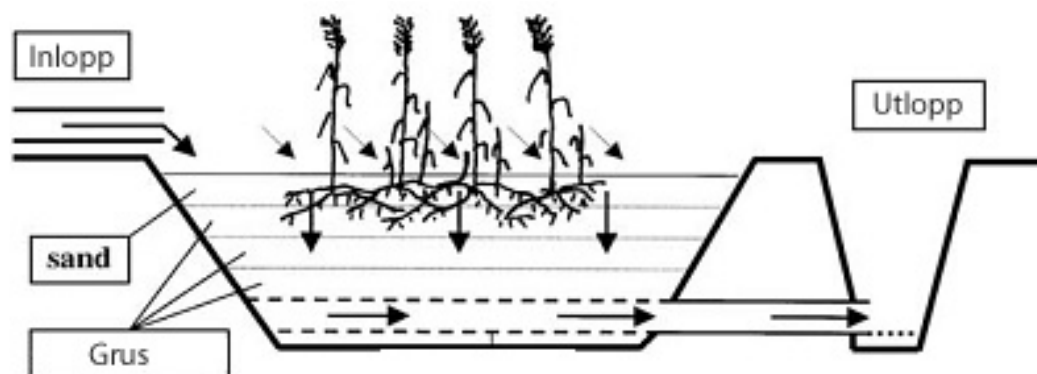


Figur 2. En horisontellt flödande våtmark. Modifierad från Vymazal (2007).

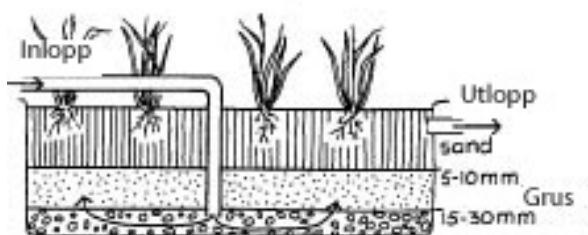
Vertikaltflödande våtmarker (VSSF, 'vertical subsurface flow')

I en våtmark med vertikaltflöde befinner sig vattnet under markytan. Vattnet tillförs vid inloppet och transporteras vertikalt till utloppet. Det finns två varianter på denna sortens våtmark, antingen har de vattenflödet nedåt (Figur 3) eller uppåt (Figur 4). När vattenflödet går nedåt flödar det från markytan och ned till botten och sedan ut. När vattenflödet i en vertikal våtmark går uppåt transporteras vattnet till botten av våtmarken igenom ett rör, efter det tvingas vattnet att ta sig upp genom marken till rotzonen och sedan ut genom utloppet som finns vid markytan (Brooks & Agate 2001). Det finns bra tillgång till syre (aerob) i den vertikala våtmarken vilket är bra för nitrifikationen men inte för denitrifikationen. Eftersom nitrifikation sker i stor grad men denitrifikation är liten omvandlas mycket ammonium till nitrat men det tas inte upp vilket gör att det fortfarande finns mycket kväve i vattnet efter att det lämnat våtmarken bara omvandlat. Det totala kväveupptaget för denna våtmark är låg (Yalcuk & Ugurlu 2009).

Arean på en vertikal våtmark behöver ej vara lika stor som den horisontella eftersom det i denna typ inte finns någon möjlighet för denitrifikation att ske i stor utsträckning oavsett hur stor den är, detta beror på att våtmarken inte har några helt syrefria områden där denitrifikationen kan ske (Luederitz *et al.* 2001).



Figur 3. En vertikaltflödande våtmark med flödet nedåt. Modifierad från Vymazal (2007).



Figur 4. En vertikalt flödandevåtmark med flödet uppåt. Modifierad från Brooks & Agate (2001).

Hybrid system av våtmarker

Det finns även de våtmarker som är kombinationer av de tre våtmarker som tidigare har nämnts. Denna typ av våtmark tar mycket större plats att anlägga än de andra eftersom det i huvudsak blir två eller fler system i följd. Hybridsystem då främst vertikal-horisontal system, började anläggas i Europa på 1990-talet och början på 2000-talet.

Det är vertikal- horisontalsystemet som används oftast. Detta sker eftersom i den första delen, det vertikala systemet, finns en aerob miljö som gynnar nitrifikationen och i den andra delen, det horisontala systemet, finns en anaerob miljö som gynnar denitrifikationen. Det är bäst att ha våtmarkerna i den följd eftersom nitrifikationen omvandlar ammonium till nitrat som sedan tas upp i denitrifikationen. Om man däremot börjar med det horisontella systemet som sedan efterföljs av ett vertikalt, så måste man efter det vertikala systemet återigen föra vattnet till ett horisontellt system för att kväveupptaget ska vara riktigt effektivt.

Idag kombineras inte bara två typer av system utan alla tre kan kombineras. Att man även använder sig av ytvattenflödessystem gör att vattenkvaliteten förbättras med tanke på organiskt material, kväve och fosfor (Vymazal 2005).

Våtmarker mest använda i Europa och Sverige

I Europa används våtmarker med horisontalt flöde i störst utsträckning, men de vertikalt flödande våtmarkerna anläggs nu också i allt större utsträckning. De traditionella våtmarkerna med ytvattenflöde används inte i lika stor utsträckning som de båda andra varianterna även om den har funnits i Europa långt före de andra typerna (Vymazal 2005). I SMHI:s register över våtmarker i Sverige finns det 1880 stycken våtmarker som har en total area på 4135 hektar. Dessa är de våtmarker som är anlagda med statliga medel, de är alla våtmarker med horisontellt flöde eller ytvattenflöde. Det finns naturligtvis fler våtmarker som är anlagda med kommunala eller med andra medel (Ann-Karin Thorén).

