



Sveriges
lantbruksuniversitet

Slam – en outnyttjad resurs i skogsbruket

Mikael Sörhult & Olof Högqvist



Källa: Kenneth Sahlén, SLU, Inst f skogens ekologi och skötsel

Självständigt arbete 15 högskolepoäng

2010

Fakulteten för Skogsvetenskap

Umeå

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet	Fakulteten för skogsvetenskap
Författare	Mikael Sörhult & Olof Höggvist
Titel	Slam – en outnyttjad resurs i skogsbruket
Nyckelord	Avloppsslam; Gödsling; Kväve; Slampellets; Miljö
Handledare	Tord Magnusson, institutionen för skogens ekologi och skötsel
Examinator	Anders Alanärrä, fakulteten för skogsvetenskap
Kurstitel	Kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2010

Sammanfattning

Varje år produceras cirka 210 000 ton torrsvikt avloppsslam i Sverige. Det mesta av slammet används till jordbruksmark, anläggningsjord och deponitäckning. Avloppsslam innehåller viktiga näringsämnen som kväve och fosfor. Kväve är tillväxtbegränsande på fastmarker i Sverige och kan därför användas som gödslingsmedel för att öka produktiviteten. För att slammet skall kunna spridas till skogsmark krävs en omvandling av slammet till pelletter, vilket hygieniserar slammet och gör det mer lätthanterligt.

Slammet innehåller i genomsnitt fyra procent kväve. För att få samma appliceringsmängd kväve som för mineralgödsel måste cirka sju gånger mer avloppsslam tillföras till marken. Problemet med slammet är att det innehåller organiska miljögifter och tungmetaller. Avloppsslam innehåller också smittämnen, men dessa avdödas effektivt när slammet pelleteras.

Det är fullt möjligt att använda slampellets som ett alternativ till mineralgödsling. Av totalt 6780 hektar i Krycklan är 1748 möjligt att gödsla utifrån Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling och sju baskrav.

Nyckelord: Avloppsslam; Gödsling; Kväve; Slampellets; Miljö

Abstract

Every year about 210 000 tones dry weight of sewage sludge is produced in Sweden. Most of the sludge is applied to agricultural land, plantsoil and landfill cover. Sewage sludge contains essential nutrients such as nitrogen and phosphorus. Nitrogen is limiting growth on solid ground in Sweden and can therefore be used as fertilizer to increase productivity. In order that the sludge can be spread to forest land it requires first a conversion of sludge to pellets, to make it more manageable.

Sludge contains in average of four percent nitrogen. In order to get the same application amount of nitrogen as for mineral fertilizers about seven times more sewage sludge has to be applied to the land. The problem is that the sludge contains organic pollutants and heavy metals. Sewage sludge also contains pathogens, but they are killed efficiently when the sludge is converting to pellets.

It is possible to use sludge pellets as an alternative to mineral fertilization. Of a total of 6780 hectares in Krycklan is possible to fertilize 1748 according the Forest Agency guidelines for nitrogen fertilization and seven demands.

Keywords: Sewage sludge; Fertilization; Nitrogen; Sludge Pellets; Environment

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Abstract	3
1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Varför gödsla?.....	7
1.3 Vad är avloppsslam?.....	8
1.4 Slam till pelletsform.....	9
1.5 Spridning av slam	9
1.6 Slamgödselgiva?	9
1.7 Lagar och rekommendationer	10
1.8 Internationell översikt	12
1.9 Tillväxteffekter vid slamgödsling.....	12
1.10 Miljöeffekter av slammet	14
1.11 Syfte	17
2. Material och metoder	18
2.1 Områdesbeskrivning	18
2.2 Material	19
2.3 Metod	19
2.4 Kriterier och kantzoner	20
3. Resultat.....	22
4. Diskussion	23
4.1 Är skogen redo att gödslas?	23
4.2 Metod	23
4.3 Osäkerheter	24

4.4	Miljöeffekter och risker	25
4.5	Framtiden	26
4.6	Slutsats	26
5.	Tillkännagivanden	27
6.	Referenser.....	28

1. Inledning

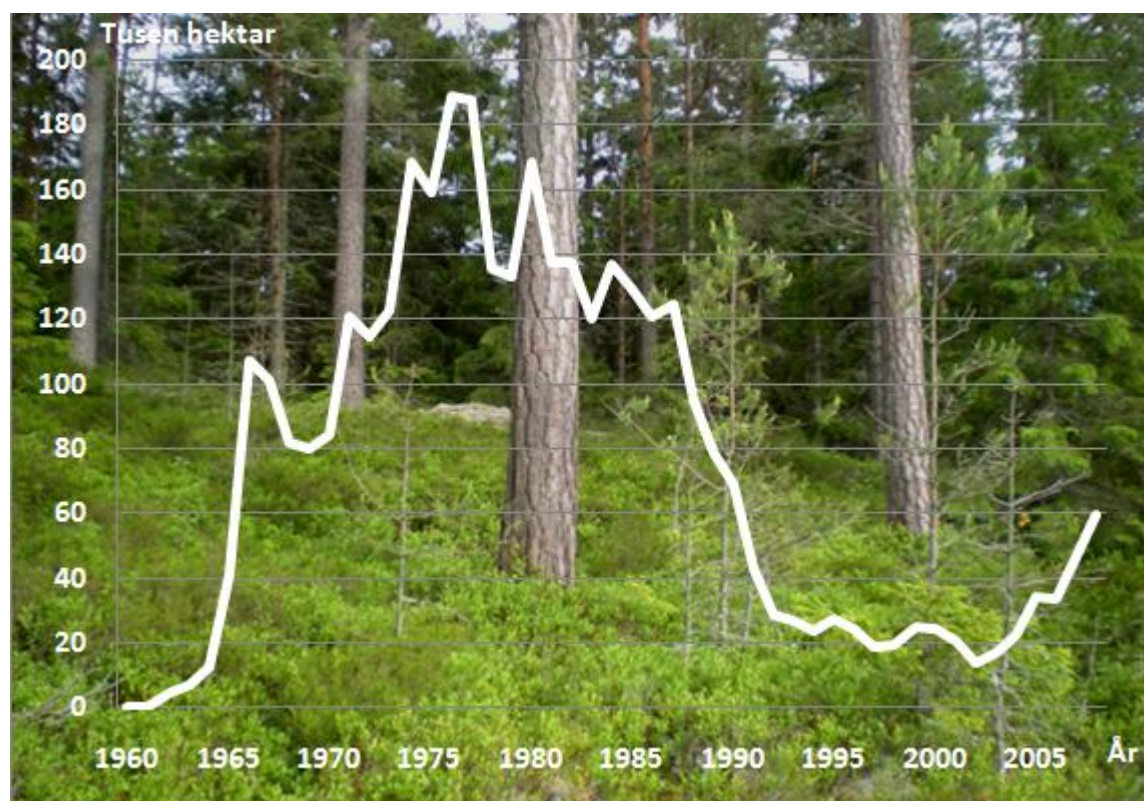
1.1 Bakgrund

Varje år produceras en stor mängd avloppsslam i Sverige. År 2008 uppgick mängden till 213 790 ton torrsvikt varav den största delen går till anläggning av grönytor, jordbruksmark och deponitäckning (SCB, 2010). Slammet innehåller viktiga näringsämnen såsom kväve och fosfor vilket således fungerar som gödslingsmedel på produktiv skogsmark. Om slammet skulle användas i skogsbruket skulle det kunna öka tillväxten i våra skogar och samtidigt ta tillvara på en resurs som redan finns. Problemet med slammet är att den ofta innehåller låga halter av oönskade ämnen såsom tungmetaller, organiska föreningar och smittämnen med dess eventuella negativa följder.

I miljöbalkens portalparagraf nämns att ”återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås” (SFS 1998:808, § 1:5). I ett fungerande kretsloppssamhälle är avloppsslam en resurs som bör tillvaratas. Idag går stora mängder slam till deponi varav det tillväxtbefrämjande näringsämnen går förlorade.

1.2 Varför gödsla?

Att kvävegödsla skog är en produktionshöjande åtgärd och en bra investering som ger högre tillväxt och möjliggör därmed ett ökat virkesuttag. På fastmarker i Sverige är det normalt tillgången på kvävet som begränsar tillväxten (Skogforsk, 2005). Träden reagerar starkt positivt till gödsling genom en förbättrad näringstillgång. Vid tillförsel av kväve bygger träden upp barmassan och därmed en ökad fotosyntesapparat som kan utnyttja solljuset bättre (SLU, 2004). En ökad barmassa ger alltså en ökad stamtillväxt på grund utav att näringstillgången i marken förbättras. Som mest gödslades det i Sverige under den senare delen av 1970-talet. Då kvävegödslades nära 200 000 hektar per år till helt övervägande del på fastmarker. Senare har gödslingen minskat under en längre tid. Inte förrän år 2003 vände trenden uppåt igen. År 2008 var 59 600 hektar skogsmark i landet föremål för mineralgödsling med kväve, se *figur 1* (Skogsstyrelsen, 1965-2009).



Figur 1. Antal 1000 hektar kvävegödsling i Sverige från år 1960-2008 (Skogsstyrelsen, 1965-2009).

