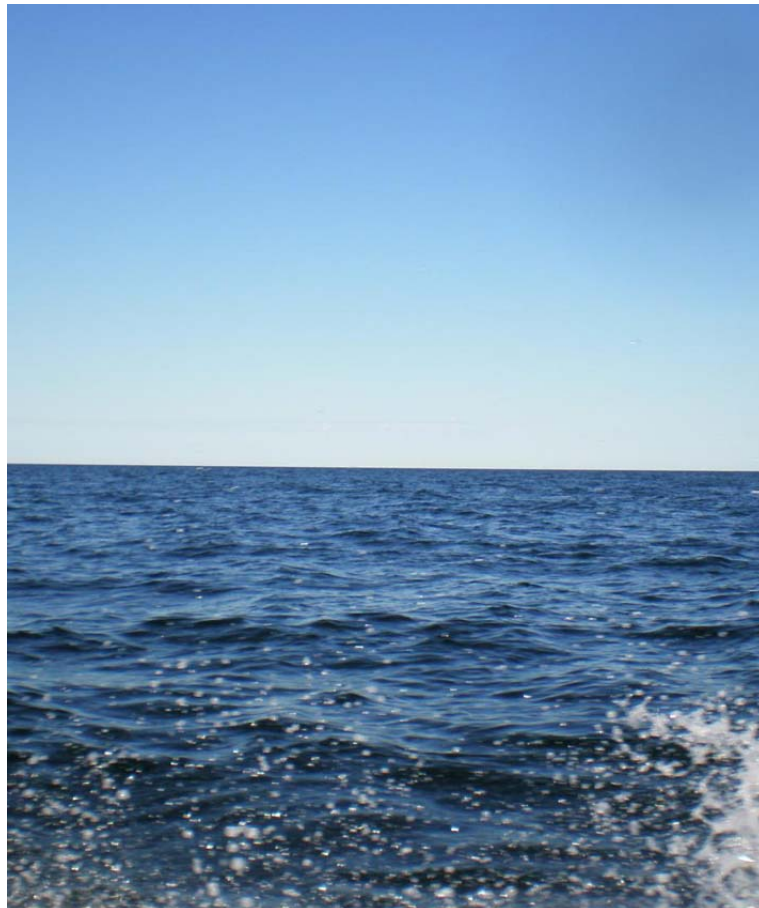


Strukturkalkningens möjlighet att hindra fosforutlakning - en litteraturstudie

*Possibilities of liming as a method to reduce phosphorus
- a literature review*

Johanna Collin



Kandidatuppsats i miljövetenskap
Kandidatprogrammet Biologi och miljövetenskap

Institutionen för mark och miljö, SLU
Examensarbeten 2010:06

Uppsala 2010

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Johanna Collin

Strukturkalkningens möjlighet att hindra fosforutlakning – en litteraturstudie
Possibilities of liming as a method to reduce phosphorus leakage - a literature review

Handledare: Kerstin Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU
Examinator: Ararso Etana institutionen för mark och miljö, SLU
EX0432, Självständigt arbete i miljövetenskap, 15 hp, Grund C
Kandidatprogrammet Biologi och miljövetenskap 180 hp

Institutionen för mark och miljö, SLU, Examensarbeten 2010:06
Uppsala 2010

Nyckelord: strukturkalkning, kalk, fosfor, utlakning, övergödning

Omslag: Johanna Collin, privat bild

Sammanfattning

Syftet med denna uppsats är att ta reda på om strukturkalkning kan minska fosforutlakning från åkermark genom att göra en litteraturstudie utifrån tidigare forskning. Resultatet ska förhoppningsvis visa om det finns stöd för att åtgärder som idag tillämpas av lantbrukare bidrar till minskad fosforutlakning. Samtidigt blir denna litteraturstudie ett underlag för eventuell fortsatt forskning inom detta område. Tillgången på material är begränsad eftersom mycket lite forskning skett inom detta område även internationellt, därför har även närliggande forskning använts. Genom att sammanställa den kunskap som finns och lägga grunden till fortsatt forskning kan det bli möjligt att nå miljökvalitetsmålet ”Ingen övergödning” och att bidra till hushållning med fosfor som är en ändlig resurs.

Det material som studerats visar liknande resultat, nämligen att strukturkalk (bränd och släckt kalk) ger bättre struktur och mer växttillgänglig fosfor. Därmed minskar fosforläckaget från jordbruksmark. Även då kalken blandas i slam för hygienisering blir det en kalkeffekt. Kalken gör fosfor mer lättillgänglig för växterna genom att fosfor binds till kalciumjoner istället för exempelvis järn och aluminium. Strukturförbättringen är av stor betydelse eftersom den största delen av fosforläckaget sker genom partikulärt bunden fosfor som följer med dräneringsvattnet från erosion och liknande. De försök som redovisas visar främst kortsiktiga effekter så det behövs mer forskning för att se vad som sker på lång sikt. Mer forskning behövs även för att få med variationer i lerhalt, jordart m.m. vilket påverkar markens egenskaper. Det skulle också vara bra med försök som inkluderar både dräneringsvattnet och vatten från ytavrinning för att få en helhetsbild. Resultaten som finns idag pekar ändå på att det är möjligt att med hjälp av strukturkalkning bidra till att få fosfor att stanna i jorden där den gör nytta som näring.

Abstract

The purpose of this essay is to find out if liming with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and CaO can reduce leaching of phosphorus from agricultural land and the problem with eutrophication. This purpose also includes getting knowledge about how to make the phosphorus retained in the soil and be accessible for the plants. This essay is supposed to show if more research is needed in this subject. There has not been much research about this subject and therefore the amount of material to study is limited in this literature review. The research reports that have been studied have similar results. Liming does improve the soil structure and make the phosphorus more accessible to the plants as the phosphorus binds to calcium ions instead of iron or aluminum. Improvement of soil structure reduces the leakage as phosphorus bound to particles remain inside the soil. Also lime mixed in sludge does give these effects. More research is needed about the long time effects from liming. Today it is known that the structure improvement does remain for more than ten years but the permanency of the chemical changes is not known. The soil type and clay content does affect the structural and chemical properties in a soil and therefore more field experiments are needed to include effects of liming in varying soil types. More research is also needed to get an overall picture with both drainage water and surface runoff. The conclusion still is that liming can reduce phosphorus losses.