Metod

Denna undersökning är en litteraturstudie, där främst vetenskapliga artiklar har använts men även böcker och internetsidor. Även personliga kontakter har tagits med nyckelpersoner inom forskningsområdet i Sverige.

Värdena som har använts i denna studien är alla årsmedelvärden med undantag av vegetations undersökningen. Det har setts som viktigare att dela in värdena i de olika våtmarkstyperna än att bara undersöka ett speciellt område.

Resultat

Olika våtmarkstyper tar upp olika mycket kväve och släpper ut olika mycket växthusgaser. Vegetationen är viktig med tanke på upptaget av kväve och utsläppet av metan, men är mindre viktig för utsläppet av dikväveoxid (N₂O) och koldioxid (CO₂).

Ytvattenflödande våtmarker (FWS, 'free water surface')

Mer än 90 % av den globala uppvärmnings potentialen från de ytvattenflödande våtmarkerna kommer ifrån metan (Gui *et al.* 2007). De ytvattenflödande våtmarker som har undersökts på växthusgaser har visat att metan emissioner har ett årsmedelvärde för utsläpp som ligger mellan 37,5 och 201 mg m²/dag (Tabell 2). Koldioxid emissionerna ligger mellan 705 och 2600 mg m²/dag, och emissionerna av dikväveoxid befinner sig mellan 0,16 och 7,3 mg m²/dag.

Konstruerade ytvattenflödesvåtmarkers effektivitet att ta upp kväve har inte undersökts i många rapporter, men där de undersökts har de visat att det är 41,2 % av den totala mängden kväve som går in i systemet som tas upp (Tabell 3). Ytvattensvåtmarker är bättre på att ta upp nitrat än ammonium men skillnaden på hur mycket de tar upp är inte stor. Ammoniumupptaget har en effektivitet på 55,1% medan nitrat upptaget har en effektivitet på 60,7%.

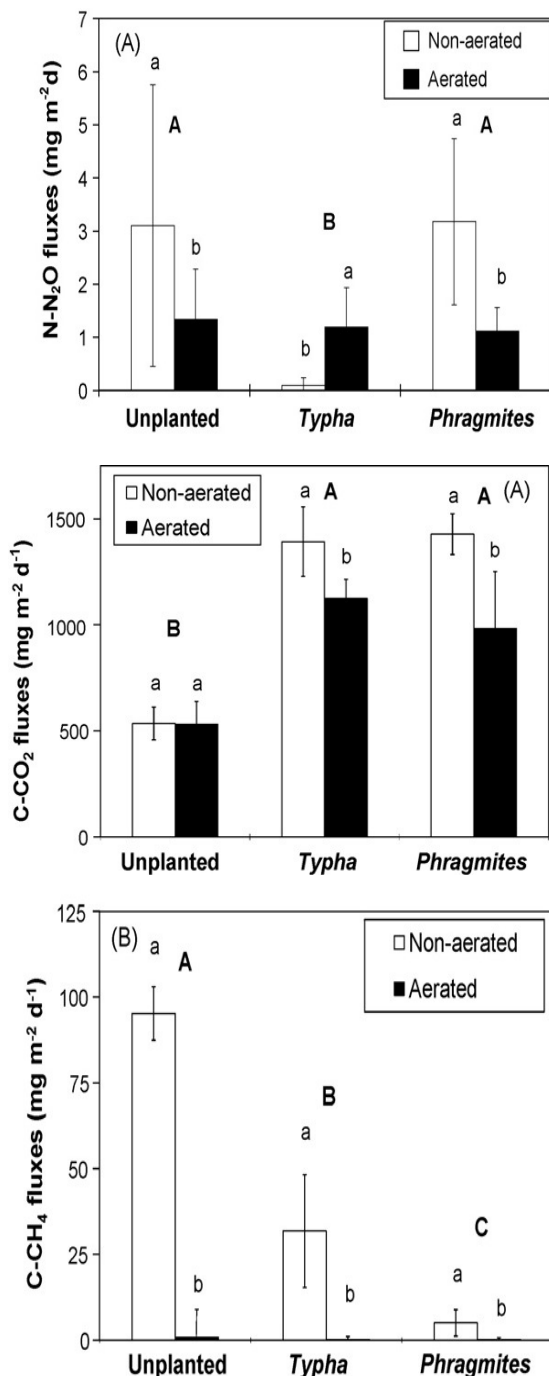
Tabell 2. Växthusgas emissionerna för olika ytvattenflödesvåtmarker i mg m²/dag.

	årsmedel	årsmedel	årsmedel	årsmedel	årsmedel
CH ₄ (mg m ² /dag)	141	154	37,5	201	201
CO ₂ (mg m ² /dag)	...	...	705	2600	1190
N ₂ O (mg m ² /dag)	...	7.3	0,24	0,16	2,75
Våtmark	Nykvarn	Skönhaug	Hovi	Lakeus	Skönhaug
Land	Sverige	Norge	Finland	Finland	Norge
Källa	Johansson <i>et al.</i> 2004	Søvik & Kløve 2007			

Tabell 3. Ytvattenflödesvåtmarkernas effektivitet av kväveupptaget i procent.

	effektivitet (%)
NH ₄	55,1
NO ₃	60,7
Totalt N	41,2
land	Globalt
källa	Vymazal 2007

Horisontalflödande våtmarker (HSSF, 'horizontal subsurface flow')



Figur 5. Emissionerna av växthusgaserna skiljer sig mellan horisontella våtmarker med och utan konstgjord syretillförsel. Undersökningen gjordes där det inte fanns någon vegetation samt där *Thypha* eller *Phragmites* växte. (modifierad från Maltais-Landry *et al.* 2009)