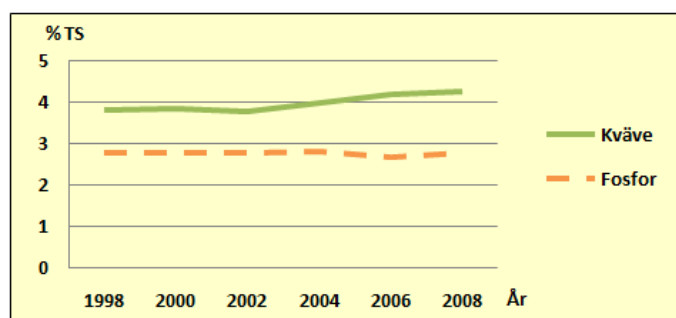
1.3 Vad är avloppsslam?

Avloppsslam kan definieras som ”Slam från avloppsreningsverk, flerkammarbrunnar eller liknande anordningar som behandlar avloppsvatten från hushåll eller tätorter, eller från andra reningsverk som behandlar avloppsvatten med liknande sammansättning” (SNFS 1994:2, § 4).

Slammets kemiska, biologiska och fysikaliska egenskaper kan variera mycket. Faktorer som avgör dess egenskaper är bland annat materialets ursprung och hur det sedan upparbetas. På grund av slammets olika egenskaper har det varit svårt att prediktera dess effekter. I mineralgödsel är näringsämnen väl sammansatta för skogsproduktion vilket är svårt att åstadkomma med avloppsslam. Likväl är avloppsslam en näringskälla som kan utnyttjas (Oberle, 1994).

Slammet innehåller omkring hälften organiskt material (Hånell et al., 1996). Det organiska materialet bidrar till att förbättra jordens vattnehållande kapacitet, jordstrukturen genom att partiklar lättare aggregerar med varandra och förbättrar vatteninfiltrationen i finkorniga och täta mineraljordar (Oberle, 1994). Det mesta av kvävet i avloppsslam är organiskt bundet (75-90 %) vilket innebär att kväve frigörs först när det sker mikrobiell nedbrytning av det organiska materialet. Resterande kväve finns som ammonium (NH_4^+) och är lättillgängligt för träden (Magnusson, 2006b).

Avloppsslammet från svenska reningsverk innehåller i genomsnitt mellan 3,7-4,3 % kväve (SCB, 2010) av torrvikten vilket kan jämföras med 27 % i mineralgödsling (Yara, 2010). Fosforhalten ligger nära 3 %, magnesiumhalten under 0,5 % och kalkhalten är ofta mellan 10-15 % beroende på om, och hur mycket kalk som tillsätts vid reningsverken (Magnusson, 2006b). I *figur 2* visas medelvärdena variation på kväve och fosfor från avloppsslam i Sverige. Det kan tilläggas att fosfor och kväve halterna kan variera kraftigt mellan enskilda reningsverk beroende på reningsverkets storlek (SCB, 2010).



Figur 2. Medelvärdena av näringsämnena kväve och fosfor (procent/torrsubstans) i slam från svenska kommunala reningsverk år 1998-2008 (SCB, 2010).

1.4 Slam till pelletsform

För att avloppsslam skall kunna bli ekonomiskt fördelaktigt, fritt från smittämnen och lätthanterligt för spridning i skogen måste slammet först avvattnas och sedan omvandlas till slampellets. Pelletering innebär att det råa slammet upphettas (varvid smittämnen som finns effektivt avdödas), torkas och skärs i små bitar. Att sprida ut vått slam har visat sig vara komplicerat och dyrt och speciellt har det varit problem med att få en jämn spridning (Larsson, 2000). Den finns i huvudsak två olika tekniker för tillverkning av slampellets, granulerade pellets eller ”vanliga” pellets. Tillverkning av granulerade pellets går ut på att slammet cirkulerar i en trumma där slammet klibbar ihop och till slut bildar små kulor (Wattiez, 2000). Vid tillverkning av ”vanliga” pellets tillsätts först olika stabiliseringsmedel (polymerer) för att stabilisera slammet. Sedan pressas slammet genom en hålskiva och formas till små avlånga ”pelletter”. Som sista steg i produktionskedjan torkas pelleterna i en tork.¹

1.5 Spridning av slam

Slampellets kan spridas med konventionell traktor eller modifierad skotare. När det gäller vanlig mineralgödsling finns det två spridningsmetoder, traktor och helikopter. Helikopter är mest lämpligt i bestånd som är på större gödslingsareal som dessutom är någorlunda enhetliga (Skogforsk, 2005). Helikopterspridning med slampellets har inte gjorts i Sverige utan all spridning av slampellets har gjorts med traktor eller skotare. Spridning av slampellets har bara gjorts på försöksskala och kontrollen blir högre om det sprids med traktor eller skotare, dessutom måste det spridas större mängd slam jämfört med mineralgödsel. Vilket innebär att spridning med helikopter blir ekonomiskt ohållbart.

1.6 Slamgödselgiva?

Eftersom avloppsslam innehåller 3,7-4,3 % kväve (SCB, 2010), måste betydligt mer slam spridas ut i skogen i jämförelse med mineralgödsel som innehåller 27 % kväve (Yara, 2010). För att få samma mängd kväve som för mineralgödsel måste cirka sju gånger mer avloppsslam tillföras till marken. Avloppsslammets egenskaper är också annorlunda vilket medför att kvävet inte tas upp lika fort som från mineralgödsel. Slammets annorlunda egenskaper och faktumet att det innehåller mindre kväve bidrar till att tillväxteffekten för slam inte direkt kan jämföras med samma mängd kväve som för mineralgödsel. Vart kvävet i slam tar vägen har inte riktigt klarlagts. Forskare i Nordamerika anser att förluster kan ske genom att jorden fastlägger kväve, avdunstning sker av ammonium (NH_4^+) och denitrifikation (Henry, 1998). Dessa faktorer påverkar den slutgiltiga mängden kväve träden får tillgängligt för ökad biomassaproduktion.

Att avgöra vilken appliceringsmängd som skall spridas i skog blir svårt prediktera på grund ovanstående problem. I en rapport som bygger på litteraturstudier anses tillväxteffekten av kvävet i slam vara ungefär hälften av lika stor mängd kväve i form av mineralgödsel (Magnusson, 2006b). Alltså måste det tillföras dubbla mängd kväve i jämförelse med mineralgödsel.

¹ Studiebesök på Skellefteå biogasanläggning Tuvan, 15 mars 2010.

Vid en litteraturgenomgång av 59 artiklar i samband med fiberskogsprogrammet ger 8 artiklar rekommenderade doser ur produktionssynpunkt. Vid engångsgivor varierar doserna mellan 10 och 60 ton TS/ha (torrsubstans per hektar), motsvarande 300-2500 kg kväve. Vid en årlig giva rekommenderas 1,5-3,5 ton TS/ha motsvarande 60-140 kg kväve (Magnusson, 2006b).

Från miljösynpunkt har 51 artiklar genomgåts där 12 ger rekommendationer angående appliceringsmängder. Sex artiklar ger rekommendationer mellan 10-45 ton TS/ha vid engångsgivor (400-1300 kg N/ha). Resterande sex ger årliga rekommendationer på 0,5-5 ton TS/ha motsvarande 20-200 kg kväve (Magnusson, 2006b).

1.7 Lagar och rekommendationer

Enligt miljöbalken nämns att ”återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås” (SFS 1998:808, § 1:5). Detta har lett till att regeringen har satt upp ett flertal miljö kvalitetsmål. År 2001 fick Naturvårdsverket i uppdrag av regeringen att utreda om ”miljö- och hälsoskydds krav för avloppsslam och dess användning samt om återföring av fosfor” (Naturvårdsverket, 2002, s.7). Som delmål nämns att 60 % av all fosfor skall återföras till produktiv mark senast år 2015. Eftersom fosfor orsakar miljöproblem i form av övergödning samt miljö- och resursproblem i samband med gruvbrytning och gödseltillverkning, efterstävas det på lång sikt att kunna ta tillvara på fosfor som återfinns i avloppsslam. Under arbetets gång föreslår även Naturvårdsverket att det finns starka skäl att även återföra andra näringsämnen som svavel, kväve och kalium. Arbetet resulterade som långsiktigt mål att näring skall återföras till mark där näring behövs utan risk för hälsa och miljö (Naturvårdsverket, 2002).

Det finns ingen direkt lagstiftning som reglerar användning av avloppsslam på annan mark än åkermark, alltså inget som reglerar spridning av slam i skogen. Naturvårdsverket har satt upp gränsvärden om hur mycket tungmetaller avloppsslammet får innehålla för att kunna spridas på åkermark (*tabell 1*).

Tabell 1. Naturvårdsverkets gränsvärden för halter av metaller (mg/kg TS) i slam för spridning på åkermark (SCB, 2010).