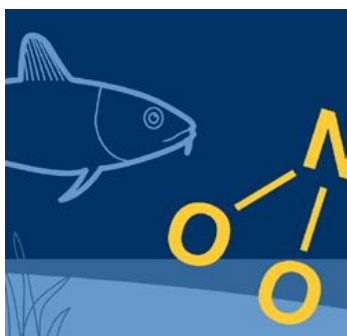
Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Sammanfattning | 3 |
| Abstract | 3 |
| Introduktion | 5 |
| Mål att minska övergödning | 5 |
| Internationella miljömål | 5 |
| Fosfor från jordbruksmark..... | 6 |
| Syfte..... | 7 |
| Metod | 7 |
| Strukturkalkning | 7 |
| Kalk | 7 |
| Bra struktur | 8 |
| Vad kalk gör med jorden | 8 |
| Puzzolanreaktion och murbruk | 9 |
| Biologin förändras | 9 |
| Strukturkalkningens effekt på fosforutlakning | 10 |
| Strukturkalkningsförsök i Finland och Norge | 10 |
| Reducerad jordbearbetning och kalkning på ytan..... | 10 |
| Med eller utan plöjning och kalkning | 11 |
| Kalkhaltigt slam och reducerad jordbearbetning | 11 |
| Kalkbehandlat slam i Norge..... | 12 |
| Kalkmedel på sura sulfatjordar | 13 |
| Kalkfilterdiken..... | 13 |
| Svenskt försök pågår | 14 |
| Diskussion | 15 |
| Slutsatser | 17 |
| Referenser | 18 |

Introduktion

Mål att minska övergödning

Enligt sjöinventeringen 2005 var 8 % av Sveriges sjöar övergödda (Wilander & Fölster, 2007). Man kan med egna ögon se problemet med cyanobakterier som ger upphov till så kallade algblomningar. Detta har blivit ett återkommande problem runtom i Sverige under sommaren såväl i sjöar som längs kusterna. Orsaken till detta är för hög näringstillförsel till vattnet vilket har medfört att Östersjön och många sjöar är övergödda. När det blir för mycket näring i vattnet ökar mängden cyanobakterier (s.k. blågröna alger) och när de dör sjunker de till botten (Bergström m.fl., 2008). När de bryts ner förbrukas syre och det blir syrebrist vilket medför att bottarna dör.



Figur 1. Illustration till miljömålet Ingen övergödning (Miljömålsrådets hemsida, 2009).

Sveriges riksdag antog år 1999 16st nationella miljökvalitetsmål som en del i arbetet för att de stora miljöproblemen ska vara lösta innan "nästa generation" (dvs. innan 2020). Beskrivningar av miljökvalitetsmålen finns på hemsidan miljömålportalen (Miljömålsrådets hemsida, 2010) under fliken om miljömålen. Ett av de nationella miljökvalitetsmålen är "Ingen övergödning", vilket beskrivs som: "Halterna av gödande ämnen i mark och vatten skall inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten". Ett av delmålen till detta miljökvalitetsmål gäller fosforutsläpp och där står det "Fram till år 2010 skall de svenska vattenburna utsläppen av fosforföreningar från mänsklig verksamhet till sjöar, vattendrag och kustvatten ha minskat med minst 20 % från 1995 års nivå.

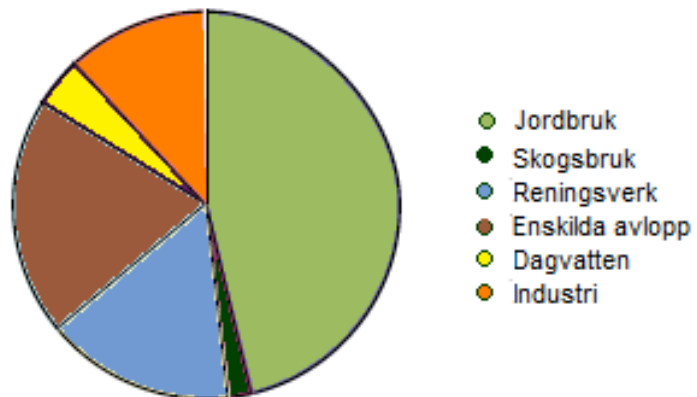
De största minskningarna skall ske i de känsligaste områdena". Enligt utredningar gjorda av Miljömålsrådet (2009) är det inte möjligt att nå detta mål till 2020 och de senaste åren har inte fosforhalterna sjunkit i svenska vatten.

Internationella miljömål

Förutom de nationella miljökvalitetsmålen finns det internationellt arbete med liknande mål. Ett exempel är Ramdirektivet för vatten, infört av EU år 2000, där målet är att uppnå god vattenstatus innan 2015 (Jordbruksverkets hemsida, 2010). Direktivet innebär att alla EU-länder ska jobba mot samma mål över nationsgränser och omfattar allt vatten utom öppet hav. Länderna runt Östersjön har sedan 2007 ett beslut om att rädda Östersjön genom Baltic Sea Action Plan (BSAP) som antogs av ländernas miljöministrar i Helsingforskommissionen (Naturvårdsverkets hemsida, 2010). Målet i BSAP är i stort att sänka övergödningen till 1950 talets nivå och nå god ekologisk miljöstatus för vattnet till 2021. I aktionsplanen ingår att varje land ska vidta åtgärder för att minska näringstillförseln och för Sveriges del krävs en minskning på 21000 ton kväve och 290 ton fosfor. De åtgärder som naturvårdsverket nu föreslagit till regeringen kan ge en minskning med ungefär 15 400 ton kväve och 170 ton fosfor så det är långt kvar till målet.

Fosfor från jordbruksmark

Näringstillförseln till Östersjön och våra sjöar kommer till stor del från jordbruket som vi ser i figur 2 (Bergström m.fl., 2008). Av den fosfor som tillförs vattendrag, sjöar och kustvatten från mänskliga aktiviteter kommer 46 % från jordbruket enligt Jordbruksverket. År 2007 var fosforförlusten från jordbruksmark till vatten ca $0,3\text{kg P ha}^{-1}\text{år}^{-1}$.



Figur 2. Antropogena fosforförluster i Sverige år 2000 enligt Jordbruksverket, efter Bergström m.fl. (2008).

Fosforförlusten från odlingsmarken består dels av ytavrinning och erosion men även utlakning via dräneringsvatten. Erosion och ytavrinning medför att markpartiklar och kolloider med bunden fosfor (PP) förs ut i vattendragen och vidare till t.ex. Östersjön (Ulén, 2002). I sura jordar bildar fosfor svårslösliga föreningar med aluminium och järn men när pH stiger och ligger mellan 5,5 och 8,0 ökar lösligheten (Eriksson m.fl., 2005). Detta beror på att järn och/eller aluminiumfosfat övergår till kalciumfosfat som är mer lösligt och därmed tillgängligt för växter. Vid pH över 8,0 kan återigen svårslösliga föreningar bildas i form av oktafosfat och hydroxylapatit så det är viktigt att kalka lagom mycket så att det blir rätt pH värde i jorden. Humussyror i organiskt material kan också öka lösligheten och växttillgängligheten av fosfor och därmed minska mängden partikelbunden fosfor som lätt läcker ut i ytvatten. De flesta av Sveriges jordar är sura och därmed är den största delen av fosfor i marken adsorberad på oorganiska kolloider eller bunden till oorganiska föreningar vilket gör att en mycket liten del av fosfor finns i marklösningen. Trots att detta innebär att fosfor som kommer till hav och sjöar är mer svårslöslig är det tillräckligt för att ge ogynnsamma levnadsförhållanden för de organismer som lever i vattnet.