Horisontalflödande våtmarker är väldigt syrefattiga (anaeroba) vilket medför att nitrifikationen där är låg. I Kanada gjordes ett experiment för att se om emissionerna av växthusgaserna och upptaget av kväve förändrades om man tillförde syre till en horisontellt flödande våtmark. Syret skulle öka våtmarkens nitrifikationsförmåga, men detta skulle även medföra en minskning av dess förmåga att denitrifiera. Våtmarkens vegetation var *Thypha augustifolia*, *Phragmites australis* eller ingen vegetation. Alla undersökningsområden visade sig vara bra på att ta upp kväve med undantag av det område som inte hade vegetation och där det inte fanns konstgjord syretillförsel. Metan utsläppen var mindre där det fanns syretillförsel än där det inte fanns någon syretillförsel (Figur 5). Där ingen syretillförsel fanns hade *Thypha augustifolia* större emission av metan än *Phragmites australis* men båda hade mindre emissioner än där ingen vegetation fanns. Dikväveoxid (N₂O) utsläpp var mindre i de områden som hade konstgjord tillförsel av syre jämfört med de områden som inte hade tillförts syre med undantaget där *Thypha augustifolia* växte där utsläppen av dikväveoxid var större då syre tillförts, men *Thypha augustifolia* hade ändå mindre dikväveoxid (N₂O) utsläpp än där ingen vegetation fanns eller där *Phragmites australis* växte. Koldioxid hade mindre utsläpp där våtmarken syresattes och det fanns vegetation än där inget syre tillsattes. Där ingen vegetation fanns visade sig koldioxidutsläppen vara väldigt lika oavsett om våtmarken hade syretillförsel eller inte.

Konstgjord syretillförsel för till att horisontelltflödande våtmarker ökar kvävenedbrytningen och sänker samtidigt emissionerna av växthusgaser (Maltais-Landry *et al.* 2009).

De horisontalflödande våtmarker som har undersökts på växthusgasutsläpp har visat ett årsmedelvärde för metanemissioner mellan 64,25 och 357 mg m²/dag. Utsläppen av koldioxid ligger mellan 525 och 2380 mg m²/dag och för dikväveoxid ligger utsläppen mellan 2,65 och 21,45 mg m²/dag (Tabell 4).

Det totala kväveupptagets effektivitet i de horisontella våtmarkerna har visat sig ligga mellan 35 och 78% (Tabell 5). Det är svårt att se i denna tabell om nitrat eller ammonium är den kväveform som tas upp i störst omfattning av denna våtmarkstyp, men av ammonium tas 14-93,7% upp och av nitrat ligger upptaget på ca 40%.

Tabell 4. Växthusgas emissionerna för olika horisontalflödesvåtmarker i mg m²/dag.

	årsmedel	årsmedel	årsmedel	årsmedel	årsmedel
CH₄ (mg m²/dag)	...	170,75	85,5	64,25	357
CO₂ (mg m²/dag)	...	2380	1240	525	1930
N₂O (mg m²/dag)	76,8	4,35	2,65	21,45	...
Våtmark	...	kodijärve	Kõo	Ski	Nowa S.
Land	Tyskland	Estland	Estland	Norge	Polen
Källa	Mander 2008	Søvik & Kløve 2006			

Tabell 5. Horisontalflödesvåtmarkernas effektivitet av kväveupptag i procent.

	effektivitet %	effektivitet %	effektivitet %	effektivitet %	effektivitet %	effektivitet %
NH₄	14	19	38.3	48.3	93.7	74
NO₃	...	40	...	38.5	...	...
Totalt N	35	...	...	42.3	78	...
våtmark	Zitenice	Spaliene Prici	...	...	Schlanstedt	Loburg
land	Tjeckien	Tjeckien	Turkiet	Globalt	Tyskland	Tyskland
källa	Vymazal 2005		Yalcuk & Ugurlu 2009	Vymazal 2007	Luederitz <i>et al.</i> 2001	

Vertikalflödande våtmarker (VSSF, 'vertical subsurface flow')

För den vertikala våtmarken har bottenmaterialet visat sig vara viktigt. Där två vertikala våtmarker med och utan zeoliter i marken visade sig den med zeoliter vara bättre på att ta upp ammonium, upptaget av ammonium var 4-19 % större än en våtmark utan zeolit (Yalcuk & Ugurlu 2009).

I denna våtmarkstyp ligger utsläppen av växthusgaser mellan 72 och 393 mg m²/dag för metan, mellan 5 000 och 12 950 mg m²/dag för koldioxid och mellan 10 och 480 mg m²/dag (Tabell 6).

Kväveupptagets effektivitet för det totala kvävet ligger på 44-48 % (Tabell 7). Ammoniumupptaget ligger på 48-84 % vilket visar att denna våtmark är bra på att ta upp ammonium vilket stämmer bra med tidigare undersökningar (Vymazal 2007, Yalcuk & Ugurlu 2009). Hur effektiv denna våtmarkstyp är på att ta upp nitrat har inte undersökts i någon av de artiklar som har använts i denna rapport.

Tabell 6. Växthusgas emissionerna för olika vertikalflödesvåtmarker i mg m²/dag.