Ämne	Gränsvärden
Bly (Pb)	100
Kadmium (Cd)	2
Koppar (Cu)	600
Krom (Cr)	100
Kvicksilver (Hg)	2,5
Nickel (Ni)	50
Zink (Zn)	800

När det gäller spridning av slam till skogsmark kan en jämförelse göras med gränsvärden för tungmetaller vid asktillförsel. Dessa gränsvärden av metaller borde i någon mån spegla skogsekosystemets känslighet (Magnusson, 2006b). Vid askåterföring är huvudsyftet att motverka uttaget av biomassans försurande effekter, där askan främst kommer ifrån biobränslen (Skogsstyrelsen, 2008). Vid jämförelse av *tabell 1* och *tabell 2* är nästan alla gränsvärdena högre för skogsmark än jordbruksmark förutom koppar. Av metallerna är det kadmium som ofta blir begränsande vid maximal appliceringsdos vid slamgödsling i jordbruket och asktillförsel i skogsbruket (Magnusson, 2006b). Gränsvärdet för kadmium är 15 gånger högre för skogsmark än vad som får spridas på åkermark.

Tabell 2. Skogsstyrelsens rekommenderade gränsvärden av tungmetaller (mg/kg TS) i askprodukter som är avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen, 2008).

Ämne	Gränsvärden
Bly (Pb)	300
Kadmium (Cd)	30
Koppar (Cu)	400
Krom (Cr)	100
Kvicksilver (Hg)	3
Nickel (Ni)	70
Zink (Zn)	7000
Bor (B)	800
Arsenik (As)	30
Vanadin (V)	70

1.8 Internationell översikt

Avloppsslammets effekter har undersökts i Europa, Nordamerika, Japan och Nya Zeeland. I Nordamerika pågår en storskalig användning av rötat avloppsslam som gödslingsmedel på jord och skogsmark. Sedan 1973 har ett flertal forskningsprojekt fortgått och resulterat i att år 1995 startades ett storskaligt projekt där 6500 ton rötat avloppsslam används årligen som gödslingsmedel i skogsmark. I Europa pågår ingen storskalig verksamhet, det är till och med förbjudet i Tyskland, Österrike och Schweiz. I Sverige har ett fåtal försök anlagts på 1970-talet och framåt (Sahlén, 2006).

1.9 Tillväxteffekter vid slamgödsling

Ett flertal studier har påvisat positiva tillväxteffekter efter gödsling med avloppsslam (Bramryd, 1994; Olesen et al., 1979; Cole et al., 1984; Henry et al., 1993; Brockway, 1983). I ett försök har det inte påvisats några tillväxteffekter alls (Zabowski & Henry 1994), (tabell 3). I andra försök har effekten blivit högre i jämförelse med mineralgödsling (Bastian, 1986). Variationen på tillväxten har varit olika beroende på förutsättningar som olika givor, klimat, trädslag och bonitet. Vid en litteraturgenomgång av 46 relevanta studier i samband med fiberskogsprogrammet gjordes en mycket grov uppskattning att den genomsnittliga volymtillväxten ökade med 30 % (Magnusson, 2006b).

Kovanen studerade tillväxteffekter i tall- och granbestånd som gödslades med slampellets. Givor upp till 400 kg kväve per hektar som slampellets och 200 kg kväve per hektar som ammoniumnitrat. Detta gjordes för att kunna jämföra effekten mellan slampellets och mineralgödsel. Studien visade att tillförsel av slampellets ökar skogens tillväxt efter fem år. Grundytetillväxten under femårsperioden var 25, 29 och 42 % med givor på respektive 100, 200 och 400 kg kväve slampellets. Den högsta dosen slampellets gav nästan lika hög tillväxt som mineralgödsel (Kovanen, 2007).

Tabell 3. Slamgödslingar utförda i Sverige och Washington. ae = arobt rötat material, syre tillsatt. an = anaerozt rötat material, syrefria förhållanden. dw = % avvattnad. Totalt antal kg kväve anges under tidsperioden. Volymtillväxten under tidsperioden jämfört med kontroll.

Land, Stat	Trädslag	Ålder	Slam - typ	Kväve (kg)	Tidsperiod (år)	Tillväxt (%)	Referens
Sverige	P. sylvestris	63	Slampelletts	100-400	5	25-42 Grundytetillväxt (m ² /ha)	Kovanen, 2007
Sverige	P. sylvestris	50-60	ae	800	5	50 Grundytetillväxt	Bramryd, 1994
Washington	P. ponderosa	70	Slam	740	5	0 Grundytetillväxt	Zabowski & Henry, 1994
Washington	P. menzii	55	an 18 % dw	6000	12	45 Volymtillväxt(m ³ /ha)	Henry et al., 1993
Washington	P. menzii	60	an 18 % dw	6000	6	53 Volymtillväxt	Cole et al., 1984

Viktigt att påpeka är att förhållandena i Nordamerika inte är direkt jämförbara med svenska förhållanden. Försöken skiljer sig i klimat och skogsekosystem, där de flesta studierna berör flytande slam och appliceringsmängden ofta är mycket högre än i Sverige.

1.10 Miljöeffekter av slammet

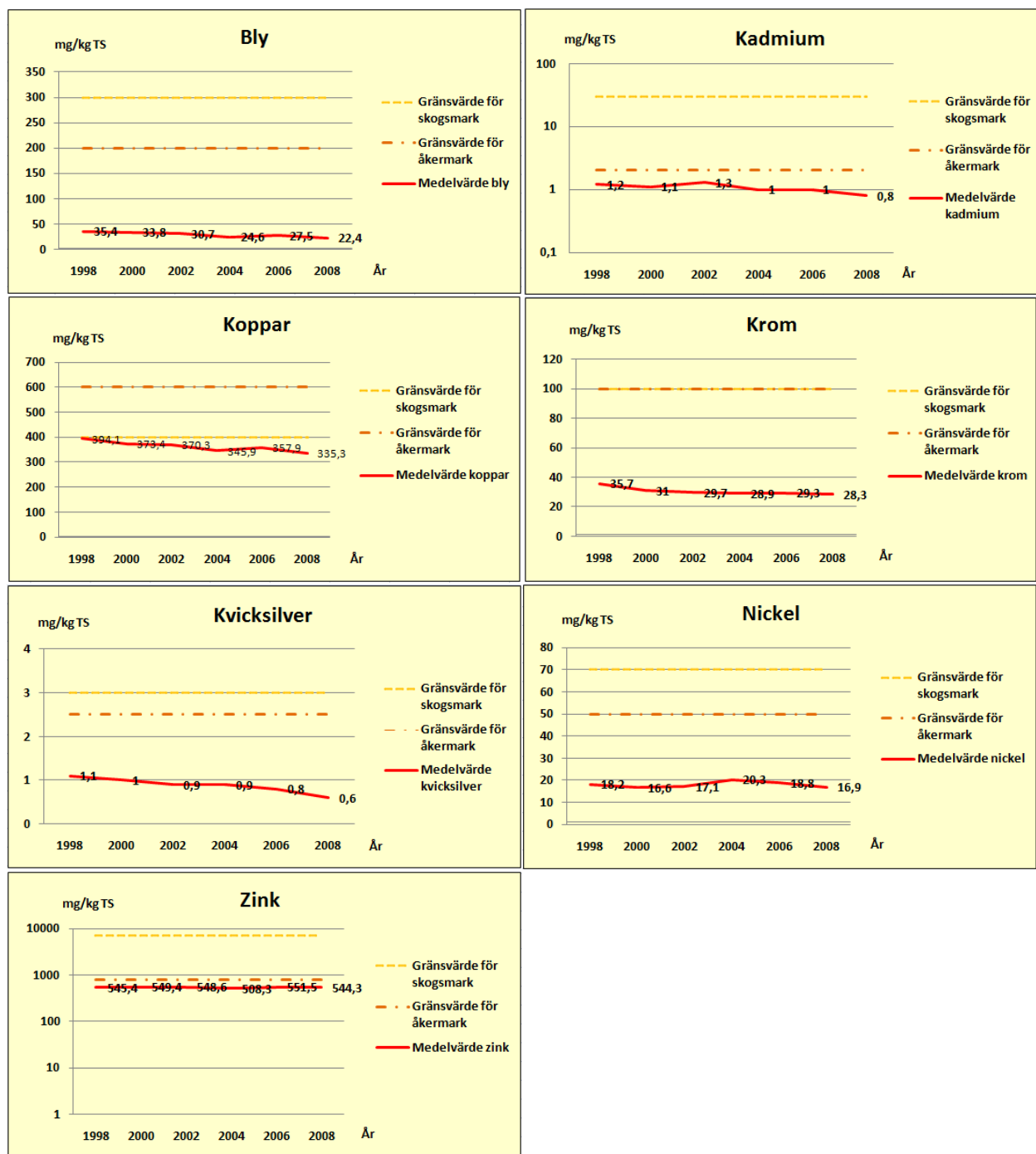
Som det nämns i tidigare kapitel 1.3, så innehåller slammet viktiga näringsämnen. Med slammet följer det också oönskade ämnen som tungmetaller och organiska föreningar. Tungmetallhalterna har avskräckt en större och mer storskalig användning av avloppsslammet i odlingssammanhang (Hånell et al., 1996). LRF har vid två tillfällen, 1988 och 1999 gett råd till sina medlemmar att inte sprida avloppsslam på jordbruksmark som växtnäring på grund utav för höga halter tungmetaller respektive bromerade flamskyddsmedel (Agustinsson, 2003).