Det antropogena bidraget av fosfor är det som vi har störst möjlighet att begränsa exempelvis med bättre vattenrening och olika typer av jordbearbetning. Som en del i arbetet för att minska övergödningen har Sveriges regering enligt förordning 2009:381 beslutat att kommuner och ideella organisationer kan söka så kallade LOVA-bidrag för lokala vattenvårdsprojekt (Miljödepartementet, 2009). Bidragen söks hos länsstyrelsen och ska bidra till minskade halter av kväve och fosfor i Östersjön och Västerhavet. Strukturkalkning är en av de åtgärder som omfattas av LOVA-bidrag då den ska kunna bidra till minskad fosforutlakning. Målet med åtgärden är att den fosfor som sprids på åkrarna ska tas upp av växterna istället för att läcka ut, både för att hindra övergödning och för att fosfor är en ändlig resurs.

Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att ta reda på om strukturstyrning kan minska fosforutlakning från åkermark genom att sammanställa vad tidigare forskning har kommit fram till. Detta för att se om det finns stöd för att de åtgärder som idag provas av lantbrukare bidrar till minskad fosforutlakning. Resultatet av detta arbete blir ett underlag för eventuell kommande forskning på området.

Metod

Detta arbete är en litteraturstudie där fakta samlats in med hjälp av de databaser som biblioteket på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) tillhandahåller. Både svenskt och internationellt material användes, men mycket lite forskning har gjorts kring strukturstyrning som en metod för att minska fosforutlakningen. Detta gjorde att tillgången på fakta var begränsad. Därför har även annat material om kalkning, strukturstyrning, kalkfilterdiken och fosforutlakning använts. Med hjälp av detta material har slutsatser dragits om huruvida strukturstyrning är en lämplig/möjlig metod för att minska fosforutlakning och därmed minska övergödningssproblemen i våra vatten. Information insamlades även vid en intervju med docent Barbro Ulén som forskar om växtnäringsförluster från odlingsmark vid Institutionen för mark och miljö på SLU i Uppsala. I hela arbetet ligger fokus på lerjordar eftersom det behövs mer än 15 % ler för att jorden ska få bättre struktur av kalkning (Berglund, 1971). Dessutom är lerjordar vanligt förekommande i Sveriges jordbruksbygder där utlakningsproblemen är stora.

Strukturstyrning

Kalk

Kalk påverkar strukturbildande processer i marken vilket beskrivs nedan, men även markens pH. I Wiklanders marklära (Eriksson m.fl., 2005) kan man läsa att genom att höja pH i sura jordar ökar mängden kalciumfosfat som ersätter svårösliga föreningar mellan t.ex. fosfor och aluminium eller järn. Den ökade lösligheten för fosfor gör att näringen blir tillgänglig för växterna. Vid pH över 8,0 bildas återigen svårösliga föreningar, men då mellan fosfor och kalk. Detta betyder att kalk kan påverka växttillgänglighet och risk för läckage av näring till ytvatten på flera sätt.

Det finns olika former av kalk (figur 1), ofta används kalkstensmjöl som består av kalciumkarbonat (CaCO_3). Andra alternativ är kalciumoxid (CaO) som även kallas bränd kalk och kalciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), så kallad släckt kalk (Berglund, 1971). Skillnaden i

Tabell 1. Olika kalktyper för kalkning av jordbruksmark

| Olika typer av kalk | Kemisk formel |
|---------------------|--------------------------|
| Kalkstensmjöl | CaCO_3 |
| Bränd kalk | CaO |
| Släckt kalk | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ |

löslighet är stor mellan olika kalkslag t.ex. 1000 mg kalciumjoner per liter vatten för släckt kalk jämfört med ca 6mg för kalciumkarbonat. Längre fram beskrivs hur viktig denna skillnad är vid förbättring av markstruktur med kalk.

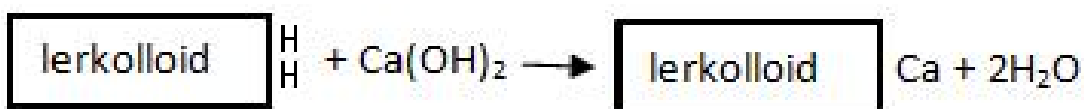
Bra struktur

Vid odling på jordbruksmark eftersträvas en god struktur vilket är en jord som är lätt att bearbeta. En finkornig jord med bra struktur är enligt Wiklander (Eriksson m.fl., 2005) uppbyggd av aggregat med vattenfyllda porer inuti samt större luftfyllda porer mellan aggregaten. Detta gör att vatten kan infiltrera över hela ytan och bindas i aggregaten istället för att rinna rakt igenom jorden. För att uppnå en bra struktur kan man använda olika jordbearbetningsmetoder men även ta hjälp av kalkning. Den förbättrade strukturen och höjda pH-nivån från kalken bidrar till bra skördar tack vare den vattenhållande förmågan och ökad växttillgänglighet för näringen vilket minskar näringsläckaget.

Om en jord har dålig struktur blir vatten lätt stående på jordytan och kolloider slammas upp vilket ökar risken för näringsläckage genom ytavrinning (Ulén, 2002). Omvänt kan man tänka sig att näringsläckage kan förhindras genom att kalka och på så vis förbättra strukturen. När strukturen förbättras blir dessutom vattenflödet genom jorden långsammare och fosfor hinner absorberas på markpartiklarna (Djodjic, 2001). Reaktionerna som sker i jorden när kalk tillsatts sker mellan släckt kalk och lermineral (Assarson, 1977). Osläckt kalk släcks av vatten i marken och kan med fördel användas när man vill att leran ska torka upp något. Att den osläckta kalken får leran att torka beror på att den kalken binder hydratiserat vatten till sig och att släckningsreaktionen bildar värme som gör att en del av vattnet i jorden avgår som ånga.

Vad kalk gör med jorden

En lerjord består av lermineral som är skivformade med vattenfilm runt och ligger på varandra i parallella lager (Berglund, 1971). Partikelytorna är negativt laddade och balanseras av positiva metallkationer som finns i marklösningen närmast partikelytan. Skivorna kan glida i sidled vilket gör jorden smetig och genom att ta upp eller avge vattenmolekyler kan lerjorden svälla respektive krympa. Släckt kalk består av tvåvärda kalciumjoner(Ca^{2+}) och negativa hydroxidjoner(OH^-). Hydroxidjonerna gör att pH värdet höjs i jorden. Kalciumjonkoncentrationen blir hög nära partikelytorna och kalciumjonernas högre laddning jämfört med de envärda metallkationerna gör att de kan ersätta dem vilket illustreras i figur 3 nedan. Lermineralet blir genom detta basutbyte mättat av kalciumjoner. Denna reaktion är mycket snabb då man använder bränd eller släckt kalk och jorden är fuktig.