	årsmedel	årsmedel	årsmedel
CH ₄ (mg m ² /dag)	393,6	72	130
CO ₂ (mg m ² /dag)	...	5 000	12 950
N ₂ O (mg m ² /dag)	264	10,15	480,225
Våtmark	...	Kõo	Ski
Land	Estland	Estland	Norge
Källa	Mander 2008	Søvik <i>et al.</i> 2006	

Tabell 7. Vertikalflödesvåtmarkernas effektivitet av kväveupptaget i procent.

	effektivitet (%)	effektivitet (%)	effektivitet (%)	effektivitet (%)
NH ₄	62.3	48.9	...	84.2
NO ₃	...	...	...	...
Totalt N	...	...	48	44.6
Land	Turkiet	Turkiet	Tyskland	Globalt
	Yalcuk & Ugurlu 2009		Luederitz <i>et al.</i> 2001	Vymazal 2007

Hybridsystem av våtmarker

En hybrid våtmark är när man kombinerar flera olika sorters våtmarker till en. Den mest använda varianten är att kombinera en vertikalt flödande våtmark med en horisontellt flödande våtmark där de följer efter varandra. Det som är bra med detta alternativ är att systemen kompletterar varandra bra (Vymazal 2005). För att ta reda på hur mycket växthusgaser som en hybrid våtmark avger får man använda sig av värdena från de olika typer som våtmarken består av och lägga ihop dem.

I tre hybridsystem som har undersökts har det visat sig att effektiviteten av det totala kväveupptaget ligger mellan 61 och 86 % (Tabell 8).

Tabell 8. Hybridvåtmarkernas effektivitet av kväveupptaget i procent.

	effektivitet (%)	effektivitet (%)	effektivitet (%)
NH ₄	97	80	...
Totalt N	61	86	65
Våtmark	Bjödstrup-Landborup	Darzlubie	kõo
Land	Danmark	Polen	Estland
System	HSSF-VSSF	HSSF- HSSF-VSSF-HSSF	VSSF-HSSF-YSSF
Källa	Vymazal 2005	Vymazal 2005	Teiter & Mander 2005

Jämförelse mellan de olika systemen

Om man jämför upptaget av kväve mellan horisontella och vertikalt flödande våtmarker, har de horisontella visat sig ha tre gånger så mycket ammonium vid utloppet än vad de vertikala har. Men om man tittar på nitrat så visar det sig att de vertikala våtmarkerna har 13 gånger så mycket nitrat i utloppet än vad de horisontella våtmarkerna har (Luederitz *et al.* 2001). Det har alltså visat sig att den vertikala våtmarken är bra på att ta upp ammonium genom nitrifikation och den horisontella våtmarken är bra på att ta upp nitrat genom denitrifikation (Tabell 9). I den ytvattenflödande våtmarken sker både denitrifikation och nitrifikation men inte i lika stor utsträckning som i de två andra våtmarkstyperna.

Tabell 9. Tre våtmarkstypers förmåga att ta upp kväve genom nitrifikation och denitrifikation (Vymazal 2007)

	FWS	HSSF	VSSF
Nitrifikation (NH₄)	Medium	mycket låg	mycket hög
Denitrifikation (NO₃)	Medium	mycket hög	mycket låg

Det totala kväveupptaget i konstruerade våtmarker har visat sig vara störst för den hybrida våtmarkstypen. Detta beror troligen på att både denitrifikation och nitrifikation kan ske i större utsträckning än jämfört med de enskilda våtmarkstyperna, eftersom de har sina styrkor och svagheter som i hybrida system kompletterar varandra (tabell 9). De hybrida våtmarkerna har ett totalt kväveupptag på 71 % vilket gör att den tar upp mest kväve följt av den vertikala våtmarken som tar upp 44,6 %, den ytvattenflödande våtmarken som tar upp 41,2 % och den horisontella våtmarken som har den minsta effektiviteten på 38,7 % (Tabell 10).

Tabell 10. Våtmarkernas effektivitet av kväveupptaget i procent. Referens se Tabell 3,5,7,8.

	HSSF	VSSF	FWS	Hybrid
NH₄ (%)	20,3	65,1	55,1	87
NO₃ (%)	39,3	...	60,7	...
Totalt N (%)	38,7	44,6	41,2	71

Växthusgasemissionerna från de olika våtmarkerna har visat att metan och dikväveoxid utsläppen är störst från våtmarker med vertikalt flöde (Tabell 11). Den horisontalt flödande våtmarken avger mest koldioxid av de tre våtmarkstyperna. Ytvattenvåtmarken är den som avger minst växthusgaser och skulle vara den våtmark som är bäst ämnad om man enbart tittar ur ett växthusgasperspektiv. De hybrida våtmarkerna har däremot de största utsläppen eftersom de består av två eller fler kombinationer. För att ta reda på hur mycket växthusgaser som en hybrid våtmark avger får man använda sig av värdena från de olika typer som våtmarken består av och lägga ihop dem och sedan dividera summan på hur många våtmarker som använts.

Tabell 11. Växthusgas emissionerna för olika våtmarkstyperna i mg m²/dag. Referens se Tabell 2, 4, 6.

	HSSF	VSSF	FWS
CH ₄ (mg m ² /dag)	169	199	147
CO ₂ (mg m ² /dag)	1 519	8 975	1 498
N ₂ O (mg m ² /dag)	26	251	1

En ofta använd metod för att jämföra olika växthusgasers effekt på den globala uppvärmningen är 'Global Warming Potential (GWP) metoden'. Metoden består i att man multiplicerar halten av utsläpp från växthusgasen med det värde som bestämts för att få fram koldioxid ekvivalenter för gasen, sedan jämförs de olika koldioxid ekvivalenterna med varandra. Värdena som används för denna metod förändras beroende på vilken gas som undersöks och på vilken tidsperiod som undersöks (Frolking *et al.* 2006). Värdena som har använts för att ta fram denna jämförelse har tagits från IPCCb (2007) där metan (CH₄) har värdet 25, dikväveoxid (N₂O) har värdet 298 och koldioxid (CO₂) har värdet 1 för en hundra års period.