Tungmetaller brukar i dagligt tal anses som miljöfarliga vilket är delvis sant. Många tungmetaller är farliga men än del är rent livsnödvändiga för liv. Människan behöver små mängder av koppar, krom, mangan, molybden, selen och zink (Nationalencyklopedin, 2010). Zink och koppar är inte farliga i låga halter men blir toxiska om halterna blir för höga (Naturvårdsverket, 2002).

Tungmetallernas rörlighet påverkas utav pH-värdet som råder i marken, vid högt eller lågt pH-värde ökar metallernas rörlighet. Den höga andelen av organisk material komplexbinder däremot många tungmetaller vilket bidrar till att metallernas rörlighet minskar. Sveriges skogsmark har en naturligt hög halt av organiskt material (Magnusson, 2006b).

Kadmium är ett undantag när det gäller tungmetallernas rörlighet. Tvärtemot andra tungmetaller tas kadmium lätt upp av växter. Växter tål dessutom högre halter kadmium än vad människan gör. Den största andelen av vårt kadmiumintag sker därför ifrån växtriket (Pettersson, 1992). Tungmetallkoncentrationerna inklusive halten av kadmium har successivt minskat i kommunalt avloppsslam de senaste decennierna samtidigt som kvalitetskraven på slammet förstärkts (Magnusson, 2006b).

Medelvärden på tungmetaller i svenska reningsverk (bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink) har minskat sedan 1998. Det ska tilläggas att halterna kraftigt varierar mellan reningsverken (SCB, 2010). I *figur 3* visas samtliga medelvärden av tungmetaller, Naturvårdsverkets gränsvärden (*tabell 1*) för åkermark och Skogsstyrelsens rekommenderande gränsvärden (*tabell 2*) för asktillförsel till skogsmark. Det går tydligt att avläsa att medelvärdet av slammet från kommunala reningsverk ligger under Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen gränsvärden.



Figur 3. Medelvärden av tungmetaller (bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink) i slam från svenska kommunala reningsverk 1998-2008, observera att kadmium och zink har logaritmisk skala (SCB, 2010). Gränsvärden för metallhalter att kunna spridas på åkermark (mg/kg TS). (SCB, 2010). Och rekommenderade gränsvärden för tungmetaller (mg/kg TS) i askprodukter som är avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen, 2008).

Rädsla för att tungmetaller skulle kunna ackumuleras vidare till djur efter slamgödning har varit stor. Därför har studier gjorts om ackumulering av tungmetaller i gnagare efter gödning från olika behandlingar av avloppsslam. Försöken har gjorts i norra Sverige (Vindeln, Lycksele och Umeå), och ett i södra Sverige (Hjuleberg). Njure och lever analyserades där slutsatsen visade för samtliga att ackumulering av tungmetaller i gnagare, inte kunnat påvisas efter givor av slampellets på upp mot 15 ton/ha (Magnusson, 2006b). En annan studie på skogssnigel, skogssork och vanlig näbbmus med slam visade resultaten få signifikanta skillnader mellan behandlingar och kontroll för skogssork och vanlig näbbmus. För brun skogssnigel visar resultaten på förhöjda halter av flertal ämnen (Enström, 2008).

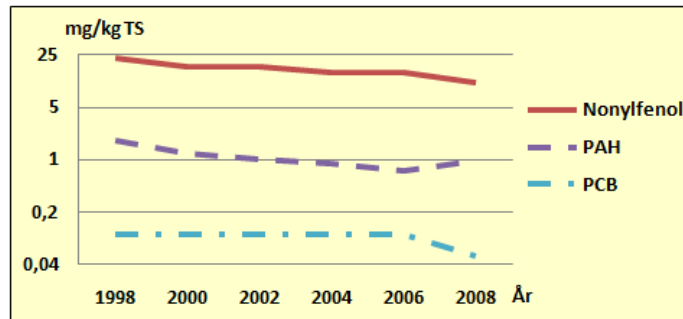
I försök som gjorts i Nordamerika visar att tungmetaller stannar i övre lagren av jordhorisonten och inte sjunker ner till det underliggande lagret. Förhöjda halter av kadmium har kunnat påvisas i njure och lever på hovdjur och hackspettar, men är under gränsvärden som är uppsatta. Inga toxiska halter av tungmetaller har kunnat påvisas efter gödning med avloppsslam i vare sig djur eller växtriket (Sahlén, 2006).

Kvävegödning kan påverka utlakning av kväve till grundvatten, sjöar och vattendrag som bidrar till övergödning av haven. Utlakat kväve kan ge ohälsosamt dricksvatten vid för höga halterna av nitrat NO_3^- och nitrit NO_2^- (Skogsstyrelsen, 2007). I södra Sverige studerades utlakningseffekten med slampellets på en grovkornig och vattengenomsläpplig jordart. Grundvattnets kvalitet kontrollerades under tre år och resultaten visade att en engångsgiva om 11 ton (490 Kg kväve) slampellets kunde tillföras utan att utlakningsförluster kunde påvisas. Eftersom det var en särskilt utlakningsbenägen jord blev slutsatsen att risken för utlakning tycks vara liten efter 11 ton slampellets per hektar (Magnusson, 2006a).

Med slammet följer det med organiska föreningar som återfinns i vardagliga produkter såsom tvätt- och rengöringsmedel, färg, plast och kosmetiska produkter och det kan finnas höga koncentrationer i avloppsslam (Amundsen, 2008). En ny studie ifrån Sverige har undersökt halter av organiska ämnen i skogsmark. I studien gödslades det med 7, 14,3 och 15 ton slampellets. Resultaten visade förhöjda halter av främst, triclosan (TCS), PBDE:er och PCB:er, i humuslagret. Inga signifikanta förhöjda halter kunde påvisas för etinylöstradiol, norfloxacin, ciprofloxacin, ofloxacin och PAH:er i humuslagret. Inga förhöjda halter i underliggande mineraljord, markvatten och barr kunde påvisas av samtliga substanser (Lindberg et al., 2010).

Det har generellt inte kunnat påvisas att organiska föreningar som PCB:er, PCDD/F:er och PAH:er skulle kunna transporteras från marken till växter och vidare till djur (European Commission, 2001). Det verkar kunna brytas ner av mikroorganismer i jordlagret. Organiska föreningar återfinns i avloppsslammet för att det är immobila och är bundna till det organiska slammet. Organiska föreningar har även låg vattenlöslighet (Sahlén, 2006).

Naturvårdsverket har riktlinjer för spridning av organiska miljögifter på åkermark. För nonylfenol är värdet 50 mg/kg TS, PAH 3 mg/kg TS, och 0,4 mg/kg TS för PCB (SCB, 2010). Slammets genomsnittliga halter (Nonylfenol, PAH och PCB) visas i *figur 4* och underskreds klart av Naturvårdsverkets uppsatta riktvärden. Halterna varierar dock kraftigt mellan olika reningsverk och minst ett ämne bland tungmetaller och organiska miljögifter överskrivs vid 6 % av fallen (SCB, 2010).



Figur 4. Medelvärden av organiska miljögifter (Nonylfenol, PAH och PCB) i logaritmisk skala (mg/kg TS) i slam från svenska kommunala reningsverk 1998-2008 (SCB, 2010).

Vid tillförsel av avloppsslam till skogsmark kan det ske en produktionsökning av växtligheten med hänsyn till både antal individer och näringsinnehåll (Campa et al., 1986; Haufler & West, 1986). I södra Sverige har kvävegynnade arter blivit vanligare på tidigare kvävefattiga områden. Detta anses bero på det årliga kvävedofallet som sker ifrån atmosfären, ca 14 kg kväve per hektar i södra Sverige och 4 kg i norra Sverige (Zetterberg et al., 2006).

Forskning har inte bedrivits i samma omfattande skala på gödsling med slam som med vanlig mineralgödsling. Likväl, resultaten från vanlig kvävegödsling antyder att markfaunan (Pleijel et al., 2001) och växtligheten (Zetterberg et al., 2006) påverkas på ett likvärdigt sätt, det vill säga kvävegynnade arter gynnas vid tillförsel av kväve på skogsmark. Det sker alltså en förskjutning i växtsamhällen där kvävegynnande arter får konkurrensfördelar. Hur stor effekten blir beror på gödselgivan vid varje tillfälle och valet av gödsel. Svenska studier visar att kvävegynnade arter ökar kraftigt vid högre doser än 10 ton torrsbstans per hektar med avloppsslam (Magnusson, 2000).

Artsammansättningen innan kvävegödsling har visat sig vara betydelsefull för hur stor effekten blir. På kvävefattiga lokaler har antalet arter försvunnit snabbare i jämförelse med kväverika marker (Zetterberg et al., 2006). Arter som visat sig missgynnas av kvävegödsling är framförallt lavar, vissa mossor och mykorrhizasvampar (Skogsstyrelsen, 2007). Allt detta bidrar till att den biologiska mångfalden kan minska på kvävegödslade marker.

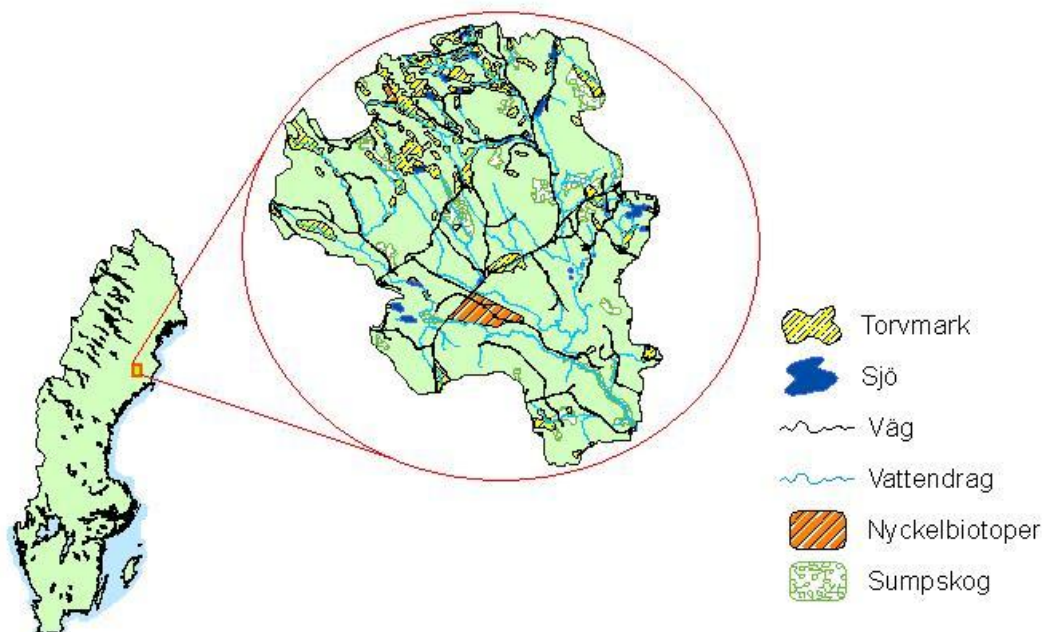
1.11 Syfte

Målet med detta arbete var att kunna identifiera lämpliga marker för gödsling med slampellet i området Krycklan (Västerbottens län), med hjälp av dataprogrammet ESRI ArcMap 9.3. Vår frågeställning är: Vilken hänsyn som måste tas i en kommande planeringssituation angående gödsling med slampellet?

2. Material och metoder

2.1 Områdesbeskrivning

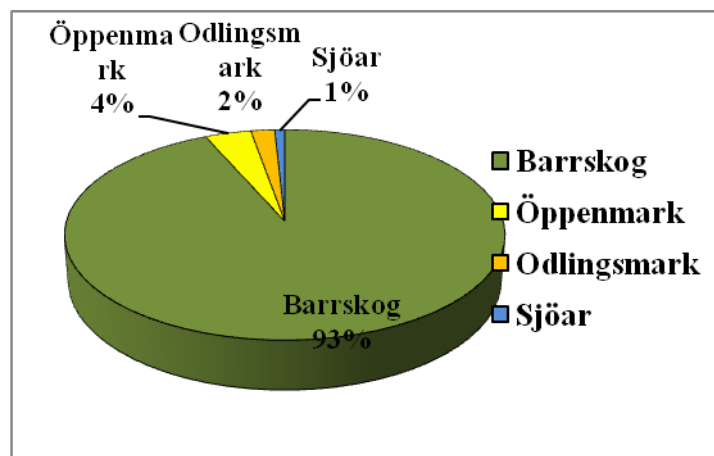
Krycklan är ett område 6 kilometer nordost om Vindeln i Västerbottens län (*figur 5*). Krycklan har en nederbörd på 600 mm per och medeltemperatur på 1,5 grader per år (SMHI, 1961-1990). Området Krycklan har en areal på 6780 hektar varav 6098 produktiv skogsmark, där tall (*Pinus sylvestris* L.) och gran (*Picea abies* (L.) Karst) är det dominerande trädslagen. Lövträd är mer vanligt längs vattendragen (Öhman et al., 2009). I *figur 6* visas fördelningen av barrskog, öppen mark, odlingsmark och sjöar i området Krycklan.



© Sveriges geologiska undersökning. Medgivande: 30-287/2002, 30-1820/2007 m.fl.

© Lantmäteriet, ärende nr I 2010/0345.

Figur 5. Karta över Krycklans lokalisering i Sverige



Figur 6. Fördelning i området Krycklan av barrskog, öppenmark, odlingsmark, och sjöar.

2.2 Material

Följande data har använts för att identifiera lämpliga områden för gödsling med slampellet i Krycklan, se *tabell 4*.

Tabell 4. Data som används för att identifiera lämpliga områden i Krycklan.

Producent	Data	År	Skala	Typ av data
Lantmäteriet	Fastighetskarta	2009	1:10 000	Väg, Markytor
	Översiktskarta	2009	1: 250 000	Sverigekarta
	Marktäckedata	2004	25x25 meter	Lavmarker
	Ortofoto			Flygfoto
Skogsstyrelsen				Sumpskog och Nyckelbiotoper
Riksantikvarieämbetet	Fornsök			Kulturlämningar
Sveriges Lantbruksuniversitet	kNN	2000	25x25 meter	Trädslag, ålder, ståndortsindex och virkesförråd
Sveriges Geologiska Undersökning	Jordartskarta	2007	1:100 000	Berg, morän och mo (grovsilt-finsand)

2.3 Metod

Skogsstyrelsen har utkommit med allmänna råd för gödsling med mineralgödsel. För att slamgödsling ska ge en god ekonomisk avkastning samt minimera de negativa miljöeffekterna har vi valt att delvis utgå från Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling (SKSFS 2007:3) och Skogsstyrelsens sju baskrav (Skogsstyrelsen, 2007). Dataprogrammet som har använts är ESRI ArcMap 9.3 för att kunna identifiera lämpliga bestånd utifrån kriterierna i *figur 7*. Anledningen till Skogsstyrelsens allmänna råd och sju baskrav har använts är för att det inte finns några råd för spridning av avloppsslam i skogen.

2.4 Kriterier och kantzoner

<u>Kriterier</u>	<u>Kantzoner</u>	<u>Minsta bredd (m)</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Fastmark	<input checked="" type="checkbox"/> Sjö och vattendrag	25
<input checked="" type="checkbox"/> Podsoljordmån	<input checked="" type="checkbox"/> Nyckelbiotop	25
<input checked="" type="checkbox"/> Ståndortsindex 16-30	<input checked="" type="checkbox"/> Kulturlämningar	25
<input checked="" type="checkbox"/> Minst 80 % av grundytan ska vara barrträd	<input checked="" type="checkbox"/> Tomtmark	25
<input checked="" type="checkbox"/> Lägst förstagallringsskog	<input checked="" type="checkbox"/> Väg	10
<input checked="" type="checkbox"/> Ingen sumpskog		
<input checked="" type="checkbox"/> Ingen lavmark		

Figur 7. Kriterier utvalda från Skogsstyrelsens allmänna råd (SKSFS 2007:3) och Skogsstyrelsen sju baskrav (Skogsstyrelsen, 2007).

Lägst förstagallringsskog

För att få fram ett enhetligt bestånd i området Krycklan har det använts kNN-data (0-21 meters höjd). Områden valdes ut som var 13 meter och över med funktionen ”extract by attributes”. Genom funktionen kommer det fram enhetliga bestånd med en höjd som är ≥ 13 meter. Detta raster görs om till polygoner istället, genom funktionen ”raster to polygon”. Detta kommer att vara grund för det fortsatta beräkning och jämförelser.

Fastmark

Endast fastmark har medtagits och all torvmark har uteslutits. Utifrån Sveriges Geologiska Undersöknings jordartskarta identifierades torvmarker med hjälp av medföljande attributtabell. Ett nytt lager skapades genom funktionen ”select layer from selected features”. Härifrån har torvmarker tagits bort från bestånd ≥ 13 meter, med hjälp av funktionen ”Erase”. Då går det bekräfta att endast fastmark är medtagen.

Podsoljordmån

All skogsmark i Krycklan beräknas vara av jordmånen podsol². Det som är inkluderat har marker som innehåller jordarter med morän och silt. Områden med silt har endast medtagits om marken består av barrträd med ståndortsindex över 20. Med hjälp av Sveriges Geologiska Undersöknings jordartskarta identifierades morän och silt med funktionen ”select layer from selected features”. Detta lager med morän och silt har slagits ihop med bestånd ≥ 13 meter, genom funktionen ”Intersect” .

Ståndortsindex (SI) 16-30

I Krycklan finns SI mellan 0-28 representerade. Därför kunde endast väljas SI upp till 28, medan Skogsstyrelsens sju baskrav anger SI upp till 30. Områden med SI 16-28 valdes ut med funktionen ”extract by attributes” för tall och gran. Dessa sammanslogs senare med funktionen ”con”. Eftersom det är ett raster som inte är enhetligt gjordes en subjektiv bedömning genom att jämföra SI 16-28 och bestånd ≥ 13 meter. Är SI lägre än 16 så selekteras bestånden bort.

Minst 80 % av grundytan skall vara barrträd

Utifrån volymen på kNN – data har det sällats bort bestånd med en lövandel på över 20 %. Baskraven anger att 80 % av grundytan skall bestå av barrträd. Eftersom det inte har någon data på grundytan användes volym istället. Funktionen ”raster calculator” användes och slog ihop tall, gran och contorta volymerna. Dessa multiplicerades med 100 för att få värden i procent. I ”raster calculator” ställdes kriteriet att barrvolymen skulle vara ≥ 80 % av totalvolymen. Detta har som i förra exemplet jämförts subjektivt med varandra, lager mot lager.

Kantzoner

Genom uppgifter från Lantmäteriet har det tagits fram vägar, tomtmark, sjöar och vattendrag. Men även tagit fram nyckelbiotoper och kulturlämningar från källor som Skogsstyrelsen och Riksantikvarieämbetet. Funktionen ”buffer” användes för att skapa kantzoner. Se *figur 7* för avståndsangivelser.

Lavdominerade marker

Lavmarker identifierades med funktionen ”extract by attributes” från svensk marktäckedata och sedan användes funktionen ”Erase” för att ta bort lavmarker i områden som det är tänkt att gödslas.

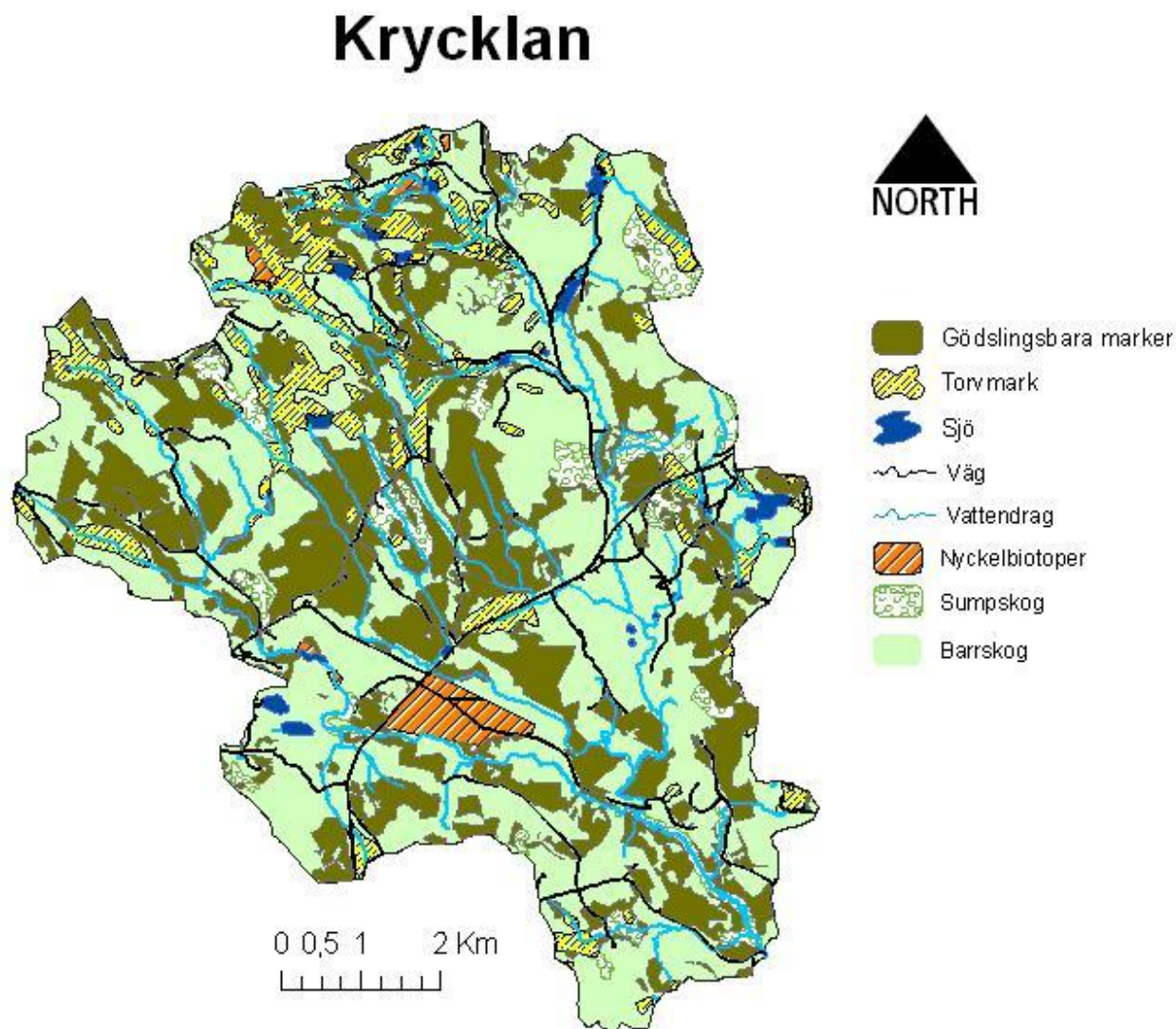
Sumpskog

Sumpskog skall inte gödslas och valdes bort med funktionen ”Erase”.

² Tord Magnusson, Universitetslektor (SLU), muntlig konversation 15 mars 2010.

3. Resultat

Genom dataprogrammet ESRI ArcMap 9.3 och data över området Krycklan går det att teoretiskt gödsla 1748 hektar (ca: 26 %) av totalt 6780 hektar (*figur 8*). Med utgångspunkt från Skogsstyrelsens allmänna råd och sju baskrav har det tagits hänsyn till torvmark, sumpskog, lavmark, nyckelbiotoper, tomtmark, väg, sjöar och vattendrag.



© kNN-Sverige, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. © Sveriges geologiska undersökning. Medgivande: 30-287/2002, 30-1820/2007 m.fl. © Lantmäteriet, ärende nr I 2010/0345. SKS: © Skogsstyrelsen.

Figur 8. Andel av området Krycklan som det är teoretiskt möjligt att gödsla med slampellets.

4. Diskussion

4.1 Är skogen redo att gödslas?

Vi har identifierat att 1748 hektar (26 %) av totalt 6780 i Krycklan är teoretiskt möjliga att gödsla med hänsyn till alla kriterier som är sammanställda i *figur 7*.

Innan gödningen påbörjas är det viktigt att bestånden fältbesöks. Data från bestånden kan vara missvisande eller innehålla fel. Bestånden skall okulärt besiktigas före gödning för att säkerställa att rätt bestånd har valts ut och att hänsyn tas till alla kriterier (*figur 7*). För att gödningen skall bli praktiskt möjlig måste bestånden vara gallrade för att traktor eller skotare ska kunna ta sig fram. Det görs enklast med ett fältbesök, men kan även vara möjligt med flygbildstolkning men eftersom bestånden ändå skall fältbesökas lönar det sig inte. Alla bestånd är ur ekonomisk synvinkel inte lönsamma att gödsla. Det är många faktorer som avgör. Avståndet till närmaste väg, beståndets storlek och terrängegenskaper. Den vanligaste tidpunkten att gödsla är då skogen är nära slutavverkningsmogen ålder. När gödningseffekten börjat ebba ut är skogen redo att avverkas.

4.2 Metod

I plant- och ungskog är tillväxtökningen i kubikmeter låg och ger en dålig ekonomiskt avkastning. Därför bör bestånden bestå av lägst förstagallringsskog eller äldre. Vid 13 meter anses skogen vara nära en första gallring.³

Fastmark har ett humustäcke som är maximalt 30 cm. Om det organiska materialet överstiger maxgränsen klassas marken som torvmark. I torvmarker är det normalt inte kväve som är det begränsande näringsämnet för tillväxten, utan andra näringsämnen såsom kalium och fosfor (Skogsstyrelsen, 2007).

Brunjordar innehåller naturligt mycket kväve och därmed blir tillväxteffekten marginell i jämförelse med podsolfjordmåner. Moränmarken i Krycklan består av mindre än 15 % lera och en blandning av grus och silt (SGU, 2007). Denna blandning av partiklar gör att genomsläpligheten blir låg. Därmed anses utlakningsförluster av både tungmetaller och näringsämnen bli låg. På siltmarker där ståndortsindex är över 20 anses produktionen vara tillräckligt hög för att motivera en gödning.⁴

Gödning lämpar sig på marker med ståndortsindex 16-30, alltså medelgoda marker. På svaga marker blir ekonomin låg för att det blir lite kubik efter gödning. Högproduktiva marker kan vara naturligt kväverika och tillväxtökningen blir marginell, samtidigt kan sådana marker orsaka kväveläckage (Skogsstyrelsen, 2007).

Tillväxten skiljer sig mellan barr- och lövträd. I lövträd blir tillväxtökningen låg och kortvarig jämfört med barrträd som behåller sina barr under ett antal år, i jämförelse med lövträden som släpper sina löv efter en säsong (Skogsstyrelsen, 2007). Därför kravet på att minst 80 % av grundytan ska vara barrträd.

³ Erik Valinger, Professor (SLU), muntlig konversation 15 april 2010.

⁴ Tord Magnusson, Universitetslektor (SLU), muntlig konversation 15 mars 2010.

Vid kantzoner är det viktigt vid skogsgödsling att gödslingsmedlet inte hamnar över områden som anges i *figur 7*. Kantzoner upprättas som en försiktighetsåtgärd för att förbygga eventuella negativa miljöeffekter för flora och fauna (SKSFS 2007:3). Skogsstyrelsen anger inga avståndsangivelser för kantzoner kring kulturlämningar. Vi ansåg att kulturlämningar skall skyddas och bevaras. Det skapades 25 meters kantzoner kring objekten. Kantzonerna bör anpassas efter hydrologi, topografi och geologi. Kantzonens bredd bör även anpassas till spridningsmetoden. För att kunna garantera gödslingsfria zoner med helikopter krävs en bredare kanton. Vi har inte tagit hänsyn till hydrologi och topografien utan endast skapat kantzoner kring objekt som bör skyddas enligt allmänna råden av Skogsstyrelsen (SKSFS 2007:3).

Lavar är en viktig födokälla för renar och kvävegödsling missgynnar lavarnas överlevnad (Skogsstyrelsen, 2007). Med hänsyn till detta har vi valt inte gödsla lavmarker. Definition av lavmarker i svensk marktäckedata saknas men Skogsstyrelsen anger att lavmarker definieras som marker där lav täcker mer än 50 % av bottenskiktet (SKSFS 2007:3). Vi har utgått ifrån att lavmarkerna i svensk marktäckedata täcks av lav till 50 % av bottenskiktet. Skogsstyrelsen anger vidare att lav som täcker 25 % av bottenskiktet bör undantas för gödsling (Skogsstyrelsen, 2007). Vi har ej kunnat ta hänsyn till detta på grund av avsaknad information i datamaterial.

I Skogsstyrelsens allmänna råd nämns att områden som innefattar hänsynskrävande biotoper skall skyddas (SKSFS 2007:3). Sumpskogar kan inhysa känsliga arter och ofta har hög biologisk mångfald (Skogsstyrelsen, 2010). Kvävegynnade arter har visat sig få konkurrens fördelar efter kvävegödsling och därför gödslas ingen sumpskog (Zetterberg, 2006).

Ett av Skogsstyrelsens sju baskrav är att skogen måste vara frisk och välsluten. Detta kriterium kan endast undersökas i fält och därför inte medräknat i *figur 7*. Skogsstyrelsen anger även att ingen avverkning skall ske inom 10 år efter gödsling (Skogsstyrelsen, 2007). Detta krav finns för att investeringen skall kunna räknas hem. Detta krav är inte relevant i vårt arbete.

4.3 Osäkerheter

Att gödsla med slampellet är osäkert, eftersom forskningen kring detta ämne har varit begränsad. Rädslan för eventuella negativa miljöeffekter tillsammans med psykologiska barriärer för användning av avloppsslam som gödslingsmedel har skapat en osäker marknad. Skogsbruket väntar på att få spelreglerna klarlagda samtidigt som myndigheterna innehar en avvaktande hållning. Produktionseffekterna efter gödsling med avloppsslam har inte heller varit entydiga, resultaten är för skiftande. Långtidsförsök som löper över en hel omloppstid behövs för att säkra slutsatser skall kunna dras.

Inga förhöjda halter av tungmetaller har kunnat påvisas i svamp och bär efter gödsling med 4 ton slampellet (Magnusson, 2000). Det finns hittills inga studier som påvisar toxiska halter av tungmetaller i djur (Sahlén, 2006). Även om forskningen visar detta skall människans psykologiska barriärer inte underskattas efter en gödsling med avloppsslam. Människans vilja att plocka bär och jaga efter en gödsling kan förändras negativt. Sammanfattningsvis bör inte slamgödsling utföras på skogsmark där rekreativvärde anses vara hög.

Skogsstyrelsens allmänna råd anger maximalt antal kg kväve som får sprida på skogsmark under en omloppstid. Beroende på det geografiska läget i landet varierar råden mellan 150-450 kg kväve per omloppstid (SKSFS 2007:3). Vid en jämförelse mellan Magnussons litteraturstudie

(Magnusson, 2006b) och Skogsstyrelsens allmänna råd går det att se litteraturstudiens högsta givor ligger mycket högre än Skogsstyrelsens. Många artiklar kan ha brister i det vetenskapliga underlaget. Artiklarna har ibland använt sig av grova antaganden när det gäller halter av vatten, torrsvikt och kväve (Magnusson, 2006b). Därför är det viktigt att inta en försiktighet när det gäller att följa dessa rekommendationer. Skogsstyrelsen anger rekommendationer för vad som är hållbart ur miljö och produktionssynpunkt där den allmänna inställningen tycks vara försiktighetsprincipen.

Den jämförelse som görs av metallhalter av Naturvårdsverkets gränsvärden för spridning av slam på åkermark (SCB, 2010) och Skogsstyrelsens rekommendationer av gränsvärden för askåterföring (Skogsstyrelsen, 2008), är inte praktisk tillämpbar för vid användning av avloppsslam som gödslingsmedel på skogsmark. Vid ett uttag av avverkningsrester följer metaller med. För att kompensera för dessa uttag, ligger metallgränsvärden för askåterföringen mycket högre. Vid slamgödsling är det endast en nettotillförsel av slam och ingen kompensation. Men eftersom det saknas gränsvärden för slam på skogsmark är det Skogsstyrelsens gränsvärden för askåterföring det närmsta det går att komma.

4.4 Miljöeffekter och risker

Vi anser att om slammet ska vara intressant för skogsbruket måste ett antal miljökriterier vara uppfyllda. Avloppsslammets halter av miljöfarliga ämnen måste vara tillräckligt låga. Slammet måste behandlas innan spridning skall kunna ske på skogsmark. Behandlingen görs för att avdöda patogener och smittämnen. Dessa krav ställs i dag vid spridning av slam på åkermark (SCB, 2010) och det är lämpligt att liknande krav ställs för skogsmark.

Vid gödsling med mineralgödsel är kväve mer lättillgängligt för träden jämfört med avloppsslam. Avloppsslammets kväve kommer tidvis att bli tillgängligt för träden allteftersom det sker en mikrobiell nedbrytning (Magnusson, 2006b). Detta innebär att risken för kväveutlakning vid gödsling med avloppsslam borde bli mindre än vid kvävegödsling med mineralgödsling. Magnusson visade även att efter engångsgiva på 11 ton slampellet (490 kg kväve) kunde inga utlakningsförluster av kväve påvisas, detta på en extremt utlakningsbenägen jord (Magnusson, 2006a).

Eftersom tungmetaller kan anrikas i både växter och djur är det viktigt att ständigt övervaka halterna av tungmetaller i avloppsslam. Slammets innehåll av både näringsämnen, organiska miljögifter och tungmetaller varierar stort mellan reningsverken och bland enskilda reningsverk kan gränsvärden överskridas tidvis (SCB, 2010) och det är då viktigt att se till att detta slam inte sprids ut på skogsmark. Tidigare studier har inte kunnat påvisa utlakning och anrikning av tungmetaller så att några anmärkningsvärda negativa miljöeffekter kunnat påvisas (Magnusson, 2006b).

Forskningen kring organiska ämnen är ett nytt område. Kunskapen om dessa ämnens effekter på djur och växtliv är inte klarlagda utan mer forskning behövs. Mycket talar för att organiska ämnen bryts ner av mikroorganismer. Dessutom har organiska ämnen låg vattenlöslighet (Sahlén, 2006) vilket kan minska eventuella utlakningseffekter. Slammets innehåll av organiska miljögifter och tungmetaller ligger klart under Naturvårdsverkets riktlinjer och gränsvärden för spridning av avloppsslam på åkermark (SCB, 2010).

4.5 Framtiden

En stor nackdel när det gäller slampellet är den större mängd som ska spridas. Stora körskador kan uppkomma på grund av detta. Även om slammet i dagsläget kan erhållas gratis bör det ifrågasättas om slammet är ekonomiskt hållbart, men det finns nya lösningar på detta problem. Vid tillverkning av slampellet är det möjligt för vissa reningsverk att blanda in önskade ämnen. Alltså skulle kvävehalten kunna öka i slammet är därmed minska den stora mängd slam som ska spridas till skogen. Dessutom skulle oönskade ämnen i slammet proportionellt minska som tungmetaller och organiska föreningar.

Naturvårdsverket har tydligt klargjort att återanvändning av avloppsslam skall öka men under förutsättningen att inte miljö eller hälsa skadas (Naturvårdsverket, 2002). Vilka användningsmöjligheter som finns i framtiden beror på hur marknaden och samhällets syn på avloppsslam förändras över tiden. Avloppsslam har många bra användningsområden, det fungerar exempelvis som ett utmärkt utfyllnadsmaterial vid anläggning av golfbanor, vilket kan leda till att slammet får alternativa användningsområden än de som finns idag. Avloppsslam har även ett energivärde på ca 1000 kWh per ton (Hånell et al., 1996). Det skulle ge energi i form av värme eller el. Vad som då går förlorat är de värdefulla näringsämnen som ger en tillväxtökning.

4.6 Slutsats

Det finns många anledningar att slam skulle kunna bli en resurs för skogsbruket. En stor mängd slam produceras varje år och eftersom slammet innehåller kväve finns möjligheten att slammet skulle kunna återgå till skogen för att öka tillväxten i skogen. Ett slutet kretslopp mellan människa, livsmedel och mark står i fokus i dagens samhälle. Att gödsla med avloppsslam kan vara en delösning mot ett ekologisk och mera hållbart samhälle. Att ta vara på en resurs som redan finns!

Vår slutsats är att slammet väl fungerar som ett alternativ till mineralgödning. För att slammet ska kunna spridas till produktiv skogsmark storskaligt måste ”spelreglerna” för marknaden klargöras. Myndigheterna måste sätta upp riktvärden som är anpassade för just skogsbruket.

5. Tillkännagivanden

Vi vill tacka vår handledare Tord Magnusson för att hjälpt oss tålmodigt. Kenneth Sahlén för stöd och diskussion och Björn Hånell som bidrag med bra synpunkter på arbetet. Samtliga från institutionen för skogens ekologi och skötsel (SLU). Anders Alanära med bidrag med synpunkter från fakulteten för skogsvetenskap. Vi vill även tacka Per Lundgren på Skellefteå kommun för studiebesök på Skellefteås biogasanläggning som gett oss en bra insikt i tillverkningsprocesser av slampellet.

Mikael Sörhult & Olof Högqvist

Umeå april 2010

6. Referenser

Agustinsson, H. (2003). Växtnäring från avlopp – historik, kvalitetssäkring och lagar. (5220). Stockholm: Naturvårdsverket.

Amundsen, C. E. (2008). Organiske forurensninger i Avløpsslam. [Online] Tillgänglig: <http://norsk vann.no/layout/set/print/content/download/33806/346538> [2010-04-24]

Bastian, R. K. (1986). Overview on sludge utilization. I. The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. Cole, D. W. Henry, C. L. Nutter, W. L. (Red). 7-25. Seattle and London: University of Washington Press.

Bramryd, T. (1994). *Effects on growth and nutrition of sewage sludge application in acid pine forests (Pinus sylvestris, L.) in a temperate gradient in Sweden*. Diss. Lund: Department of Ecology, Plant Ecology.

Brockway, D. G. (1983). Forest floor soil and vegetation responses to sludge fertilization in red and white pine plantations. *Soil Science Society of America Journal* 47 (4), 776-784.

Campa III, H. Woodyard, D. K. Haufler, J. B. (1986). Deer and elk of forages treated with municipal sewage sludge. I. The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. Cole, D.W. Henry, C. L. Nutter, W. L. (Red). 188-205. Seattle and London: University of Washington Press.

Cole, D. W. Rinehart, M. L. Briggs, D. G. Henry, C. L. Mecifi, F. (1984). Response of Douglasfir to sludge application: volume growth and specific gravity. I. 1984 TAPPI Research and Development Conference. 77-84. Atlanta: Technical association of the Pulp and Paper Industry.

Enström, N. (2008). Heavy metal accumulation in voles, shrews and snails after fertilisation with pelletized and granulated municipal sewage sludge. (*Examensarbeten*, 2008:3). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

European Commission. (2001). Organic contaminants in sewage sludge for Agricultural use.

Haufler, J. B. & West, S. D. (1986). Wildlife Responses to forest application of sewage sludge. I. The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. Cole, D. W. Henry, C. L. Nutter, W. L. (Red). 110-116. Seattle and London: University of Washington Press.

Henry, C. L. & Cole, D. W. (1998). Use of biosolids in the forest: Technology, Economics and Regulations. *Biomass and Bioenergy* 13 269-277.

Henry, C. L. Cole, D. W. Hinckley, T. M. Harison, R. B. (1993). The use of municipal and pulp and paper sludge's to increase production in forestry. *Journal of Sustainable Forestry* 1 (3), 41-55.

Hånell, B. Magnusson, T. Modig, T. (1996). Pellettering av slam – världsnyhet stärker skogens roll i kretsloppet. Sveriges Lantbruksuniversitet. (*Fakta Skog*, 11). Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Kovanen, M. (2007). Growth responses in Swedish boreal coniferous forests after addition of nitrogen as sewage sludge pellets. (*Examensarbeten*, 2007:5). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Larsson, M. (2000). Näringsfrigörelse ur pelleterat slam – en fältstudie i halland. (*Examensarbeten*, 58). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Lindberg, L. Tysklind, M. Sahlén, K. (2010). Miljöriskbedömning av skogsgödsling med pelleterat/granulerat avloppsslam – syntetiska organiska ämnen. STEM P30686-1. Umeå: Energimyndigheten.

Magnusson, T. (2006a). Markrestaurering av grustäkt med kommunalt avloppsslam – delrapport 1: miljöeffekter. (2006:13). Svensk vatten utveckling: Stockholm.

Magnusson, T. (2006b). Slam och aska i intensivodling. I. J. Bergh, G. Oleskog, (Red). Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. 61-74. Alnarp: Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap.

Magnusson, T. (2000). Fiberskog – rapport från ett forskningsprogram om intensivodling av gran. (6). Department for Production Ecology, Faculty of Forestry.

Nationalencyklopedin, (2010). [Online] Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/tungmetall> [2010-04-14]

Naturvårdsverket. (2002). Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp. (5214). Stockholm: Naturvårdsverket.

Oberle, S. L. Keeney, D. R. (1994). Interactions of sewage sludge with soil-crop-water systems. I. Sewage sludge: Land utilization and the environment. Clapp, C. E. Larson, W. E. Dowdy, R. H. (Red). 17-20. Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc.

Olesen, S. E. Lundberg, J. Larsen, V. (1979). Udbingning af salm i nåletraesplantage på sandjord. (Forskningsvirksomhed, 19). Det Danske Hedeselskabet.

Pettersson, O. (1992). Kretslopp i odling och samhälle. [Online] Tillgänglig: http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/aktuellt_fr_sl/ALU408/ALU408.HTM [2010-04-14]

Plejfel, H. Bråkenhielm, S. Ericson, L. Finlay, R. Hallingbäck, T. Lundkvist, H. och Taylor, A. (2001). Effekter på biologisk mångfald av markförsurning och motåtgärder. (*Meddelanden*, 11 C). Jönköping: Skogsstyrelsen.

Sahlén, K. (2006). Sewage sludge fertilization of conifer forests in the Nordic countries and North America. (*TemaNord*, 2006:501). Köpenhamn: Nordic Council of Ministers.

SCB (Statistiska CentralByrån). (2010). Utsläpp till vatten och slamproduktion 2008. (*Utsläpp till vatten*, MI22SM1001) Stockholm: Statistiska CentralByrån.

SFS 1998:808. Miljöbalken.

SGU (Sveriges Geologiska Undersökning). (2007 ej publicerad). Beskrivning av insamlingsmetoder, digitaliseringsmetoder och struktur på levererad information från regionala jordartsdatabaser modell B (skala 1:100 000).

Skogforsk. (2005). *Skogsgödsling*. Uppsala: Skogforsk.

Skogsstyrelsen. (2010). Skötsel och naturvärdesbedömning av sumpskog. [Online] Tillgänglig: <http://www.svo.se/episerver4/templates/SNormalPage.aspx?id=13566> [2010-04-17]

Skogsstyrelsen. (2008). Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. (*Meddelande*, 2008:2). Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen. (2007). Kvävegödsling av skogsmark. (*Meddelande*, 2007:2). Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen. (1965-2009). Skogsvård. I. Skogsstatistisk årsbok 1965-2009. Jönköping: Skogsstyrelsen.

SKSFS 2007:3. (2007). Skogsstyrelsens allmänna råd till ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödselmedel på skogsmark. Skogsstyrelsens författningssamling.

SLU (Sveriges LantbruksUniversitet). (2004). Fiberskog. [Online] Tillgänglig: <http://www-fiberskog.slu.se/Dokumentation/Omgodsling/omgodsling.htm> [2010-04-14]

SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). (1961-1990). Normalvärden för nederbörd. [Online] Tillgänglig: http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_month_year_normal_61_90_precipitation_mm.txt [2010-03-25]

SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). (1961-1990). Normalvärden för temperatur. [Online] Tillgänglig: http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_month_year_normal_61_90_temperature_celsius.txt [2010-03-25]

SNFS 1994:2. (1994). Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket.

Wattiez, A. L. (2000). Mineralization of nitrogen from pelletized sewage sludge- a laboratory incubation study. (*Examensarbeten*, 59). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Yara. (2010). Skog-CAN, gödselmedel för skog. [Online] Tillgänglig: <http://www.yara.se/fertilizer/products/forest/index.aspx> [2010-03-29]

Zabowski, D. & Henry, C. L. (1994). Soil and foliar nitrogen after fertiliser treatment of ponderosa pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 24 (1), 333-343.

Zetterberg, T. Hellsten, S. Belyazid, S. Karlsson, P. E. Akselsson, C. (2006). Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av skogsmarksgödning vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition – modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi och artsammansättning. (B1691). Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Öhman, K. Seibert, J. Laudon, H. (2009). An Approach for including consideration of stream water dissolved organic carbon in long term forest planning, *Ambio* 38, 387-393.