Figur 3. Basutbyte, envärda joner går ut i marklösningen och ersätts på lerkolloiderna av kalciumjoner, efter Berglund (1971).

Vattenskikten runt partiklarna blir tunnare på grund av basutbytet eftersom kalciumjonerna binder färre vattenmolekyler än de metallkationer och vätejoner som fanns där innan (Berglund, 1971). Den svaga hydrattationen gör att laddningsbalansen rubbas. Laddningarna attraherar och repellerar varandra så att lermineralen omorienteras och lägger sig kant mot plan som ett korthus. Den nya orienteringen gör att volymen ökar och aggregat bildas. Det vatten som tidigare fungerade som smörjmedel mellan partiklarna stängs in i aggregaten. Den aggregerade jorden kan hålla större mängder vatten än tidigare och samtidigt upplevas som grynig, torrare och mindre smetig. Strukturen som bildats stabiliseras också av att det bildas en kalkhydratgel som klistrar ihop de nybildade aggregaten med humus och andra partiklar som finns i marken.

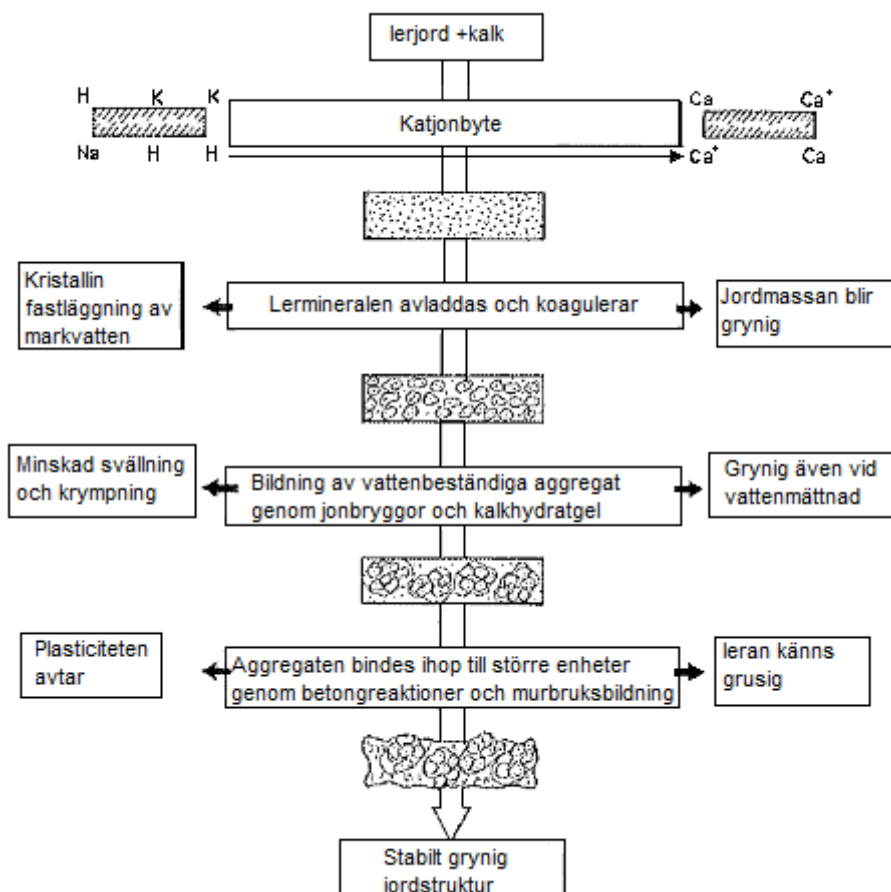
Puzzolanreaktion och murbruk

Ytterligare stabilisering av markstrukturen fås av den betydligt långsammare puzzolanreaktionen (Berglund, 1971). En puzzolanreaktion är till exempel den reaktion som får cement att hårdna. Det som sker är att kalciumaluminathydrater och kalciumsilikathydrater bildas genom föreningar mellan den tillförda kalken och de olika kisel- eller aluminiumföreningar som finns i marken. Reaktionen kräver att kalk, aluminium, kisel/aluminium och vatten finns fritt tillgängligt. Även murbruk av samma typ som används till tegelhus kan bildas i marken. Det består då av släckt kalk(kalciumhydroxid), sand och andra strukturkorn, vatten och kolsyra enligt följande: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. När dessa blandas bildas kalciumkarbonatbryggor mellan kornen i marken. Båda dessa reaktioner gör att aggregat kan bindas ihop och bilda större aggregat så att stabiliteten ökar.

Alla ovan nämnda reaktioner finns med i figur 4 nedan och gemensamt för dem är att de går snabbare och blir mer effektiva då pH och halten av kalciumjoner ökar. Bränd och släckt kalk har som tidigare nämnts betydligt högre löslighet än kalkstensmjöl och ger därmed högre koncentration av kalciumjoner i jorden. Det är en av förklaringarna till varför bränd och släckt kalk ger bättre och snabbare effekt på strukturen än vanligt kalkstensmjöl.

Biologin förändras

Förutom ovanstående kemiska och fysikaliska förändringar i jorden vid tillsats av kalk finns även en påverkan på biologin i jorden. Kalken medför att pH i jorden höjs och det gynnar t.ex. dagmaskarna som är känsliga för sura förhållanden (Berglund & Blomqvist, 2002). Ökat antal maskar som rör sig i och bryter ner organiskt material i jorden kan bidra till ökad porositet och bättre struktur. Även många svampar påverkas av kalkningen eftersom de gynnas av lågt pH. Kalkningen kan därmed även bidra till svampbekämpning och ytterligare förbättra livsmiljön för grödan så att det blir en god skörd.



Figur 4. Vad kalk gör med strukturen i en kolloidrik jord, efter Berglund (1971).

Strukturkalkningens effekt på fosforutlakning

Strukturkalkningsförsök i Finland och Norge

Reducerad jordbearbetning och kalkning på ytan

Flera försök med kalkning och dess effekt på fosforutlakning har gjorts i Finland. I ett av dem var det mängden eroderat material samt koncentrationen av fosfor i avrinningsvatten som studerades på två jordar som kalkats eller behandlats med kalkhaltigt slam (Alakukku & Aura, 2006). Man testade även skillnaden mellan olika bearbetningsmetoder på jordarna. I försöket ingick 4 rutor som plöjts på hösten, fyra rutor med stubbrytning på hösten, fyra utan bearbetning samt ett fält med och utan slam. De två jordar som användes klassades enligt US Soil taxonomy som "Cryaquept" medan de enligt FAO var "Vertic cambisol" och "Eutric cambisol". Lerhalten i de översta 20 centimetrarna var 62 % respektive 46 %. Provcylindrar (ostörda prover) från försöksrutorna användes för undersökningar på labb. Dessa utsattes för simulerat regn och vattnet från proverna samlades upp var för sig. Den kalkprodukt som användes för inblandning i ytan var "lime kiln dust", en restprodukt från framställning av bränd kalk, som till stor del består av CaCO_3 men även CaO och andra kalciumföreningar.

Resultatet visade på mindre erosion från de kalkade jordarna och därmed mindre partikelbunden fosfor som hamnade i vattnet, detta oberoende av vilken typ av jordbearbetning som använts. Även mängden löst reaktiv fosfor (DRP) minskade av kalkningen. Minskningen berodde antagligen på att den ökade halten kalcium ökade möjligheten till adsorption av fosfor på jordpartiklarna. Även slammet med CaCO_3 medförde minskade fosforförluster för alla typer av jordbearbetning trots att det var fem år mellan slamtillförseln och experimentet. Slammet innehåller också organiskt material så det är antagligen inte bara kalken som gör att fosfor stannar i jorden.

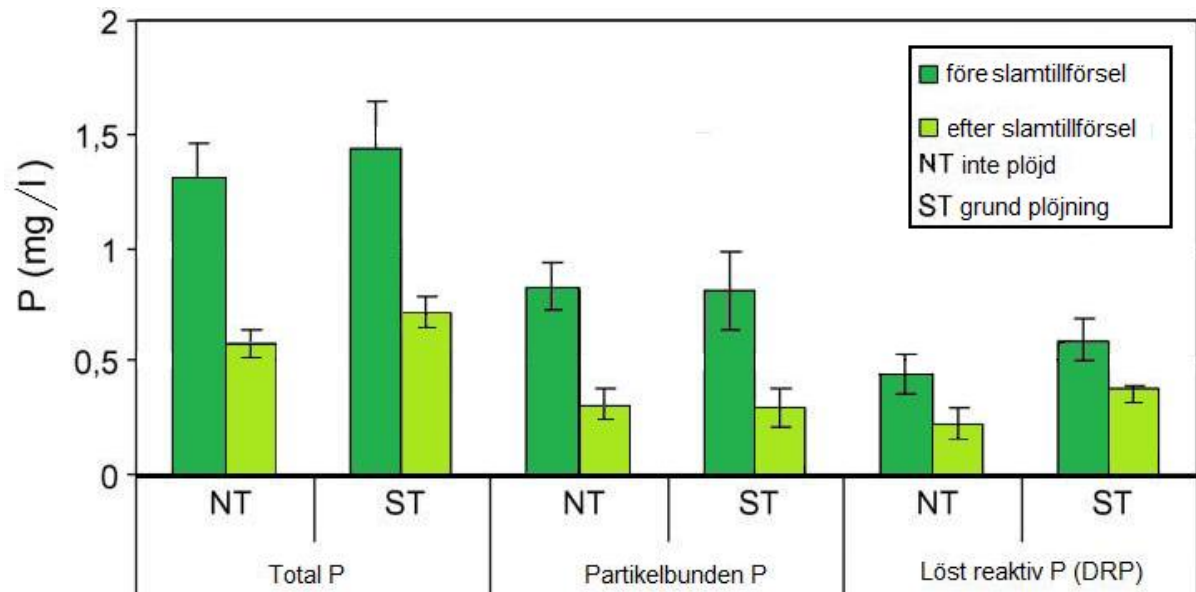
Med eller utan plöjning och kalkning

Ett annat finländskt försök som gjorts är en jämförelse mellan lerjordar med vanlig plöjning respektive ingen plöjning (Muukkonen m.fl., 2009). Hälften var mark som kalkats för sex månader sedan medan andra hälften kalkats för 22 år sedan och därmed räknas som okalkad. Jordmånen för den kalkade jorden var klassad som "Vertic cambisol" enligt FAO med 62 % ler. Den okalkade som enligt FAO klassades som en "Eutric Cambisol" hade 46 % ler. På den nyligen kalkade jorden användes $7 \text{ ton CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ som blandades in i samband med beredning av såbädden. Resultatet visar att de nyligen kalkade jordarna hade lägre förluster av löst reaktiv fosfor (DRP) inom ett 90 % konfidensintervall. I de oplöjda rutorna med kalk samlades DRP i ytlagret medan de kalkade oplöjda rutorna hade en jämn fördelning av DRP i hela profilen. Detta förklaras med att lösligheten för fosfor ökar när kalken höjer pH samt att lågt pH gynnar absorption av fosfor i ytlagret.

Kalkhaltigt slam och reducerad jordbearbetning

I ett senare försök, delvis utfört av samma personer som ovan, undersöktes de mer långsiktiga effekterna av att sprida slam och minimera jordbearbetningen. Samtidigt testades även kortsiktig effekt av att lägga slam på jorden inne i labbet (Muukkonen m.fl., 2009). Det slam som användes kom från en kartongfabrik och innehöll kalk i form av CaCO_3 och organiskt material. I försöket ingick ett fält där hälften behandlades med slam år 2000 och resten användes som kontroll utan slam. Dessutom var fältet indelat i totalt 8 rutor varav fyra bearbetades med grund plöjning och fyra var med direktsådd utan bearbetning. Jorden var enligt FAO en "Vertic Cambisol" och hade en lerhalt på 46 %.

De långsiktiga effekterna som uppmättes 2007, alltså sju år efter slamspridningen, var följande. I den delen som var utan slam blev resultatet att pH ökade neråt i profilen för den delen som inte bearbetades medan den bearbetade delen hade samma pH hela vägen (Muukkonen m.fl., 2009). Mängden kalcium var samma oavsett bearbetning. Övriga iakttagelser var att mängden kalcium var högre i ytan för den delen som fått slam och att den delen åtminstone i ytan hade högre pH. Man kunde däremot inte se någon skillnad i DRP beroende av slamtillförseln. Det fanns heller inga belägg för att slammet eller jordbearbetningen hade någon långsiktig effekt på grumligheten hos marklösningen, mängden löst reaktiv fosfor (DRP) eller partikulärt bunden fosfor (PP).



Figur 5. Mängd fosfor i marklösningen inom ett 95 % konfidensintervall före och efter tillsats av kalkhaltigt slam, efter Muukkonen m.fl. (2009).

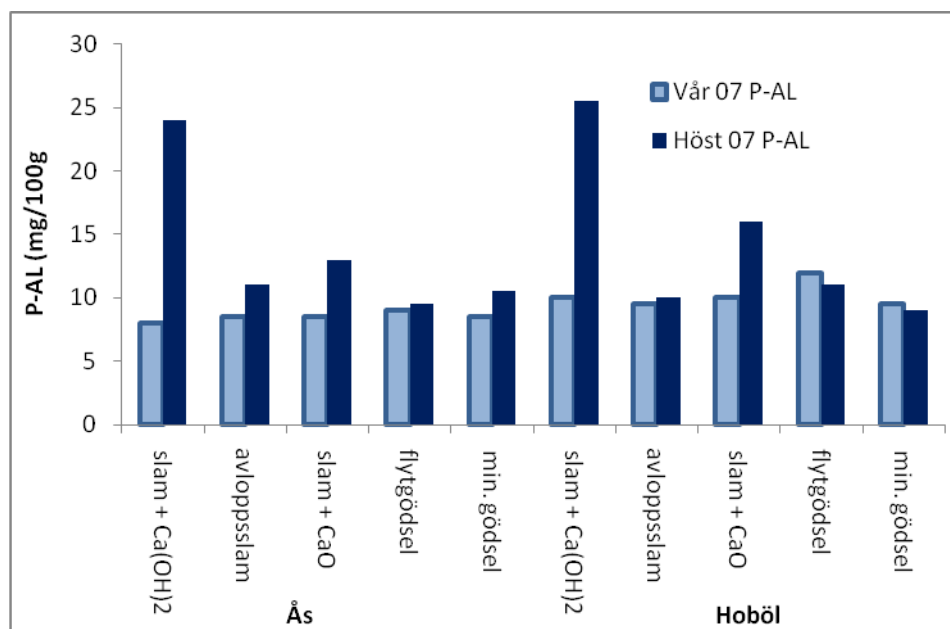
Resultatet av försöket med färsk slam på jord visade på en minskning av DRP, PP och grumlighet hos marklösningen vilket illustreras i figur 5. Detta trodde man kunde bero delvis på rent mekaniskt hinder av att slammet ligger ovanpå jorden och tar emot regnet innan det når jorden. Skillnaden i pH var ej signifikant men eventuellt något lägre av slammet. Jämförelsen mellan år 2000 och 2007 försvåras av att fabriken ändrat sin produktion och att slammet därmed innehöll 10 ggr mindre P och 3 ggr mindre Ca samt hade lägre pH år 2007 jämfört med år 2000.

Kalkbehandlat slam i Norge

I ett norskt fältförsök har man undersökt hur spridning av avloppsslam på åkrar kan påverka miljön (Falk Øgaard m.fl., 2008). Försöket utfördes på två olika lerjordar av typen marin siltig mellanlera med lerhalt på 31 respektive 26 %. Korn odlades på båda platserna, men en av dem var ”bakkeplanert” vilket innebär att man har jämnat ut kuperad åkermark med bulldozer för att få den mer plan så att den kan brukas med traktor (Njøs, 2005). Avloppsslam från tre platser användes och det hade genomgått fällning med kemikalier som oftast innehöll järn och/eller aluminium. Två av slamsorterna hade sedan hygieniserats med kalk, en med släckt kalk($\text{Ca}(\text{OH})_2$) och en med bränd kalk(CaO). Hygieniseringen innebär att bränd kalk tillförs och det startar en släckningsreaktion som avger värme. Värmen tillsammans med pH-ökningen gör att patogener dör. Även släckt kalk kan användas men då uteblir värmeutvecklingen. Förutom avloppsslam fanns även försöksytor behandlade med slam från husdjur i form av flytgödsel samt med vanligt mineralgödsel för att kunna jämföra resultaten.

Fosfor i flytgödseln hade betydligt högre växttillgänglighet än de övriga gödselvarianterna men skillnaden var lite mindre till de kalkbehandlade slamtyperna. De jordar som behandlats med kalkhaltigt slam fick höjt pH till över 7 och mängden växttillgänglig fosfor blev högre jämfört med övriga gödselmetoder vilket syns i figur 6. Dessutom ökade aggregatstabiliteten men det gjorde den även för flytgödseln och tendens fanns även hos den sista slamtypen. Det icke

kalkbehandlade avloppsslammet hade högre järninnehåll än övriga slamtyper och det medförde att mängden vattenlöslig fosfor blev lägre för den delen av försöket. Detta beroende på att fosfor binder hårt till järn medan det i kalkhaltiga jordar förenar sig med kalciumjoner och blir mer lättillgängligt.



Figur 6. Förändring av mängd växttillgänglig fosfor mellan vår och höst 2007. Fyra olika behandlingar på två olika platser, efter Falk Øgaard m.fl. (2008).

Kalkmedel på sura sulfatjordar

Redan 1985 gjordes försök med kalkning på sura jordar i Finland. Laboratorieexperiment utfördes med jordprover från tre bearbetade och tre obrukade sura sulfatjordar med lerhalter mellan 30 och 55 % (Hartikainen, 1985). Kaliumhydroxid (KOH) och släckt kalk (Ca(OH)_2) användes som kalkningsmedel och de gav liknande resultat. Både pH och mängden löslig fosfor ökade av båda kalkningsmedlen men jord som behandlats med släckt kalk gav inte lika stor ökning i löslighet för fosfor. Resultatet förklaras främst som en effekt av höjt pH men även beroende av skillnad i mättnadsgraden av kalciumjoner i jorden. Slutsatsen blev ändå att typen av kalkningsmedel har betydelse för kemisk bindning av fosfor i marken.

Kalkfilterdiken

Då tillgången på forskningsresultat om strukturkalkning och dess effekt på fosforutlakning är liten har även forskning i närliggande områden använts för att kunna dra så korrekta slutsatser som möjligt. Ett närliggande område är kalkfilterdiken där kalk (bränd eller släckt) blandas in i jorden innan återfyllnad vid täckdikning av åkermark. Vid ett försök med kalkfilterdiken i

Västmanland användes 5 % bränd kalk väl inblandad i återfyllningen samt en kontroll med vanliga täckdiken (Lindström & Ulén, 2003). Öppna diken nedanför försöksytan användes för att samla upp och möjliggöra analys av avrinningsvattnet. Ytan var 4 ha lutande mark och jordarten en måttligt mullhaltig styv lera i matjord samt styv lera i alven. Resultaten visade att ytavrinningen minskade kraftigt för kalkfilterdiken medan avrinningen genom dränering ökade dvs. mer vatten infiltrerade i jorden. Den tydligaste skillnaden var att mängden partikelbunden fosfor minskade i ytvattnet jämfört med kontrollen men även totalfosfor och mängd suspenderat material minskade betydligt. Ökad infiltration medförde dock att nitritkväveförlusten ökade så det blev ändå ett näringsläckage från odlingsmarken.

Även i tidigare försök med svenska styva leror (50-80 % ler) och ca 5 % bränd kalk blev genomsläpligheten tydligt bättre av kalken (Eriksson, 1982). Detta beror på förbättrad struktur vilket beskrivits ovan och det ger mindre ytavrinning. Effekten på fosfor har inte behandlats i detta försök, men man kan anta att den skulle vara liknande som föregående eftersom de hänger ihop med kalk som bildar svårslösliga föreningar med fosfor vid högt pH, ökad infiltration och minskad ytavrinning.

Svenskt försök pågår

Vid Bornsjön söder om Stockholm finns sedan 2007 ett försök i samarbete mellan Stockholm vatten och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Där testas olika metoder för att minska fosforutlakning från åkermark (Ulén, B. intervju, 2010). Förutom olika jordbearbetningsmetoder finns även strukturskalkning med som metod.

För varje metod görs fyra replikat bl.a.

för att fånga inomfältvariationen i markens hydrologi. Dräneringsvattnet leds från täckdikning till separata utlopp från varje försöksruta och flödesproportionell provtagning sker automatiskt. Jorden är en styv lera. Enligt Barbro Ulén som är projektledare för försöken och forskare på Institutionen för mark och miljö på SLU har jorden inslag av gyttja i alven vilket är troligt eftersom försöket ligger nära Bornsjön. Gyttjan kan göra att stabila torksprickor uppstår i djupare jordlager (alven) och det ger en snabb transport av vatten från ytan till dräneringsvattnet. Hittills har resultaten visat på en statistiskt signifikant minskning främst för partikelbunden fosfor i de strukturskalkade rutorna (tabell 2). För att få med förändringar i vattnet från ytavrinning krävs en annan typ av försök.

Tabell 2. Resultat av försöken vid Bornsjön, RP = reaktiv fosfor och PP = partikelbunden fosfor, efter Ulén (2007)

| Behandling höst 07 | pH | RP(mg/l) | PP(mg/l) |
|--------------------|-----|----------|----------|
| Plöjning | 7,3 | 0,031 | 0,11 |
| Kultivering | 7,0 | 0,023 | 0,12 |
| Strukturskalkning | 8,5 | 0,020 | 0,06 |
| Höstvete | 6,8 | 0,022 | 0,09 |

Diskussion

Forskningen som hittills gjorts om strukturkalkning som metod för att minska fosforutlakning är inte så omfattande. I Sverige har försök pågått några år men i övrigt har ingen forskning skett om detta i Sverige och på Svenska jordar. Tillgången på material var begränsad och slutsatserna dras delvis med stöd av resultat från närliggande områden såsom försök med kalkfilterdiken. Alla resultat som hittats och redovisas ovan pekar åt samma håll, nämligen att strukturkalk (bränd och släckt kalk) minskar fosforläckage från jordbruksmark. Även då kalken blandas i slam för hygienisering blir det en kalkeffekt. Kalken gör fosfor mer löslig och det kan ju då låta som att den lätt skulle rinna ut, men istället kommer den till nytta som näring. Strukturförbättringen är också av stor betydelse eftersom den största delen av fosforläckaget sker genom partikulärt bunden fosfor som följer med dräneringsvattnet från erosion och liknande.

Eftersom jordarten har stor påverkan på de kemiska och fysiska förhållandena i marken har det stor betydelse för hur fosfor binds och därmed vilken effekt kalken har. I det norska försöket där man på ett fält använt ”bakkeplanering” för att få plan jordbruksmark kan resultaten bli svåra att jämföra med andra platser. Denna metod används sällan utanför Norge och den medför omblandning mellan de olika jordlagren vilket påverkar markens kemiska och fysiska egenskaper. En ökad förekomst av dagmaskar i jorden har tidigare nämnts som en positiv effekt av kalkningen eftersom de bryter ner organiskt material och hjälper till att skapa en bra struktur. Det finns även de som tror att maskgångarna kan medföra ökat läckage för att vattnet kan transporteras snabbt i dessa stora porer (Ulén, 2005). Viken effekt som har störst betydelse för hur fosfor rör sig i marken är oklart, men maskarna trivs i jord med bra struktur och högre pH.

I flera av försöken har organiskt material tillförts samtidigt som kalken t.ex. i slam. Detta gör att man kan anta att en del av den strukturförbättringen som redovisas kan bero på det organiska materialet som också har strukturbildande egenskaper. Även författarna själva påpekar att det kan vara så. Forskningsresultaten som redovisas ovan visar främst effekten något eller några år efter kalkning och därmed främst kortsiktiga effekter. Man har tidigare sett att strukturförbättringen som kommer av kalkningen kan bestå i över 10 år, däremot är det oklart hur länge det minskar läckaget av fosfor.

Med hjälp av de LOVA stöd som finns idag har man på flera platser i Sverige börjat strukturkalka för att minska fosforutlakningen. Tyvärr finns ingen uppföljning som visar om dessa åtgärder har förväntad effekt. Man ger alltså ut pengar utan att veta säkert om de gör nytta. Man grundar sig på de försök som gjorts i Finland samt på försöken vid Bornsjön som ännu inte avslutats. Enligt denna litteraturstudie har kalkningen positiv effekt men det vore intressant att mäta på plats för att se hur stor skillnaden blir.

I Bornsjöförsöket analyseras enbart dräneringsvattnet och därmed främst påverkan från strukturförbättringen. För att få veta mer om påverkan på den lösta reaktiva fosfor krävs andra typer av försök med mer inriktning på de kemiska förändringarna som kalken åstadkommer och där även ytavrinning tas med. Dessutom är det osäkert om ett eventuellt

inslag av gyttja i alven har påverkat resultaten. Kanske skulle mängden fosfor minska ännu mer om det inte var gyttja eftersom gyttjan kan ge stora sprickor och därmed snabbt flöde som gör att fosfor inte hinner bindas i jorden. För att få säkrare resultat om strukturkalkens inverkan på fosforutlakning i Sverige krävs mer forskning. Enligt Barbro Ulén har det utförts försök i Ryssland som skulle kunna vara intressanta eftersom de jordarna ofta liknar de svenska jordarna. Det kan vara svårt att få tag på material därifrån och det är osäkert om de har tagit med miljöaspekter i analyserna. Eventuellt kan det också finnas någon ytterligare relevant information om kalkens egenskaper i Lennart Matssons sammanställning om olika kalkformer som ännu inte getts ut. Dessutom är det inte säkert att jag hittat all forskning som gjorts inom området.

Kalk i olika former har många användningsområden och kalkningen har därmed ofta flera syften såsom att stabilisera jorden, höja pH och att göra näringen mer växttillgänglig. Förutom detta används kalken för hygienisering av avloppsslam vilket nämnts ovan. Ett annat stort användningsområde för kalken är vägbyggen där möjligheten att stabilisera jord med kalk används ofta (Assarson, 1977). Det finns mycket försök som inte togs med för att man använt kalkstensmjöl som inte har samma effekt på struktur och kemisk bindning av fosfor på grund av den låga lösligheten för kalciumjonerna.

Ovan kan man se att det är viktigt för resultatet att använda rätt typ av kalk och att kalkstensmjölet som ofta är billigt ger mycket liten effekt på markens struktur. Om man ska välja bränd eller släckt kalk beror på hur blöt jorden är, men båda ger bättre struktur och minskad förlust av fosfor. En typ av förening som innehåller kalciumjoner men som inte nämnts ovan är kalciumsulfat/gips (CaSO_4) som också kan förbättra strukturen. Anledningen till att det inte funnits med i försöken beror antagligen på att det inte höjer pH. Det gör att det blir opraktiskt att använda på de svenska jordarna som ofta är sura eftersom det då krävs ett annat medel också för att även höja pH. Den kemiska bindningen mellan kalciumjonerna och fosfor är beroende av att pH förändras och det gör att gips inte kan hindra utlakning av fosfor på det sätt som bränd och släckt kalk gör.

Slutsatser

Trots begränsad mängd material har det ändå gått att dra slutsatser eftersom resultaten och försöken liknar varandra. Slutsatserna som kan dras utifrån denna litteraturstudie är att strukturkalkning ger bättre struktur och mer växttillgänglig fosfor. Troligtvis minskar detta utlakningen av fosfor i olika former och är en bra metod för att minska övergödning. Dessutom är det tydligt att de långsiktiga effekterna inte har studerats tillräckligt. Det behövs mer forskning för att se om fosforutlakningen påverkas under lång tid på samma sätt som strukturen. Det behövs även mer forskning på svenska jordar eftersom markens egenskaper bl.a. är beroende av lerhalt och jordart. Ett alternativ kunde varit att göra mätningar före och efter den strukturkalkning som redan görs av lantbrukare på flera håll. Vid försöken vid Bornsjön analyseras enbart dräneringsvattnet så det krävs en annan typ av försök för att även få med avrinningsvatten. Strukturkalkning kan alltså hjälpa till att hålla fosfor kvar i jorden så att den kommer till nytta i växterna.

Referenser

- Alakukku, L. & Aura, E. (2006). Zero Tillage and Surface Layer Liming Promising Technique to Reduce Clay Soil Erosion and Phosphorus Loading. *ASABE Annual International Meeting*, Portland, Oregon July 9-12 2006. Paper Number: 062191
- Assarson, K. G. (1977) Stabilisering och jordmaterialförbättring med kalk. *Kurs i jordstabilisering med cement och kalk*, s7. Cementa AB.
- Berglund, G. (1971). Kalkens inverkan på jordens struktur. *Grundförbättring* 1971:2. 81-84.
- Berglund, K & Blomquist, J. (2002). 4.2.1. Effekter av strukturkalkning på skörd och markstruktur I: *4T Tillväxt Till Tio Ton (4T The Ten Ton Target)*. Slutrapport. Kap 4.2.1, 14-15. (<http://4t.sockerbetor.nu/readmore.asp?id=99>)
- Bergström, L., Linder, J. & Andersson, R. (2008). *Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet*. Jönköping. Jordbruksverket i samarbete med SLU. JO08:27. ISSN 1102-8025
- Djordjic, F. (2001). Lerjord läcker mycket fosfor- utlakning från enskilda fält. *FAKTA jordbruk*. 13:2001. Sveriges lantbruksuniversitet
- Eriksson, J. (1982). *A field method to check subsurfac drainage efficiency*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, (Inst. för markvetenskap. Avd. lantbrukets hydroteknik). Rapport 128, 20-21. ISBN: 91-576-1414-8
- Eriksson J. m.fl.(2005). Wiklanders Marklära. s.31, 230-231. Lund: Studentlitteratur. ISBN 978-91-44- 02482-0
- Falk Øgaard, A., Grønsten, H. A., Sveistrup, T. E., Bøen, A., Kværnø, S. H. & Haraldsen, T. K. (2008). *Potentielle miljøeffekter av å tilføre avløpsslam til jordbruksarealer – Resultater fra to feltforsøk i korn, 1. forsøksår 2007*. Ås. Bioforsk jord og miljø. Bioforsk Rapport Vol. 3, 59:2008. ISBN: 978-82-17-00358-8
- Hartikainen, H. (1985) Response of acid sulphate soils to different liming treatments I. Solubility of sulphate and phosphate. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 148, 511-518.
- Lindström, J. & Ulén, B. (2003). Effekt av kalk i täckdikesåterfyllningen på fosforförluster från jordbruksmark. *Avdelningen för hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet*. Slutrapport till Jordbruksverket
- Miljödepartementet (2009). Förordning om statligt stöd till lokala vattenvårdsprojekt. (SFS 2009:381)
- Miljömålsrådet (2009). Miljömålen i halvtid. *De Facto 2009*. ISBN 978-91-620-1272-4
- Muukkonen, P., Hartikainen, H. & Alakukku, L. (2009) Boardmill sludge reduces phosphorus losses from conservation-tilled clay soil. *Soil & Tillage Research* 104, 285-291.
- Njøs, A. (2005). *Nydyrking og grunnforbedring i Norge, Noen tall for belysning av utviklingen*. Jordforsk rapport nr 94, 35-37

Ulén, B. (2002). Svävande lerpartiklar för fosfor till havet. *Fakta Jordbruk* 6: 2002. Sveriges lantbruksuniversitet

Ulén, B. (2005). *Fosforförluster från mark till vatten - Identifikation av kritiska källor och möjliga motåtgärder*. Stockholm. Naturvårdsverket. Rapport 5507. ISBN 91-620-5507-0

Wilander, A. & Fölster, J. (2007). *Sjöinventeringen 2005, En synoptisk vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar*. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för Miljöanalys. Rapport 2007:16, 47.

Hemsidor

Jordbruksverkets hemsida, (2010). *EU-länderna samarbetar kring vattenfrågor* [online] Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoochklimat/vatten/vattendirektivet> [2010-05-02]

Miljömålsrådets hemsida, (2010). Miljömålsportalen. [online] Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/7-Ingen-overgodning/> [2010-05-02]

Naturvårdsverkets hemsida, (2010) :

- I. *Kraftfulla åtgärder krävs för att rädda Östersjön* [online] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Arbete-med-naturvard/Satsning-pa-havsmiljo/Internationellt-arbete/Gemensam-aktionsplan-for-Ostersjon--/Kraftfulla-atgarder-kravs-for-att-radda-Ostersjon/> [2010-04-29]
- II. *Uppdrag: Rädda Östersjön*. [online] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Nedre-meny/Nyheter/Uppdrag-Radda-Ostersjon/> [2010-05-02]

Intervju

Ulén, Barbro, (2010). Forskare, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Mark och miljö. Uppsala. Enskild intervju 2010-04-27.