När man ser på den globala uppvärmningspotentialen (GWP₁₀₀) för en 100 års period visar resultaten från denna undersökning tydligt att den vertikaltflödande våtmarken har en mycket större påverkan sett från ett växthusgasperspektiv än vad de andra två våtmarkstyperna har (Tabell12). Den våtmarkstyp som har minst utsläpp från de undersökta växthusgaserna är den ytvattenflödande våtmarken.

Tabell 12. Växthusgas emissionerna för de olika våtmarkstyperna i koldioxid ekvivalenter, CO₂=1, CH₄=25 och N₂O=298, för en 100 års period (IPCCb 2007). Referens se Tabell 11.

	HSSF	VSSF	FSW
CH ₄ (mg m ² /dag)	4 234	4 963	3 673
CO ₂ (mg m ² /dag)	1 519	8 975	1 498
N ₂ O (mg m ² /dag)	7 841	74 935	314
totalt GWP 100	13 594	88 873	5 485

Med tanke på att dikväveoxiden har en så pass stor påverkan på den globala uppvärmningen borde man undersöka om dess utsläpp påverkas beroende på hur mycket kväve som tillförs till våtmarkerna. Det har visat sig att om man jämför utsläppet av dikväveoxid med det totala upptaget av kväve så avger den vertikala våtmarken omkring 8 % N₂O medan de två andra våtmarkerna har mycket lägre utsläpp på 1 till 2 % (tabell 13). Detta stämmer bra med en undersökning av Gui *et al.* (2007) som har visat att 95 % av den globala uppvärmningspotentialen (GWP) från den vertikalt flödande våtmarken kommer ifrån dikväveoxid (N₂O). Utsläppen av denna gas är större i denna våtmark än i de andra två varianterna (Gui *et al.* 2007).

Tabell 13. Procent dikväveoxid (N₂O) emissioner mot det totala upptaget av kväve (Søvik 2006).

N ₂ O av totala N upptaget %	
HSSF	1,38
VSSF	8,14
FSW	2,68

Vegetation i våtmarkerna

Ström *et al.* (2007) har gjort en undersökning över hur kärlväxter påverkar gasutbytet i en våtmark i södra Sverige. De växter som togs med i undersökningen var tre vanliga växter i konstruerade våtmarker *Juncus effusus*, *Thypha latifolia* och *Phragmites australis*. Man tittade på hur dessa växter påverkade växthusgasemissionerna genom att jämföra gasfluxerna hos vegetationen, med där ingen vegetation fanns. Undersökningen visade att gas emissionerna för de tre växthusgaserna CO₂, CH₄ och N₂O var större där det fanns vegetation än där ingen vegetation existerade (Tabell 14). Emissionerna av CO₂ och N₂O visade ingen signifikant skillnad mellan olika växtarter. För CH₄ fanns det dock en skillnad mellan emissionshalterna främst mellan *Juncus effusus* och *Thypha latifolia*, där *Juncus effusus* avgav nästen dubbelt så mycket metan som *Thypha latifolia* (Ström *et al.* 2007). Johansson *et al.* (2004) kom också fram till att vegetationen på våtmarken påverkar metanutsläppen mycket beroende på vilken art man tittar på. *Phalaris arundinacea L.* var den art som hade störst utsläpp, med ett medelutsläpp på 318 CH₄ mg dag⁻¹m⁻². Även fluxerna från öppet vatten undersöktes men på några av de testområden började *Lemna Minor L.* att växa och när mätningar gjordes på dessa visade det sig att de hade medelutsläpp på 673 CH₄ mg dag⁻¹m⁻², vilket är mycket högre än för de andra växterna som undersöktes. *Lemna Minor L.* är vad man i folkmun kallar Andmat, Andmat växer i dammar och diken med stillastående vatten (<http://linnaeus.nrm.se>). För att undvika att denna växt med så pass mycket högre metanutsläpp än de andra makrofyterna ska växa i våtmarkerna borde man alltså se till att vatten i ytvattenflödande våtmarker inte blir helt stillastående eftersom det gynnar denna växt. De växter som hade de lägsta utsläppen var *Thypha latifolia*, *Glyceria maxima* och *Spirogyra sp.* De hade ett medelutsläpp av metan som låg under 200 mg m²/dag.

Uppgifter om makrofyter avger mer växthusgaser än öppet vatten är inte helt enhetliga. I en undersökning av Picek *et al.* (2007) hade metan och koldioxid större utsläpp på en våtmark som inte hade någon vegetation av *Phalaris arundinacea L.* än på den del där makrofyten växte, medan Johansson *et al.* (2004) visade att makrofyten avgav mer metan än det öppna vattnet. Det beror självfallet även på vilken växt man undersöker som kan ses i tabellen nedan (Tabell 14).

Tabell 14: Metanutsläpp där olika makrofyter växer i mg m²/dag (<http://linnaeus.nrm.se>).

Vegetation	Vegetation	Johansson <i>et al</i> 2004	Ström <i>et al</i> 2007
Latin	Svenska	Nykvarn, Sverige	Magle, Sverige
		CH ₄ (mg m ² /dag)	CH ₄ (mg m ² /dag)
<i>Thypha latifolia</i>	Bredkaveldun	163	225
<i>Phalaris arundinacea L.</i>	Rörflen	318	...
<i>Spirogyra sp.</i>	Grönalger	168	...
<i>Glyceria maxima</i>	JätTEGRÖE	160	...
<i>Lemna minor L.</i>	And mat	675	...
<i>Juncus effusus</i>	Veketåg	...	489
<i>Phragmites</i>	Vass	...	333
ingen vegetation		245	-4.76

Makrofyternas existens i våtmarkerna påverkar kväveupptaget, om det inte finns någon vegetation fluktuerar kväveupptaget mellan 20 och 95 % men om det finns en vegetation i våtmarken stabiliseras upptaget på ca 70 % (Johansson *et al.* 2004). Vertikala våtmarker planterade med *Thypha latifolia* tog bort upp till 71 % av ammoniumet (NH₄) i vattnet (Yalcuk & Ugurlu 2009).

Diskussion

I Sverige har man planerat att 12 000 ha våtmarker ska ha anlagts i odlingslandskapet fram till år 2010 inom ramen för miljömålet 'myllrande våtmarker', men man tror att endast 9 500 ha ska hinna bli anlagda till dess. Kommer man att fortsätta att anlägga våtmarker tills miljömålet har blivit uppfyllt eller kommer man att upphöra att konstruera våtmarker när tiden är ute? Något annat som kan påverka hur många våtmarker som kommer att konstrueras i Sverige i framtiden är att enligt 'Baltic Sea action plan' ska Sverige minska sina utsläpp av kväve med 20 780 ton/år fram till 2021 (www.helcom.fi). Konstruktionen av våtmarker kommer att vara en del i hur man tänker minska hur mycket kväve som når Östersjön enligt Naturvårdsverkets första delrapport (Tonderski *et al* 2009).

Våtmarker anläggs och restaureras inte endast för att underlätta kväveupptaget utan även för att gynna den biologiska mångfalden vilket denna undersökning inte tagit någon hänsyn till. När man anlägger våtmarker för den biologiska mångfalden planteras inte växter utifrån hur mycket kväve de kan ta upp eller hur mycket metan de släpper ut. Mer hänsyn tas till att en varierande naturlig vegetation ska existera. Eftersom många av de våtmarker som konstrueras anläggs med den biologiska mångfalden som huvudorsak anläggs de där förutsättningarna för att det målet ska nås. Detta medför att våtmarker anläggs där de kanske inte kan påverka upptaget av näringsämnen så effektivt som möjligt. För att de ska få den största effekten för kväveupptag borde de anläggas vid vattendrag som transporterar rikligt med näringsämnen och inte alltid där våtmarker har funnits tidigare (Tonderski *et al* 2009).

Beroende på vilken form kvävet har när det anländer till våtmarken påverkas kväveupptaget på olika sätt. Om vattnet är avloppsvatten från ett bebyggt område innehåller det mycket ammonium (NH₄) och den viktigaste processen är då nitrifikation med den begränsande faktorn av kväveupptaget tillgången till syre. Om vattnet däremot kommer från åkermarker innehåller det mest nitrat (NO₃) vilket gör att denitrifikation blir den viktigaste processen för kväveupptaget, och tillgången till organiskt material för bakterierna att bryta ned blir den faktor som styr hur mycket kväve som omvandlas (Søvik *et al* 2006). Placeringen av våtmarkerna är viktigt med tanke på hur mycket kväve som kommer att tas upp. Om man till exempel anlägger våtmarker så att de renar vattnet från jordbruksmark kan 6000 ha våtmark ta upp 12000 ton kväve per år. Om man däremot anlägger 12000 ha våtmarker fördelade över alla markanvändningsområden, där mindre än 5 % är jordbruksmark, skulle 1500 ton kväve tas upp per år. Det är alltså mycket mer effektivt att anlägga våtmarker i jordbrukslandskap där det finns mycket kväveläckage. Det har visat sig att våtmarker som ligger i jordbruksområden har två till tre gånger så stor effekt på kväveupptaget jämfört med områden som innehåller mindre kvävehalter (Tonderski *et al* 2009).

Värdena som har använts i denna studie för de olika våtmarkerna har inte varit många för varje våtmark. För varje enskild våtmark har värdena av utsläpp och upptag varierat mycket, att sedan endast ta medelvärdet av dem för jämförelsen visar inte tydligt hur väldigt mycket de kan variera från våtmark till våtmark och inte bara beroende på vilken

typ av våtmark det rör sig om. För att detta skulle ge ett enhetligt och bra resultat skulle värden från många fler våtmarker ha använts.

En jämförelse av våtmarkerna gjordes för att ta reda på vilken av dem som släpper ut mest växthusgaser och därmed påverkar den globala uppvärmningspotentialen (GWP) mest. För jämförelsen användes GWP metoden. Att använda sig av GWP metoden för att lätt kunna jämföra hur mycket de olika växthusgaserna påverkar den globala uppvärmningen har både för och nackdelar. En positiv faktor är att metoden är väl känd och används ofta inom forskningsvärlden. Något som man däremot borde tänka på innan man använder sig av denna metod är att man räknar med värden som finns vid ett tillfälle, men ofta ute i naturen så som i våtmarker kommer inte alla utsläpp vid ett tillfälle utan kommer kontinuerligt eller oregelbundet över långa tidsperioder. Den aspekten av utsläppen räknas ej med i GWP metoden (Frolking *et al* 2006).

Slutsatser

Horisontella våtmarker borde få artificiellt tillsatt syre för att få förbättrat kväveupptag och samtidigt minska dess växthusgasutsläpp. En vertikal våtmark borde ha en del av bottenmaterialet gjort av zeolit eftersom det förbättrar våtmarkens kväveupptag med 4-19%.

En kombination av våtmarker har visat sig ha det bästa kväveupptaget oavsett vilka system som kombineras. Eftersom det då finns tillgångar till både anaeroba och aeroba miljöer där nitrifikation och denitrifikation kan ske.

Den typ av våtmark som har visat sig vara absolut bäst sett ur ett växthusgasperspektiv är den ytvattenflödande våtmarken varefter den horisontala kommer medan den vertikala våtmarken har betydligt mycket större utsläpp än de andra, vilket beror i stor del på att den avger stora mängder dikväveoxid vilket är en stark växthusgas.

Vegetationen i våtmarkerna har visat sig ha störst betydelse för metanutsläppen eftersom de tillför syre till rotzonen och transporterar syre direkt till atmosfären. Hur mycket metan som släpps ut beror även mycket på vilken växtart som växer i våtmarken. De växter som har de lägsta metanutsläppen är *Thypha latifolia*, *Glyceria maxima* och *Spirogyra sp.* Detta är bra eftersom *Thypha latifolia* är även en växt som har visat sig vara bra på att ta upp kväve.

Den våtmarkstyp som är bäst om man tar hänsyn till både kväveupptaget och växthusgasutsläppen borde vara den ytvattenflödande våtmarken eftersom den har mindre växthusgasutsläpp än någon av de andra typerna och eftersom i den kan både nitrifikation och denitrifikation ske så man behöver inte kombinera flera våtmarker för att få ett bra totaltkväveupptag. En annan variant av våtmark som också kan anses vara bra är en kombination av våtmarker med en ytvattenflödande våtmark följt av en horisontell våtmark detta skulle ge vattnet en bra möjlighet att bli av med stora mängder av kväve men ändå inte avge allt för mycket växthusgaser. Den typ av våtmark som man borde använda sig av så lite som möjligt är den vertikalt flödande våtmarken eftersom den är bra på att omvandla ammonium till nitrat men den blir inte av med nitraten och den avger mycket större mängder av växthusgaser än vad någon av de andra typerna, den avger till och med mer än vad en kombination av en horisontell och ytvattenflödande våtmark gör.

Källor

Litteratur

- Bernes. C. 2005. Förändringar under ytan - Sveriges havsmiljö granskad på djupet. Naturvårdsverket monitor 19, 5-192.
- Brooks A. och Agate E. 2001. Waterways and wetlands. 1-169.
- Chapin III. F.S, Matson. P.A och Mooney. H.A. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Science, 3-436.
- EPA. 2000. Wastewater Technology Fact Sheet - Free Water Surface Wetlands. 1-8
- Frolking S., Roulet N. och Fuglestedt J. 2006. How northern peatlands influence the earth's radiative budget: sustained methane emission versus sustained carbon sequestrated. *Journal of geophysical research* 111, G01008 (1-10).
- Gui P., Matsumura M., och Inamori Y. 2007. Evaluation of constructed wetlands by wastewater purification ability and greenhouse gas emissions. *Water science and technology* 56, 49-55.
- IPCCa 2007. Summary for policymakers. Climate change 2007: synthesis report. IPCC Fourth Assessment Report (AR4).
- IPCCb 2007. Working Group I Report "The Physical Science Basis". IPCC Fourth Assessment Report (AR4).
- Jansson M., Andersson R., Berggren H. och Leonardson L. 1994. Wetlands and lakes as nitrogen traps. *Ambio* 23, 320-325.
- Johansson A. E., Gustavsson A.-M., Öquist M. G. och Svensson B. H. 2004. Methane emissions from constructed wetland treating wastewater – seasonal and spatial distribution and dependence on edaphic factors. *Water research* 38, 3960-3970.
- Lee C.G., Fletcher T.D. och Sun G. 2009. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Engineering in life sciences* 9, 11-22.
- Luederitz V., Eckert E., Lange-Weber M., Lange A. och Gersberg R.M. 2001. Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetland. *Ecological engineering* 18, 157-171.
- Maltais-Landry G., Maranger R. och Brisson J. 2009. Effect of artificial and macrophyte species on nitrogen cycling and gas flux in constructed wetlands. *Ecological engineering* 39, 221-229.

Johansson A. 2009. Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂

Mander U., Löhmus K., Teiter S., Mauring T., Nurk och Augustin J. 2008. Gaseous fluxes in the nitrogen and carbon budgets of subsurface flow constructed wetlands. *Science of the total environment* 404, 343-353.

Picek T., Cízková H. och Dusek J. 2007. Greenhouse gas emissions from constructed wetland – Plants as important sources of carbon. *Ecological engineering* 31, 98-106.

Stadmark J. och Leonardson L. 2005. Emissions of greenhouse gases from ponds constructed for nitrogen removal. *Ecological engineering* 25, 542-551.

Stadmark J. 2008. Greenhouse gas production in nitrogen removal wetlands. Akademisk avhandling för doktorsexamen, 1-110.

Ström L., Lamppa A. och Christensen T. R. 2007. Greenhouse gas emissions from a constructed wetland in southern Sweden. *Wetland ecology management* 15, 43-50.

Søvik A.K., Augustin J., Heikkinen K., Huttunen J.T., Necki J.M., Karjalainen S.M., Kløve B., Liikanen A., Mander Ü., Puustinen M., Teiter S. och Wachniew P. 2006. Emission of the greenhouse gases nitrous oxide and methane from constructed wetlands in Europe. *Journal of environmental quality* 35, 2360-2373.

Søvik A.K. och Kløve B. 2007. Emission of N₂O and CH₄ from constructed wetland in southeastern Norway. *Science of the total environment* 380, 28-37.

Tanner C.C. 1996. Plants for constructed wetland treatment systems - A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological engineering* 7, 59-83.

Teiter S. och Mander Ü. 2005. Emission of N₂O, N₂, CH₄ and CO₂ from constructed wetlands for wastewater treatment and from riparian buffer zones. *Ecological engineering* 25, 528-541.

Tonderski K., Pers C. och Thorén A-K. 2009. Kväveavskiljning i jordbruksvåtmarker – Beräkning av effektivitet hos våtmarker anlagda som åtgärd mot kvävebelastning på havet. *Naturvårdsverket*. 1-11.

Vymazal J. 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological engineering* 25, 478-490.

Vymazal J. 2007. Removal of nutrients in various types of wetlands. *Science of the total environment* 380, 48-65.

Weisner S.E.B., Eriksson P.G., Granéli W. och Leonardson L. 1994. Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands. *Ambio* 23, 363-366.

Johansson A. 2009. Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂

Yalcuk A. och Ugurlu A. 2009. Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresource technology* 100, 2521-2526.

Yang L., Chang H-T. Och Huang M-N.L. 2001. Nutrient removal in gravel- and soil-based wetland microcosms with and without vegetation. *Ecological engineering* 18, 91-105.

Internet

Naturvårdsverket

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Tillstandet-i-miljon/Overgodning/Hav-sjoar-och-grundvatten/> (2009-04-06)

Miljömål

<http://www.miljomal.nu/11-Myllrande-vatmarker/Delmal/Vatmarker-i-odlingslandskapet-2010/> (2009-04-06)

'Baltic sea action plan', hellcom.

http://www.helcom.fi/BSAP/ActionPlan/en_GB/ActionPlan/ (2009-04-16)

Den virtuella floran

<http://linnaeus.nrm.se/flora/welcome.html> (2009-04-20)

www.biology-online.org (2009-04-20)

Personlig kontakt

SMHI

Ann-Karin Thorén. *Verksamhetsområden: Uppföljning av våtmarkers effekt på N och P transport i vattendrag.*

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Uppsatserna är även tillgängliga på <http://www.geobib.lu.se/>

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.
Report series started 1985. Also available at <http://www.geobib.lu.se/>

111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tollebäck, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogsområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer i sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tåguller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.

- 128 Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen
Gudruns skogsskador och dess orsaker.
- 129 Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle
during the last 6000 years.
- 130 Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i
stormfällan efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
- 131 Eckeskog, M., (2006): Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio
Sucio drainage basin, Nicaragua.
- 132 Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global
carbon cycle and greenhouse gas forcing.
- 133 Persson, P., (2007): Investigating the Impact of Ground Reflectance on
Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
- 134 Valoczi, P. (2007): Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av
barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
- 135 Johansson, H. (2007): Dalby Söderskog - en studie av trädarternas
sammansättning 1921 jämfört med 2005
- 137 Kalén, V. (2007): Analysing temporal and spatial variations in DOC
concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
- 138 Maichel, V. (2007): Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda
våtmarker i Skåne
- 139 Agardh, M. (2007): Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och
åtgärdsförslag
- 140 Peterz, S. (2007): Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
- 141 Hendrikson, K. (2007): Småvatten och groddjur i Täby kommun
- 142 Carlsson, A. (2008): Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans
aktivitet NDVI uppmätt med satellit.
- 143 Paulsson, R. (2008): Analysing climate effect of agriculture and forestry in
southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate
- 144 Ahlstrom, A. (2008): Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota
District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based
accessibility model.
- 145 Svensson T. (2008): Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic
Sweden 1956-2006
- 146 af Wåhlberg, O. (2008): Tillämpning av GIS inom planering och naturvård -
En metodstudie i Malmö kommun.
- 147 Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008): Metod för vindkraftslokalisering med
hjälp av GIS och oskarp logik.
- 148 Thorstensson, Helen (2008): Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos
växter och djur i Europa sedan 1950.
- 149 Raguz, Veronika (2008): Karst and Waters in it – A Literature Study on Karst
in General and on Problems and Possibilities of Water Management in Karst in
Particular.
- 150 Karlsson, Peggy (2008): Klimatförändringarnas inverkan på de svenska
vägarna.
- 151 Lyschede, Bjarne Munk (2008): Rapeseed Biodiesel and Climate Change
Mitigation in the EU.

- 152 Sandell, Johan (2008): Detecting land cover change in Hambantota district, Sri Lanka, using remote sensing & GIS.
- 153 Elgh Dalgren, Sanna (2008): vattennivåförändringar i Vänern och dess inverkan på samhällsbyggnaden i utsatta städer
- 154 Karlgård, Julia (2008): Degrading peat mires in northern Europe: changing vegetation in an altering climate and its potential impact on greenhouse gas fluxes.
- 155 Dubber, Wilhelm and Hedbom, Mari (2008) Soil erosion in northern Loa PDR – An evaluation of the RUSLE erosion model
- 156 Cederlund, Emma (2009): Metodgranskning av Klimatkommunernas lathund för inventering av växthusgasutsläpp från en kommun
- 157 Öberg, Hanna (2009): GIS-användning i katastrofdrabbade utvecklingsländer
- 158 Marion Früchtl & Miriam Hürkuck (2009): Reproduction of methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions
- 159 Florian Sallaba (2009): Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece
- 160 Sara Odelius (2009): Analys av stadsluftens kvalitet med hjälp av geografiska informationssystem.
- 161 Carl Bergman (2009): En undersökning av samband mellan förändringar i fenologi och temperatur 1982-2005 med hjälp av GIMMS datasetet och klimatdata från SMHI.
- 162 Per Ola Olsson (2009): Digitala höjdmodeller och höjdsystem. Insamling av höjddata med fokus på flygburen laserskanning.
- 163 Johanna Engström (2009): Landskapets påverkan på vinden -sett ur ett vindkraftperspektiv.
- 164 Andrea Johansson (2009): Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂.