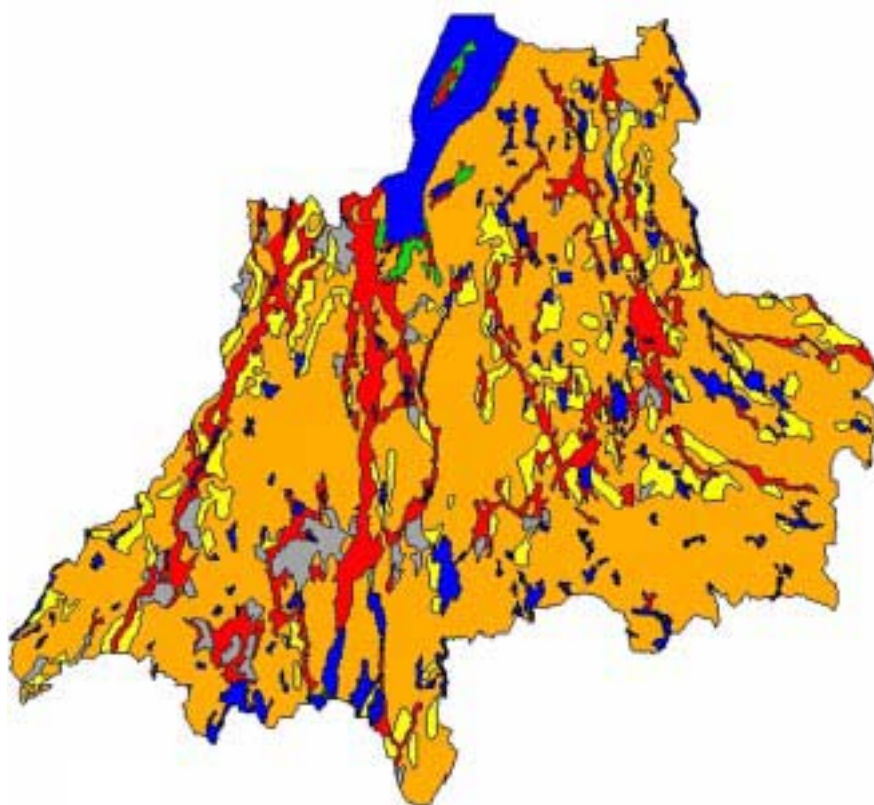


RAPPORT  
9  
1997

# GIS-METODIK FÖR KARTLÄGGNING AV MARKFÖRSURNING

*En pilotstudie i Jönköpings län*



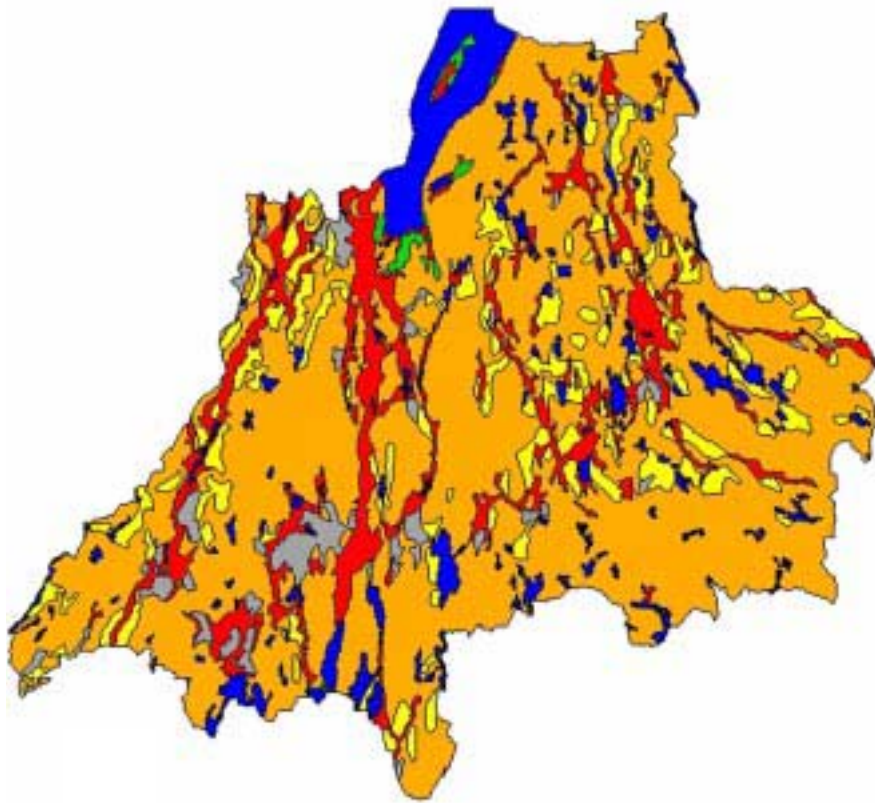
*av Cecilia Akselsson*



Skogsstyrelsen

# GIS-METODIK FÖR KARTLÄGGNING AV MARKFÖRSURNING

*En pilotstudie i Jönköpings län*



*av Cecilia Akselsson*

© Skogsstyrelsen VIII 97

**Författare**

*Cecilia Axelson*

**Papper**

*Wifsta Office Classic 304 016*

**Tryck**

*SJV, Jönköping*

**Upplaga**

200 ex

ISSN 1100-0295

BEST NR 1643

Skogsstyrelsens förlag

551 83 Jönköping

## Förord

Skogsstyrelsen driver sedan 1989 på regeringens uppdrag en försöksverksamhet med kalkning och vitaliseringsgödsling av skogsmark. Syftet med verksamheten är att förbereda för ett operativt åtgärdsprogram. En av de viktiga frågorna inom försöksverksamheten har varit att ta fram metoder för att kartlägga behov av åtgärder. Denna typ av kartläggning utgör viktigt underlagsmaterial vid prioritering och planering av kalknings- och vitaliseringsinsatser.

I denna rapport presenteras två metoder som utvecklats för att på regional nivå bedömma behov och prioritera. Projektet har genomförts i samarbete med Länsstyrelsen i Jönköpings län och med IVL. Arbetet i projektet har utförts av Cecilia Akselsson som också författat rapporten.

Jönköping i juni 1997

Martin Lindell

Mikael Axelsson

## Sammanfattning

Sedan mitten på 70-talet har skogsskador, som inte direkt kunnat relateras till någon naturlig förklaring, börjat uppträda på barrskog i södra Sverige. Troligt är att den ökade markförsurningen, som orsakas av nedfall av främst svavel, men även kväve, är en av huvudorsakerna till dessa skador. Med detta som bakgrund förespråkar Skogsstyrelsen åtgärder, i form av kalkning och vitaliseringsgödning av skogsmark.

Det första steget vid planering av dessa åtgärder är att kartlägga vilka områden som är aktuella. Lämpligt är att utföra kartläggningen på tre nivåer, nationell, regional och lokal nivå. I denna studie testades två olika metoder för kartläggning av försurningsstatusen på regional nivå. Geografiska Informationssystem, GIS, användes som verktyg för kartläggningen och Jönköpings län användes som försöksområde.

Vid den första kartläggningen togs markens buffringskapacitet fram med hjälp av geologiska kartor. Svaveldepositionen i länet interpolerades utifrån 21 depositions-mätningar. Genom att subtrahera svaveldepositionen med buffringskapaciteten erhöles överskridandet av den bedömda buffringskapaciteten med avseende på svavel. Enligt denna kartläggning överskrider buffringskapaciteten i 80 % av länet.

Vid den andra kartläggningen användes pH-mätningar från sjöar och vattendrag. pH-mätningar från små sjöar och vattendrag långt upp i avrinningsområdena användes där sådana fanns tillgängliga. I övrigt användes pH-mätningar som inte valts ut enligt ovannämnda kriterier. Länet delades i fyra pH-klasser genom att avrinningsområdena tilldelades samma pH-klass som de pH-punkter som inneslöts.

De båda kartläggningarna visar på samma trend, med sämst förhållanden i väst-sydväst och bäst i öst. Denna trend beror dels på att depositionen av svavel ökar mot sydväst, dels på att buffringskapaciteten hos berggrunden är lägre i västra delen av länet än i östra. Området öster om Vättern skiljer sig däremot åt markant i de båda kartläggningarna. Kartläggningen baserad på geologi och deposition visar på ett högt överskridande medan samma område tillhör högsta pH-klassen i kartläggningen som grundas på pH-mätningar i sjöar och vattendrag. En förklaring till denna skillnad kan vara att området täcks av en kalkrik morän, från kalkberggrunden i Östergötland.

Data från ståndortskarтерingen, i form av pH-värden och totalhalter av baskatjoner från C-horisonten, användes som jämförelsematerial. Ett samband fanns mellan textur och baskatjonhalt, med låga baskatjonhalter på grovkorniga jordar. Denna typ av information kan vara användbar vid bedömning av olika geologiska faktorer relativa betydelse för markförsurningen, men då krävs ett betydligt tätare nät av mätpunkter än ståndortskarтерingen.

Båda metoderna för kartläggning av markens försurningsstatus bör kunna användas för att ge en översiktlig bild av försurnings-situationen i länet. Av största vikt är att minska osäkerheten för buffringskapaciteten, samt att för alla avrinningsområden ta fram pH-mätningar från sjöar och vattendrag som på ett bra sätt avspeglar markförhållandena i avrinningsområdet. GIS har visat sig vara ett mycket bra verktyg för denna typ av kartläggningar.

# 1. Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Försurning av mark och vattendrag är ett av våra mest akuta miljöhot. Svavelnedfall är den största orsaken till den ökade markförsurningen i Sverige, men även kvävenedfall är av betydelse (Lövblad *et al*, 1995). Effekterna av markförsurningen är inte helt kända, men under de senaste decennierna har skogskador, som inte kunnat relateras direkt till någon "naturlig" förändring, t ex ogynnsamma klimatförhållanden, uppmärksamats (Sveriges Nationalatlas, 1991). Markförsurningen har angetts som möjlig orsak, men det förekommer många olika teorier som förklarar uppkomsten av skogsskadorna. Det troliga är att markförsurningen samverkar med ett flertal olika faktorer och ger upphov till s k "multipla stressfenomen" (Nihlgård, 1996).

På senare år har det diskuterats mycket huruvida åtgärder, utöver utsläppsminskningar, ska sättas in för att förhindra eventuella negativa effekter på skogen. Det handlar då om kalkning och vitaliseringsgödning. Skogsmarkskalkning har de positiva effekterna att förrådet av baskatjoner fylls på, buffringkapaciteten höjs och en pH-sänkning motverkas. Omfattningen av bieffekterna är omtvistad, men de flesta är överens om att kalkning i de små doserna det handlar om, 3 ton/ha, inte påverkar ekosystemet negativt i någon nämnvärd utsträckning. Vad gäller vitaliseringsgödning, dvs tillsatser av baskatjoner, är det mer osäkert. Inom detta område behövs mer forskning.

För att kunna bedriva kalknings- och vitaliseringsverksamhet behövs en kartläggning över vilka områden som är aktuella. På Skogsstyrelsen försöker man arbeta efter ett system med tre nivåer på kartläggningen, nationell, regional och lokal nivå (Lindström *et al*, 1993). Vid den nationella karteringen räcker det med att använda sig av de depositionsdata som finns, för att ta fram riskområdena. Kartläggningen på regional nivå syftar till att ta fram de delar av ett län för vilka en slutgiltig kartläggning av åtgärdsbehovet är aktuell. I denna skala är det viktigt att utöver depositionen även ta hänsyn till skillnader i markens känslighet. Vid karteringen på lokal nivå, som ska utgöra underlag för den praktiska åtgärdsverksamheten, måste även faktorer som beståndens egenskaper, hydrologiska förhållanden, mm tas med i beräkningarna. På denna nivå är fältmätningar och kontroller i större eller mindre utsträckning nödvändiga.

Det finns flera metoder för att kartlägga markförsurningsstatusen för att bedöma åtgärdsbehovet i ett område. Det går att skilja på tre olika angreppssätt, direkta metoder där man använder sig av uppmätta fältdata, t ex pH-värden, indirekta metoder, som grundas på olika former av indirekt information om försurningsläget, t ex markens motståndskraft mot försurning och modellmetoder där man använder sig av modeller baserade på teoretiska samband.

Mätningar av t ex pH och basmättnad ger information som gäller just för mätpunkten, men då dessa parametrar varierar mycket i lokal skala krävs ett mycket tätt nät av mätningar för att det ska vara möjligt att säga något om de regionala variationerna. Dessutom ger mätningarna bara ett momentant värde, och säger inget om utgångsläget och förändringstakten.

Problemet med modellmetoderna är att de kräver mycket indata, ofta indata som är mycket svåra att mäta med god noggrannhet. För att kunna använda sådana metoder krävs förbättrade modeller, fler fältmätningar samt ökad kunskap om felfortplantning. Då många olika indata

används i en modell, alla med ett större eller mindre fel, kan felet i slutändan bli så stort att resultatet är oanvändbart.

De indirekta metoderna har nackdelen att de inte har en lika bra teoretisk bakgrund som modellerna, och att resultaten oftast är svåra att ange i en användbar enhet. Resultaten kan därför behöva kalibreras mot fältdata för att kunna relateras till någon användbar måttenhet på försurningsläget. En fördel är att det är lättare att följa beräkningarna och att man därför har bättre kontroll över de ingående parametrarna och resultaten. Alla typer av metoder kräver någon form av utvärdering innan de kan användas i större skala.

## 1.2 Syfte

Det övergripande syftet med denna studie är att utveckla en metod för kartläggning av markförsurning på regional nivå. Studien kan delas in i tre delar:

- Kartläggning av markförsurning i Jönköpings län baserad på geologisk information och mätningar av svavelnedfall.
- Kartläggning av markförsurning i Jönköpings län grundad på pH-mätningar från sjöar och vattendrag.
- Jämförelser mellan de båda kartläggningarna och markkemiska data från ståndortskarteringen.

Arbetet är i första hand en metodstudie, där Geografiska Informationssystem, GIS, spelar en central roll.

## 1.3 Markförhållanden och deposition i Jönköpings län

Berggrunden i Jönköpings län består i stora drag av gnejs i väster och granit i öster. Gnejs- och granitområdena skiljs åt av en stor förkastningszon, Protoginzonen, som sträcker sig från Skåne i söder till Värmland i norr.

De sura bergarterna dominerar stort, men i öster finns områden med diorit, gabbro och metabasit. I väster finns spridda metabasitområden med mycket begränsad utbredning. Kalkberggrund ingår i Almesåkrgruppen men förekommer endast mycket lokalt. Den norra delen av länet kan ha en förhöjd kalkhalt i moränen som härstammar från kalkberggrunden i Östergötland, vilket floran indikerar (Sveriges Nationalatlas, 1990).

Länet täcks av ett moräntäcke vars tjocklek oftast underskrider 3 meter. Sand och grus i form av isälvsavlagringar förekommer bl a i Nissans och Lagans dalgångar. Små områden med lera finns runt Vätterns sydspets samt på större delen av Visingsö. Länet domineras kraftigt av skogsmark. De största ytorna med jordbruksmark är belägna i nordöstra delen samt längs de större årnas dalgångar (Sveriges Nationalatlas, 1992).

Depositionen i Jönköpings län är högst i sydväst och minskar mot nordöst, främst p g a de sydvästliga vindarna. Historiskt sett är större delen av svavelnedfallet importerat från mellaneuropa, med Tyskland och Storbritannien i spetsen (SNV, 1981), p g a de höga utsläppen i dessa länder i kombination med den rådande sydvästliga vindriktningen. På senare år har andelen importerat svavel och kväve från östeuropa ökat.

## 1.4 Vad är GIS?

Geografiska Informationssystem, GIS, är ett datoriserat system för hantering av geografisk information. Med hjälp av GIS är det möjligt att utifrån digitala kartor med olika typer av information ta fram ny geografisk information. Exempelvis kan en jordartskarta, en berggrundskarta och en topografisk karta över ett område läggas ihop och ge en karta över markens buffringskapacitet i området, förutsatt att kunskap finns om de olika faktorernas relativa betydelse för buffringskapaciteten.

“Overlay-operationer” av denna typ, där olika indatalager läggs ihop för att skapa ett utdatalager, är mycket tidskrävande att göra utan GIS. Andra fördelar är att de digitala kartorna i ett GIS är kopplade till ett koordinatsystem, vilket gör det enkelt att räkna på avstånd och ytor. Även de inbördes förhållandena mellan olika objekt på de digitala kartorna är kända, och det är därför möjligt t ex att utifrån en ekonomisk karta i digitalt format identifiera vägpartier som omges av skogsmark. Användandet av digitala kartor är effektivt för att jämföra olika geografiska data och få en överblick över befintlig information. Klassgränser kan lätt ändras, och klasser kan slås ihop.

Digitala geografiska data kan hanteras antingen i vektor- eller i rasterformat. En karta i vektorformat kan vara uppbyggd av polygoner, linjer och punkter. Koordinaterna är kända för varje punkt samt för varje startpunkt, brytpunkt och slutpunkt på en linje.

En karta i rasterformat består av pixlar, d v s rutor av önskad storlek. Varje pixel har ett värde som t ex kan motsvara en bergart på en geologisk karta eller ett höjdvärde på en digital höjdmodell.

Resultatet av en GIS-analys kan givetvis aldrig bli bättre än de indata och kriterier som används för att sammanväga olika typer av information. Detta kan låta som en självklarhet men kan lätt glömmas bort.



## 2. Kartläggning baserad på geologisk information och depositionsdata

### 2.1 Bakgrund

Markförsurning i skogsmark är till viss del en naturlig process, som beror bl a på att växtrötterna avger vätejoner, som kompensation för laddningsöverskottet som uppstår vid upptag av positiva joner. De senaste decenniernas ökade försurning beror emellertid på antropogen påverkan, i form av utsläpp av bl a svavel och kväve.

Försurningsstatusen i marken styrs främst av depositionen av försurande ämnen och markens förmåga att buffra mot försurningen. Depositionsdata och geologiska kartor kan, tillsammans med kunskap om olika marktypers buffringskapacitet, stoppas in i ett Geografiskt Informationssystem, för att producera en karta som visar var depositionen överskrider buffringskapaciteten, samt hur mycket. En sådan karta kan utgöra ett bra underlag för planering av kalknings- och vitaliseringsinsatser.

#### 2.1.1 Deposition

I Sverige utgörs merparten av det försurande nedfallet av svavel, men även kväve är av betydelse (Lövsblad *et al*, 1995). Depositionen kan delas in i våt- och torrdeposition. Våtdepositionen når marken via nederbörden, och dess storlek beror därför på nederbördens storlek och halten svavel och kväve i vattnet. Torrdepositionen däremot transporteras med vinden tills den fastnar på en yta, t ex ett träd. Dess omfattning beror på halten i luften samt "ytans skrovlighet", som bestäms av faktorer som t ex topografi och markanvändning. Andelen torrdeposition på en åker är betydligt mindre än i en skog, och en granskog filtrerar luften mer effektivt än en lövskog och får därmed ta emot mer torrdeposition. Depositionen kan som framgår av diskussionen ovan variera mycket på korta avstånd, bl a beroende på markanvändning.

#### 2.1.2 Markens buffringskapacitet

Basketjonvittringen styr markens förmåga att buffra mot försurning och den beror på en rad olika faktorer såsom:

- geologi (jordens geokemiska och fysikaliska sammansättning)
- topografi och hydrologi
- ackumulerad deposition
- beståndsegenskaper (träslag, ålder, mm)

*Ursprungsmaterialets (bergarternas/moränens) innehåll av basketjonerna kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K) samt dess vittringsbenägenhet är avgörande för markens buffringskapacitet. Kalkberggrund är lättvittrad och innehåller stora mängder kalcium, och ger därför upphov till jordar med hög buffringskapacitet. Sura vulkaniter och sandsten är däremot svårvittrade och näringsfattiga, och de jordar som bildas då dessa bergarter vittrar är därför extremt känsliga för försurning.*

*Texturen (kornstorleken) i jorden, samt jordtäckets tjocklek är också av stor betydelse. Grovkorniga jordar, t ex isälvsavlagringar, släpper lätt igenom vatten och utlakas därför snabbt på näringsämnen, medan lera däremot håller kvar vattnet. De långa kontakttiderna och de stora*

kontaktytorna i det finkorniga materialet gör att vittringen går snabbare. Ett tunt jordtäckte utlakas snabbare än ett tjockt och buffrar därmed sämre mot försurning.

En annan viktig faktor är *de hydrologiska förhållandena*. Vittringen, och därmed också buffringskapaciteten, främjas av en långsam vattengenomströmning. I flacka områden med låg nederbörd är vattengenomströmningen långsam, vilket leder till hög buffringskapacitet (Elvingson, 1992).

En faktor som är svår att komma åt utan fältmätningar är den *ackumulerade depositionen*. Två områden med liknande geologiska och hydrologiska förhållanden kan vara olika känsliga för försurning beroende på hur mycket försurande deposition de utsatts för. Många års deposition kan ha utlakat en jord, medan en annan jord med samma ursprung är oförändrad och därför klarar framtida syrabelastning bättre.

Slutligen har givetvis *beståndets egenskaper* stor betydelse. Skillnaden mellan löv- och barrskog har visat sig vara nästan helt avgörande för om den kritiska belastningsgränsen för aciditet, som kortfattat kan förklaras som den högsta depositionen av försurande ämnen som marken tål, överskrids eller underskrids, enligt en undersökning i Skåne (Lejonklev, 1996). Gränsen överskrids för all granskog i undersökningsområdet, men endast för en liten del av lövskogen. Även faktorer som ålder, bonitet, skogsbruksmetoder och avstånd från skogsbryn har stor betydelse.

Det är svårt att veta vilken relativ betydelse de olika faktorerna har. På det här området pågår mycket forskning (bl a Lång, 1995). Fältmätningar är nödvändiga för att bestämma sambanden. Det kan dock räcka med att göra fältmätningar på mycket begränsade områden, för att kalibrera, och sedan applicera sambanden på större områden.

### 2.1.3 Överskridande av markens buffringskapacitet

Försurningsstatusen i marken styrs av ett flertal olika faktorer. Utöver deposition av försurande ämnen och baskatjonvittring är även deposition av ämnen som motverkar försurning, vegetationens näringsupptag, kväveomvandlingsprocesser och utlakning av betydelse. De försurande processerna kan i en massbalans vägas mot dem som motverkar försurningen. En starkt förenklad massbalans erhålls genom att enbart ta med deposition av försurande ämnen och baskatjonvittring. Baskatjonvittringen motsvarar i denna förenklade massbalans markens buffringskapacitet och då den subtraheras från depositionen fås ett mått på överskridandet av markens buffringskapacitet. Ett positivt värde anger att buffringskapaciteten överskrids medan ett negativt värde pekar på att buffringskapaciteten underskrids. Resultatet kan användas som ett mått på markens försurningsstatus.

Genom att sätta en gräns, på högsta tillåtna överskridandet, kan man kartlägga områden aktuella för åtgärder. Denna kartläggning kan användas som underlag för den vidare kartläggningen på lokal nivå. Användandet av GIS gör det mycket enkelt att räkna på ytor och kostnader.

## 2.2 Material och metoder

### 2.2.1 Material

Det material som användes var:

#### Kartmaterial och punktmätningar:

- Berggrundskarta över Jönköpings län, skala 1:250 000 (SGU, Ser Ah nr 11).
- Detaljerad karta över berggrunden vid Vätterns sydspets (Geijer, 1951).
- Karta över känslighet för infiltration av föroreningar i Jönköpings län, skala 1:250 000 (SGU, Ser Ah nr 11).
- Röda kartan över Jönköpings län i digitalt vektorformat (Lantmäteriverket).
- Svaveldepositionsdata från 1991-1995, (9 punkter från Jönköpings län samt 12 punkter från omgivande län, bilaga 4) (IVL, 1996).
- pH och totalhalter av Ca, Mg och K (%) från ståndortskarтерingen (SLU). Proverna är tagna i C-horizonten (50 cm). I bilaga 7-8 visas pH (bilaga 7) och Ca-halt (bilaga 8) på ståndortskarтерingens mätpunkter i länet och dess närmaste omgivningar.

#### Programvara:

- ArcInfo 6.0
- ArcView 3.0 (Prerelease)
- Excel 7.0

#### Övrigt:

- Digitaliseringbord: Altek AC32

### 2.2.2 Metoder

Det första steget var att kartlägga buffringskapaciteten på länsnivå utifrån geologiska data. Beräkningarna baserades enbart på markens buffringskapacitet med avseende på svavel, och angavs i enheten kg S/ha/år. Buffringskapaciteten subtraherades från svaveldepositionen (kg S/ha/år), vilket gav ett mått på överskridandet av buffringskapaciteten. All geografisk information behandlades i digitalt format med hjälp av GIS.

#### **2.2.2.1 Buffringskapacitet med avseende på jordens geokemiska sammansättning**

Buffringskapaciteten i jorden beror på ursprungsmaterialets:

- vittringsbenägenhet
- innehåll av baskatjoner

I större delen av Jönköpings län utgörs ursprungsmaterialet av morän. Dess geokemiska sammansättning är avgörande för jordens buffringskapacitet.

Moränens geokemiska sammansättning är svår att kartlägga. 69 punkter, med bl a pH-värden och Ca-, K- och Mg-halter (%) från 50 cm djup finns från ståndortskarтерingen i Jönköpings län. Baskatjonhalterna avser det totala elementinnehållet i proverna, inte bara den utbytbara delen. Detta begränsar användbarheten, då det är den utbytbara delen som är avgörande för buffringskapaciteten, men mätvärdena kan i viss mån användas för att ge en bild av moränens geokemiska sammansättning. Det är dock för få punkter för att kunna ge en heltäckande bild som

kan användas som ett indatalager i kartläggningen av markens buffringskapacitet, eftersom pH och baskatjonhalt uppvisar mycket stora lokala variationer bl a p g a varierande topografi, hydrologi och trädslag. Dessa lokala variationer kan överskrida den regionala trenden, vilket innebär att ett mycket tätt nät av mätningar krävs för att kunna ge en pålitlig heltäckande bild. Bilaga 7 ger en överblick över pH-värdena från ståndortskarтерingen i länet och dess närmaste omgivningar. Bilaga 8 visar Ca-halten i samma område, och mönstret i denna bild är mycket likt mönstret för baskatjonhalten. Texturkartan har använts som bakgrund i bilaga 8.

I brist på användbara geokemiska data från moränen användes i stället indirekt information, i form av berggrundskartor, för att kartlägga buffringskapaciteten. Vid detta tillvägagångssätt antogs berggrunden avspegla moränens geokemiska sammansättning. Detta kan anses berättigat i en grovskalig länskarтерing eftersom moränens sammansättning ofta är nära förknippad med underliggande bergart, p g a att en stor del av moränen har lokalt ursprung (Melkerud *et al*, 1992).

För att klassificera berggrundens buffringskapacitet användes en femgradig skala, med ökande buffringskapacitet nedåt (Minell, 1992):

1. Kvartsiter och sura vulkaniter
2. Graniter och gnejser i allmänhet
3. Ca-rika graniter, skifferar och gnejser
4. Ca- och Mg-rika lättvittrade basiska bergarter
5. Kalksten

Att föra in de olika bergarterna i buffringskapacitetsklasser innebär en del svårigheter. I verkligheten är skalan glidande och det är inte alltid självklart var gränserna ska dras. En länskarta över berggrunden i skala 1:250000 användes (SGU, Ser Ah nr 11), förutom i området vid Vätterns sydspets, där en karta i större skala användes (Geijer, 1951).

På berggrundskartan finns en klass som kallas vulkanit, där ingen vidare uppdelning är gjord. Merparten är dock sur (Sveriges Nationalatlas, 1994) och tillhör därför klass 1. Vulkaniten vid sjön Nömmen är basisk (egna fältstudier) och fick därför klasstillhörighet 4.

Visingsögruppen och Almesåkrgruppen innehåller många olika slags sedimentära bergarter. Almesåkrgruppen innehåller mestadels sandsten, konglomerat och skiffer, och endast ytterst lite kalk och fick därför klasstillhörighet 1. Visingsöformationen består främst av sandsten kring Vätterns södra spets, men på västra Visingsö och längs Vätterns västra kust i höjd med Visingsö utgörs berggrunden av kalkhaltig skiffer (Geijer *et al*, 1951), som tillhör klass 3.

Bergarterna i Jönköpings län delades in i klasserna 1-5 ovan. Bergartsindelningen presenteras på följande sida.

### 1. Kvartsiter och sura vulkaniter:

- Almesåkrgruppen
- Yngre vulkanit, vanligen sur
- Metasediment i allmänhet
- Visingsögruppen förutom skifferområdena
- Ytbergartsgnejs
- Sur vulkanit

### 2. Graniter och gnejser i allmänhet:

- Röda-rödgrå, ådrade och ibland ögonförande gnejser bildade ur magmatiska djupbergarter (ortognejser)
- Grå, oftast ådrade, homogena eller bandade gnejser bildade ur magmatiska djupbergarter (ortognejser)
- Grå till röda medelkorniga graniter
- Yngre ögonförande granit
- Yngre granit och kvartssyenit

### 3. Ca-rika graniter, skiffrar och gnejser:

- Yngre kvartsmonzonit, mörk granodiorit och kvartsmonzodiorit
- Äldre granit, granodiorit och tonalit, ofta gnejsiga
- Yngre syenit
- Visingsögruppen, skifferområdena

### 4. Ca-Mg-rika lättvittrade basiska bergarter

- Diabas
- Diorit och gabbro
- Metabasit och basisk vulkanit vid sjön Nömmen

### 5. Kalksten

Ingen bergart placerades i denna klass. I Almesåkrgruppen finns visserligen mindre områden med kalksten, men dessa generaliserades bort då det handlar om ytterst små partier.

Berggrundskartan digitaliserades i klass 1-4 i ArcInfo. Områden mindre än 4 km<sup>2</sup> generaliserades bort.

I tabell 1 kopplas de olika berggrundsklasserna till den kritiska belastningen för svavel på skogsjordar (0-50 cm) (Nilsson och Grennfelt, 1988). Kritisk belastning är den högsta deposition marken kan ta emot utan att det leder till långsiktiga skador på ekosystemet (Nilsson och Grennfelt, 1988). Den kritiska belastningen bestäms vanligtvis med hjälp av något kemiskt kriterium, t ex kvoten mellan koncentrationerna av baskatjoner och aluminiumjoner i marklösningen. Genom att sätta en kritisk gräns på det kemiska kriteriet, dvs det ur miljösynpunkt sämsta värdet som kriteriet kan anta utan att det ger skadliga effekter, kan den högsta "tillåtna" depositionen, dvs den kritiska belastningen, beräknas. Värdena i tabell 1 är inte framtagna utifrån något kemiskt kriterium utan är uppskattningar av hur mycket svavel

marken tål. För att undvika missuppfattningar kommer därför benämningen “markens buffringskapacitet” att användas i fortsättningen i stället för “kritisk belastning”.

Tabell 1. Kritisk svavelbelastning för skogsjordar (0-50 cm) på olika typer av berggrund (kg S/ha/år) (Nilsson och Grennfelt, 1988).

<b>Bergart</b>	<b>Motsvarande klass enligt Minells indelning</b>	<b>Kritisk svavelbelastning (kg S/ha och år)</b>
1.Granit, kvartsit	1	<3
2.Granit, gnejs	2	3-8
3.Skiffer, gabbro	3-4	8-16
4.Gabbro, basalt	4	16-32
5.Kalksten, mörgel	5	>32

Eftersom Minells bergartsindelning (s 7) inte stämmer helt överens med bergartsindelningen i tabell 1 gjordes en mindre korrigering. Bergartsklass 3 i Minells indelning har ingen direkt motsvarighet i tabell 1, då den har högre buffringskapacitet än klass 2, men inte så hög som klass 3. Minells klass 3 antogs därför motsvara klass 2,5 enligt bergartsskalan i tabell 1. Därför gjordes intervallet 8-16 om till 6-12 (mitt emellan 3-8 och 8-16), för att bättre motsvara Minells klass 3. Bergartsklass 3 i tabell 1 har heller ingen exakt motsvarighet i Minells bergartsskala, möjligen med undantag av skifferområdet i Visingsögruppen, som dock i denna klassificering fick tillhöra klass 2,5. Detta intervall ströks därför. I tabell 2 presenteras siffrorna som användes. Den digitaliserade kartan med markens buffringskapacitet med avseende på svavel för olika bergarter visas i bilaga 1.

De använda buffringskapacitetsvärdena förutsätter att enbart svavel står för försurningen och då även kväve bidrar till försurningen är gränserna lägre. I denna studie har värdena i tabell 1 använts utan hänsyn till kvävetvets försurande effekter.

Tabell 2. Bedömd buffringskapacitet för de fyra olika bergartsklasserna (kg S/ha/år).

<b>Klass enligt Minells indelning</b>	<b>Motsvarande klass enligt bergartsindelning i tabell 1</b>	<b>Buffringskapacitet (kg S/ha och år)</b>
1	1	<3
2	2	3-8
3	“2.5”	6-12
4	4	16-32

#### **2.2.2.2 Buffringskapacitet vid olika texturer**

Olika jordarter buffrar olika bra, mycket beroende på kornstorleken. Jordtäcket tjocklek har också stor betydelse. Näringsinnehållet spelar givetvis en mycket stor roll, men det tas inte med här eftersom det beror på bergarten, som redan vägts in.

Endast en liten del av Jönköpings län täcks av nya jordartskartor (serie Ae). I stället användes en länskarta över känsligheten för infiltration av föroreningar. Indelningen är grundad främst på

textur, men även på jorddjupet. Fyra klasser användes, med ökande buffringskapacitet nedåt:

1. Sand och grus
2. Kalt berg/moräntäcke < 3m
3. Moräntäcke > 3m
4. Lera

Dessa fyra klasser digitaliserades. I försettningen kommer dessa klasser att refereras till som "texturklasser". Även torvmarken digitaliserades, men då den är ointressant ur åtgärdssynpunkt tas den inte med i beräkningarna. Minsta digitaliserade område var också i detta fallet 4 km<sup>2</sup>. Den digitaliserade texturkartan presenteras i bilaga 2.

### 2.2.2.3 Sammanvägning av de geologiska faktorerna

Sammanvägningen av bergart och textur gjordes med utgångspunkt från buffringskapaciteten för de olika bergarterna. För varje buffringskapacitetsintervall specificerades fyra värden på buffringskapaciteten, ett för varje texturklass. Områden med kalt berg/moräntäcke < 3m gavs medelvärde i intervallet för respektive bergart, eftersom denna texturklass är den där bergarten bör ha störst relativ betydelse. Områden med isälvsavlagringar tilldelades det nedre värdet i intervallet, medan lertäckta områden fick det högsta värdet. Texturklass 3 fick värdet vid  $\frac{3}{4}$  av intervallet, alltså mitt emellan klass 2 och klass 4. Bergartsklass 1 har inget specificerat undre värde i intervallet. Här användes 1 som undre gräns. I tabell 3 presenteras de siffror som användes.

Tabell 3. Bedömd buffringskapacitet med avseende på svavel för olika kombinationer av berggrund och textur (kg S/ha/år).

Bergartsklass	Texturklass	Bedömd buffringskapacitet (kg S/ha/år)
1	1	1
1	2	2
1	3	2.5
1	4	3
2	1	3
2	2	5.5
2	3	6.75
2	4	8
3	1	6
3	2	9
3	3	10.5
3	4	12
4	1	16
4	2	24
4	3	28
4	4	32

Sammanvägningen gjordes utifrån berggrundskartan och texturkartan med en overlay-operation i ArcInfo. Till de olika kombinationerna av berggrund och textur knöts värden på buffringskapaciteten enligt tabell 3. Resultatet visas i bilaga 3.

#### 2.2.2.4 Deposition

De depositions­mätningar som finns i området visas i bilaga 4. Bristen på depositions­mätningar är ett stort problem vid den här typen av kartläggningar. Stora lokala variationer i deposition gör att det är svårt att interpolera fram en yta utifrån så pass få punkter.

Kvävets kretslopp är betydligt mer komplicerat än svavlets, bl a p g a växternas kväveupptag. Kvävet kommer därför inte att räknas med i denna kartläggning. Detta förenklar beräkningarna betydligt, men kan ändå ge ett bra mått på försurningsläget, eftersom svavlet ligger bakom det mesta av försurningen.

Deposition kan mätas på två olika sätt. Krondroppsmätningar görs genom att behållare ställs i skogen och samlar upp både våtdeposition (ämnen som är lösta i regnvattnet) och torrdeposition (luftburna föroreningar som fastnat på träden som därefter sköljs ned med regnvattnet). Vid mätningar på öppet fält utgörs depositionen nästan bara av våtdeposition, eftersom endast en liten del av de luftburna föroreningarna fastnar här. 21 mätningar från Jönköpings län med omgivningar användes för denna studie, varav alla utom en i Halland var krondroppsmätningar. De depositionsdata som användes var medelvärden från 1991-1995 för svaveldeposition (minus havssaltets bidrag), i enheten kg S/ha/år.

Det finns olika metoder för att få fram en heltäckande bild av depositionen. En metod är att utföra någon form av modellberäkning, t ex där depositionen bestäms utifrån information om utsläppskällor, rådande vindriktning, nederbörd mm. Detta har gjorts för Europa i ett rutnät med rutor på 15\*15 mil (SNV, 1981), en upplösning som inte är användbar på länsnivå. En annan metod för att få fram en yta är att interpolera utifrån ett antal punktmätningar. Interpolationer baserade på ett fåtal punkter leder till osäkerheter i resultatet, då depositionen varierar mycket på korta sträckor, beroende på bl a skiftande lokalklimatologiska förhållanden. Ett uppmätt värde behöver därför inte vara representativt för området.

Några olika typer av interpolationsmetoder testades. Den första bygger på en mycket enkel princip och innebär att polygoner (s k Thiessenpolygoner) som täcker området skapas utifrån punktvärdena. De skapas på ett sådant sätt att varje punkt får depositions­värdet från den depositions­mätning som ligger närmast. Denna metod brukar användas t ex för klimatdata, där man inte kan säga att den geografiska variationen är kontinuerlig. Metoden bygger på tesen att den bästa uppskattningen av depositionen i en punkt fås genom att låta punkten anta värdet från den närmsta mätningen. I detta fallet är metoden dock tveksam då varje mätning representerar en så pass stor yta. Dessutom kan man trots de få mätvärdena se en tydlig trend att depositionen minskar mot nordost. Detta berättigar användandet av en interpolationsmetod som skapar en jämn yta.

En vanlig interpolationsmetod är IDW (Inverse Distance Weight). Metoden är en så kallad "exakt" metod, vilket innebär att punkterna med uppmätta depositions­värden har samma värden på den interpolerade ytan. Principen är att ju närmre en känd punkt ligger en punkt som ska skattas, desto större inflytande har dess värde. Genom att ange en viktningskoefficient kan



distansviktnings styrka regleras. Denna metod är dålig på att göra extrapolationer, vilket kan ge upphov till konstiga kanteffekter. En pixel i ytterkanten av länet kan t ex inte få ett högre värde än det högsta depositionsvärdet. Dessutom ger denna metoden upphov till "Bulls eye-effekten" vilket innebär att små "toppar och dalar" bildas vid depositionsvärdena, så att man utifrån den interpolerade ytan kan sluta sig till var mätvärdena finns.

I detta fallet är målet att erhålla en jämn yta, där inte så stor hänsyn tas till det enskilda värdet, utan där en trendyta anpassas till depositions punkterna. Då är det lämpligt att använda "Splines", en mer utjämnande metod där en kurva anpassas till valt antal punkter. Även denna metod kan ge konstiga kanteffekter, varför ett antal punkter i omgivande län användes vid interpolationen. Med befintliga data bör Splines vara den bästa interpolationsmetoden för att skapa en depositionsyta.

Interpolationen utfördes i ArcView. Antal punkter som används vid varje kurvanpassning sattes till 4. I bilaga 4 visas de punkter som användes för interpolationen och resultatet av interpolationen illustreras i bilaga 5. Varje pixel (200\*200 m) har här ett depositions värde. Även om man inte kan gå in i varje enskild pixel och få ett depositions värde som stämmer exakt med verkligheten visar denna karta på en tydlig trend, som i brist på andra depositionsdata kan ses som ett användbart underlag för de fortsatta beräkningarna.

#### **2.2.2.5 Överskridande av markens buffringskapacitet**

För att erhålla överskridandet av den bedömda buffringskapaciteten subtraherades depositionen med buffringskapaciteten:

$$\text{Överskridande} = \text{deposition} - \text{buffringskapacitet}$$

Subtraktionen gjordes i ArcView, efter att ha omvandlat kartan med buffringskapacitet till en rasterkarta, med pixlar av samma storlek som pixlarna i depositions kartan, 200\*200 m.

#### **2.2.2.6 Jämförelser med data från ståndortskareringen**

I Jönköpings län finns 69 punkter från ståndortskareringen med pH-värden, totalhalter av baskatjoner mm. Denna information är som tidigare nämnts för gles och uppvisar för stora lokala variationer för att kunna användas som underlag för karteringen, men används här för utvärdering samt statistiska analyser av olika slag. De siffror som användes var från C-horisonten (50 cm:s djup). Jämförelserna försvåras av att det handlar om totalhalter av baskatjoner och inte halter av den utbytbara delen.

I ArcView togs de punkter på överskridandekartan ut, som motsvarade ståndortspunkternas geografiska läge. pH-värdet, baskatjonhalten (% Ca, Mg och K), depositionen samt överskridandet för de olika punkterna från ståndortskareringen fördes över till Excel där korrelationer mellan pH och överskridande, baskatjonhalt och överskridande samt pH och deposition utfördes. Ett statistiskt test utfördes sedan för att få reda på om korrelationskoefficienterna var signifikant skilda från 0.

Ett försök gjordes också att komma åt den relativa betydelsen för de olika faktorerna (berggrund, textur och deposition), dels genom att beräkna medelvärde och standardavvikelse för pH och baskatjonhalt från ståndortskareringen, för de olika berggrundsklasserna, texturklasserna samt

för tre olika depositionsintervall (<4,3, 4,3-7,9 och >7,9 kg S/ha/år), dels genom att göra samma typ av beräkningar då två parametrar hölls konstanta, och den tredje varierades. Texturens betydelse testades på berggrundsklass 2, gnejs och granit i allmänhet, och depositionsintervall 2 (4.3-7.9 kg S/ha/år), då denna kombination har störst utbredning och därmed bör vara den kombination där det är störst chans att få statistiskt säkra resultat. Då berggrundens betydelse prövades användes av samma skäl texturklass 2, "kalt berg/moräntäcke<3m" och depositionsintervall 2. Depositionens betydelse testades på berggrundsklass 2 och texturklass 2. Även dessa analyser gjordes i ArcView. För att testa om det förelåg några signifikanta skillnader i pH och baskatjonhalt mellan de olika klasserna utfördes T-test.

## **2.3 Resultat**

### **2.3.1 Överskridande av markens buffringskapacitet**

Resultatet av kartläggningen presenteras i bilaga 6. Den bedömda buffringskapaciteten överskrids på 800000 ha, 80 % av länets yta. På 100000 ha (10%) är överskridandet större än 8 kg S/ha/år. I sydvästra hörnet är läget mest akut, p g a kombinationen av hög deposition och en berggrund som buffrar dåligt. Endast på ett fåtal mindre områden med metabasit underskrids buffringskapaciteten i denna del av länet. Området öster om Vättern består också av berggrund i den lägsta buffringsklassen, men den lägre depositionen i området gör att överskridandet inte är lika högt här som i länets västra del. I öster finns basiska bergarter och äldre Ca-rika graniter och detta gör tillsammans med den relativt låga depositionen att buffringskapaciteten inte överskrids här. Isälvsavlagringarna i Nissans dalgång, i norra delen av Lagan samt öster om Vättern urskiljs på kartan då de har högre överskridande än omgivningarna.

### **2.3.2 Jämförelser med data från ståndortskarteringen**

Överskridandet och pH från ståndortskarteringen var signifikant negativt korrelerade ( $p < 0,01$ ). Det innebär att överskridandet ökar då pH minskar. Mellan baskatjonhalten och överskridandet fanns däremot ingen signifikant korrelation.

Bedömningen av bergartens, texturens och depositionens relativa betydelse för försurningsstatusen i marken, utifrån ståndortskarteringen, försvåras av det låga antalet punkter. pH skilde sig inte signifikant, varken mellan de olika berggrundsklasserna, texturklasserna eller depositionsintervallen. Inte heller när två faktorer hölls konstanta och den tredje varierades skilde sig pH åt mellan de olika klasserna. För baskatjonhalten erhöles signifikanta skillnader mellan de olika texturklasserna samt mellan olika depositionsintervall men däremot inte mellan de olika bergartena. I tabell 4-5 presenteras resultaten av beräkningarna av medelvärde och standardavvikelse för baskatjonhalten på de olika texturklasserna (tabell 4) och depositionsintervallen (tabell 5). Tabell 6 visar motsvarande beräkningar där berggrund och deposition hölls konstant och texturen varierades. Uppdelningen då två parametrar hölls konstanta gjorde att antal ståndortspunkter i varje klass blev för litet för att kunna användas för en statistisk tolkning i många fall.

Tabell 4. Medelvärde (mv) och standardavvikelse (std) för baskatjonhalten (%) i de olika texturklasserna.

<b>Texturklass</b>	<b>Antal punkter</b>	<b>mv baskatjonhalt (%)</b>	<b>std baskatjonhalt (%)</b>
1	19	4,0	0,8
2	44	5,4	1,0
3	5	7,1	3,2
4	1	5,0	X

I klass 4 finns bara en ståndortsmätning, varför denna klassen inte kan tas med i den statistiska analysen. Baskatjonhalten uppvisar signifikanta skillnader mellan klass 1 och 2 ( $p < 0,001$ ), 1 och 3 ( $p < 0,001$ ) samt 2 och 3 ( $p < 0,01$ ). Baskatjonhalten ökar med ökad texturklass. I bilaga 8 syns att punkterna i klass 1, isälvsavlagringar, generellt har högre Ca-halt än omgivande mark.

Tabell 5. Medelvärde (mv) och standardavvikelse (std) för baskatjonhalten (%) i de olika depositionsintervallen.

<b>Depositionsintervall</b>	<b>Deposition (kg S/ha/år)</b>	<b>Antal punkter</b>	<b>mv baskatjonhalt (%)</b>	<b>std baskatjonhalt (%)</b>
1	<4.3	17	5,3	0,9
2	4.3-7.9	40	4,7	1,0
3	>7.9	12	6,3	2,5

Baskatjonhalten är signifikant högre i depositionsintervall 1 än i intervall 2 ( $p < 0,05$ ) och intervall 2 har signifikant lägre summa än intervall 3 ( $p < 0,01$ ).

Tabell 6. Medelvärde (mv) och standardavvikelse (std) för baskatjonhalten (%) i de olika texturklasserna på bergartsklass och depositionsintervall 2.

Texturklass	Antal punkter	mv baskatjonhalt (%)	Std baskatjonhalt (%)
1	9	3,5	0,7
2	18	5,0	0,8
3	0	-	-
4	0	-	-

Texturklass 1 och 2 skiljer sig signifikant åt ( $p < 0,001$ ) med avseende på baskatjonhalt. Summan är högre i klass 2.

Då korrelationen mellan pH och deposition beräknades medtogs bara områden i texturklass 2 och bergartsklass 2 för att reducera skillnader som beror på geologin. pH och deposition är signifikant negativt korrelerade ( $p < 0,01$ ).

## 2.4 Diskussion

Bilden av försurningsläget enligt kartläggningen stämmer relativt bra överens med förväntningarna. Bl a vet man att sjöarna i sydväst är de värst drabbade. I sydväst är det i stort sett bara depositionen som ligger till grund för skillnader i försurningsläget, p g a att varken berggrunden eller texturen uppvisar några större variationer, så när som på isälvsavlagringarna i Nissans och Lagans dalgångar. I öster är berggrunden komplex och stora variationer på överskridandet kan förekomma på korta avstånd.

Man kunde ha förväntat sig en mer nordsydlig försurningsgradient, dels eftersom depositionen är hög även i nordväst, dels eftersom man vet att sjöarna är mycket försurade här (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 1993). Denna anomali kan förklaras med att en av depositions punkterna i sydvästra delen av länet ligger i ett björkbestånd och därför inte är representativ för området, som helt domineras av barrskog. Björkskog filtrerar inte luften i samma utsträckning som barrskog, varför torrdepositionen är betydligt mindre.

Området öster om Vättern är ett osäkerhetsmoment, då moränspridningsmodeller visat att detta området kan innehålla kalkrik morän från kalkberggrunden i Östergötland (Sveriges nationalatlas, 1990). Floran tyder också på att området innehåller kalk (Ward och Broberg, 1996, personlig kommunikation) och sjöarnas tillstånd är bra i jämförelse med de västra delarna av länet. Baskatjonvärdena från ståndortskarteringen visar dock inte på någon förhöjd kalkhalt i området jämfört med liknande berggrund i sydväst (bilaga 8), tvärtom är baskatjonhalterna extremt låga här. Däremot uppvisar grönstensområdet i öster som förväntat förhöjda baskatjonhalter. Noteras bör dock att punkterna ligger mycket glest i det aktuella området i norr, i jämförelse med övriga delar av länet och osäkerheten är därför stor. Vid jämförelserna bör man också ha i åtanke att det handlar om moränens totalinnehåll av baskatjoner, och inte enbart den lättillgängliga delen, som egentligen är det mest intressanta i sammanhanget.

Anledningen till att berggrundskartan användes som grund vid framtagningen av buffringskapacitetskartan är att variationerna i berggrunden är betydligt större än variationerna i textur och därför antogs vara den största orsaken till variationen i buffringskapaciteten.

Dessutom tillhör större delen av länet texturklassen "kalt berg/ moräntäcke<3m", den texturklass där bergarten bör vara av störst relativ betydelse. Detta gör att det blir enkelt att grunda buffringskapacitetskartan på berggrundskartan och därefter korrigera på dom ställen där texturklassen inte är "kalt berg/moräntäcke<3m".

Berggrundsklasserna försågs med buffringskapacitetsintervall, som delades upp i fyra delar var, en för varje texturklass. Detta bygger på antagandet att buffringskapacitetens variation inom intervallet till stor del beror på vilken jord marken täcks med. På mark som täcks av ett tunt moräntäcke bör bergarten ha störst relativ betydelse varför denna texturklass försågs med medelvärde i intervallet. Genom att ge texturklass 1 till 4 värdena i början, vid mitten, vid  $\frac{3}{4}$  respektive i slutet av intervallet, gjordes en bedömning av relativa skillnader i buffring mellan de olika texturklasserna. Exempelvis bedömdes skillnaden mellan klass 1 och 2 vara större än mellan klass 2 och 3. Detta ger en relativ skala som bör vara användbar. De absoluta värdena är osäkra men en relativ skala bör vara tillräcklig för att använda som underlag för en översiktlig planering av åtgärdsbehovet, efter en kalibrering med fältdata, exempelvis pH eller basmättnad. Vid detta tillvägagångssätt förutsätts medelvärdet i buffringskapacitetsintervallen gälla för texturklassen "kalt berg/moräntäcke<3m" och variationer inom intervallen antas bero på varierande textur.

Indelningen i fyra texturklasser är baserad på en karta över känslighet för infiltration av föroreningar. Klassindelningen är inte optimal för att bestämma buffringskapaciteten med avseende på textur. Vid indelningen av moränen efter jorddjup hade ett lägre djup än 3 m varit mer användbart. En klassindelning av moränen med avseende på den fysikaliska sammansättningen, t ex en indelning i finkornig och grovkornig morän, hade avsevärt förbättrat underlaget för en klassificering av buffringskapaciteten.

Trots att pH-värdena varierar mycket i den lokala skalan och ger ett mycket plottrigt intryck kan den förväntade trenden med ökad försurning mot sydväst anas (bilaga 7) och pH är signifikant negativt korrelerat med överskridandet ( $p<0,01$ ). För att få fram en tydligare regional trend krävs att pH-mätningarna görs på ett sådant sätt, att mätlokaler är jämförbara med avseende på topografi, trädslag, mm.

Inget samband hittades mellan baskatjonhalt och överskridande. Här kunde annars förväntats en minskning av halten då överskridandet ökar. I bilaga 8 visas Ca-halten från ståndortskarteringen, en bild som är mycket lik bilden för baskatjonhalten. De höga Ca-värdena i sydvästra delen av länet är förvånande, med tanke på den höga depositionen och den dåligt buffrande bergarten och kan delvis vara förklaringen till den dåliga korrelationen. De höga baskatjonhalterna i sydväst och de låga värdena i norr är svårförklarliga och det är av högsta intresse att utreda vad som kan ligga bakom.

Vid jämförelsen av medelvärde och standardavvikelse i de olika textur-, bergarts- och depositionsintervallen, då ingen av de båda övriga faktorerna hölls konstanta, erhöles signifikanta skillnader mellan texturklasserna 1, 2 och 3 beträffande baskatjonhalten. Skillnaden var signifikant mellan klass 1 och de båda andra ( $p<0,001$ ) samt mellan klass 2 och klass 3 ( $p<0,01$ ) och baskatjonhalten ökade som väntat med ökad texturklass. Klass 3 motsvarades dock enbart av 5 punkter, varför inga långtgående slutsatser kan dras av jämförelserna mellan den och klass 1 och 2. Beträffande bergartsklasserna fanns inga signifikanta samband, men för depositionen var

basketjonhalten signifikant lägre i klass 2 än i klass 1, samt signifikant högre i klass 3 än i klass 2. Här fanns alltså ingen entydig trend. Det förväntade var att basketjonhalten skulle minska med ökad deposition.

Vid den här typen av analyser är det viktigt att tänka på att flera olika faktorer varierar samtidigt. Depositionen och bergartsindelningen uppvisar i stora drag samma bild vad gäller försurningrisk, med högre försurningsrisk mot sydväst. Eventuella trender på pH eller basketjonhalt då någon av dessa faktorer undersöks kan därför vara svåra att förklara. De signifikanta skillnaderna mellan texturklasserna är dock användbara, eftersom isälvsavlagringarna är väl spridda på de olika bergarterna och i de olika depositionsintervallen.

Genom att hålla två parametrar konstanta och variera en tredje kan mer säkra resultat ges. Problemet är att antalet ståndortspunkter är litet och detta i kombination med att några klasser har mycket liten utbredning gör att en del klasskombinationer bara motsvaras av ett fåtal ståndortspunkter eller inga alls. Det enda signifikanta resultatet som gavs vid denna analys var att basketjonhalten var signifikant högre i texturklass 1 än i texturklass 2 ( $p < 0,001$ ). Denna skillnad syns även tydligt i bilaga 8, där punkterna med lägst kalciumvärden följer isälvsavlagringarna väldigt väl. Detta resultat kan vara en indikation på att texturens betydelse underskattats i kartläggningen av buffringskapacitet. Basketjonhalten tyder på att texturen har stor betydelse, medan pH-värdena inte skiljer sig nämnvärt mellan de båda lägsta texturklasserna. Fler mätvärden hade behövts för att kunna ge säkrare resultat.

Anmärkningsvärt är att inga signifikanta skillnader i pH fanns mellan några klasser. Detta understryker det som redan poängterats om att pH-mätningar är oanvändbara i denna skalan p g a stora lokala variationer. Halten basketjoner verkar variera mindre och kan därför vara mer användbar.

#### 2.4.1 Felkällor

Kartläggningen bygger på tre faktorer - berggrund, textur och deposition. Det finns andra faktorer som har betydelse men som av olika skäl inte tagits med. Variationer på bestånds nivå är ointressanta vid en kartläggning i denna skalan. Det är inte heller möjligt att ta hänsyn till variationer i hydrologiska förhållanden vid en översiktlig länskartering. Däremot hade kunskap om den ackumulerade depositionen kunnat komplettera kartläggningen. Sådan information finns emellertid inte att tillgå. För att indirekt få information om den kan man använda sig av markkemiska mätningar eller historiska depositions mätningar. Bilden bör dock inte förändras så mycket, möjligen förstärkas, om den ackumulerade depositionen på något sätt vägs in, eftersom det till stor del är den rådande vindriktningen som bestämmer depositions mönstret. Med andra ord, de områden som är högexponerade nu har förmodligen också historiskt sett tagit emot mest föroreningar. Detta leder till att dessa områden både har lägre motståndskraft och högre deposition än liknande mark som inte exponerats i samma utsträckning, vilket kan göra att skillnaderna i verkligheten är större än vad kartläggningen visar.

Slutsatsen av diskussionen ovan är att vid en länskartläggning av denna typ kan användbar information om den relativa fördelningen av försurningsdrabbad mark ges trots att man bortser från den ackumulerade depositionen. Vid jämförelser av kartläggningar över områden som ligger långt ifrån varann, och därför kan uppvisa stora skillnader i markkemin p g a stora skillnader i

deposition, kan försummandet av den ackumulerade depositionen leda till osäkerheter i resultatet.

Moränsammansättningen har inte alls tagits med här eftersom underlag saknas. I stället har berggrunden använts som underlag. Detta kan anses berättigat då större delen av moränen har lokalt ursprung men det leder till fel där moränen härstammar från berggrund med en annan sammansättning än underliggande berggrund.

I klassningen av bergarterna togs bara hänsyn till sammansättningen, inte till strukturer och sprickfrekvens. I protoginzonen är sprickfrekvensen i berggrunden hög, vilket gör att vittringshastigheten och därmed också buffringskapaciteten är högre här än i berggrund av samma sammansättning på andra ställen. Dessutom finns speciella sprickmineral som ofta är rika på baselement (Lång, 1997, personlig kommunikation). Detta leder till att buffringskapaciteten kan ha underskattats något i protoginzonen.

Moränen delades in i två klasser med olika tjocklek, över och under 3 m. Gränsen 3 m är inte optimal för ändamålet, en lägre gräns hade minskat osäkerheten i resultaten. Ingen indelning har gjorts med avseende på den dominerande kornstorleken i moränen. Detta beror på begränsningar i underlagsmaterialet. Avsaknaden av jordartskartor innebär en betydande osäkerhetskälla.

Det låga antalet depositionsmätningar utgör en felkälla, som minimerats genom valet av en utjämnande interpolationsmetod. Genom att använda medelvärden från flera år eliminerades en del av de årliga variationerna. Det går dock inte att komma ifrån att depositionen kan variera mycket i lokal skala, och att de få depositionsmätningarna som finns därför inte behöver vara representativa för området. Det faktum att mätningarna visade en tydlig trend, som väntat med ökad deposition i sydväst, gjorde att mätningarna ansågs vara användbara i detta fallet, men trots den utjämnande metoden har varje punktmätning stor betydelse vid en interpolation utifrån så få punkter. Den övervägande delen av de 21 mätpunkterna ligger i granskog men några ligger i löv- eller tallskog. Detta leder till fel, då depositionen i granskog generellt sett ligger högre än i tall- och lövskog. För en mätpunkt i Halland användes öppet fält-mätningar, vilket leder till en för låg deposition i denna punkt.

I verkligheten är det den totala aciditeten som är intressant, men kväve har helt bortsetts från i denna kartläggning p g a svårigheter i beräkningarna då kväve har ett mycket mer komplext kretslopp än svavel. Kartläggningen visar därför överskridandet av den bedömda buffringskapaciteten med avseende på svavel. Men då svavlet är huvudorsaken till försurningen, samtidigt som depositionsmönstret för kväve i stora drag liknar det för svavel, bör en invägning av kväve inte förändra bilden utan bara förstärka den.

Områden mindre än 4 km<sup>2</sup> generaliserades bort vid digitaliseringen vilket kan anses vara rimligt vid en länskartering. Dessa generaliseringar är nödvändiga för att inte ge ett alltför plottrigt resultat, men kan försvåra vid utvärdering mot punktmätningar som t ex ståndortskarteringen, där mätvärdet bara motsvarar mätpunkten och inte behöver vara representativt för omgivningen. Som exempel kan nämnas att det i sydvästra delen av länet förekommer många metabasitområden och gångar som generaliserats bort p g a att de underskridit gränsen 4 km<sup>2</sup>. Dessa områden skulle delvis kunna förklara ståndortspunkterna med höga baskatjonhalter i sydväst. De små fel som uppstår vid digitaliseringen är försumbara i sammanhanget.

Buffringskapaciteten grundas på berggrundskartan indelad i olika klasser med tillhörande intervall av buffringskapacitet. Det är viktigt att poängtera att dessa intervall är ungefärliga och att den relativa skalan är viktigare än de absoluta siffrorna. Intervallen indelas i underklasser beroende på textur. Denna indelning måste korrigeras med hjälp av fältmätningar. Det är omöjligt att teoretiskt bestämma den relativa betydelsen av textur och berggrund. Om texturen har större betydelse än vad den givits, vilket indikerats av en del av de statistiska analyserna, borde intervallen överlappa varandra i högre grad. Detta kommer att diskuteras vidare i följande kapitel.

#### 2.4.2 Förslag till förbättringar

För att utifrån depositions­mätningarna kunna skapa en heltäckande bild av de­positionen i länet krävs att mätlokalerna är jämförbara med avseende på topografiskt läge, markanvändning, mm. En av de nio mätningarna i Jönköpings län gjordes i en björkskog, medan resterande mätlokaler ligger i barrskog. Då björkskogen inte filtrerar vinden i samma utsträckning som barrskogen bör denna punkt uteslutas. Även punkter i tallskog, och givetvis öppet fält-mätningar, bör uteslutas, eftersom de­positionen här är lägre än i granskog. Ett alternativ kan vara att använda sig av våtdepositions­värdena i stället, för att slippa skillnader i de­position som beror på skillnader mellan olika typer av skogar. Våtde­positionen kan därefter multipliceras med en filterfaktor, för att er­hålla de­positions­värden som gäller för skog.

21 de­positions­mätningar i länet och dess närmaste om­givningar är för få för att interpolationen ska kunna anses vara riktigt tillfredsställande. Interpolationen ger en utjämnad yta, som visar trenden i länet, men inte de lokala variationerna som beror bl a av topografin. En annan lösning på de­positions­problemet än att använda de­positions­mätningar kan vara att använda sig av indirekta data.

De­positions­variationen vad gäller våtde­position av svavel i skogs­mark beror av två parametrar:

- nederbörds­mängd
- svavelhalt i nederbörden

En yttäckande karta över halten svavel i nederbörden kan fås fram med hjälp av interpolation av ett antal mätningar. Den lokala variationen av halten bör inte vara så stor, varför mätningarna inte behöver vara så många. Genom att multiplicera nederbörden med svavelhalten erhålls de­positionen. De enda ingångsdata som behövs är en heltäckande nederbörds­karta och ett antal mätningar av svavelhalten i nederbörden.

Utöver våtde­positionen tillkommer torrde­positionen som främst beror av:

- svavelhalt i luften
- ytans skrovlighet (markanvändning, topografi, trädslag, träd­täthet, beståndets ålder, mm)

Denna typ av de­position är svårare att komma åt, men ett sätt kan vara att använda sig av begreppet "filterfaktor" (Lejonklev, 1996). Filterfaktorn definieras som kvoten mellan totalde­position (våtde­position + torrde­position) och våtde­position. Barrskog har högre torrde­position än lövskog, och därmed högre filterfaktor. Beräkningar av filterfaktorer för granskog och lövskog finns (Lejonklev, 1996). Genom att multiplicera våtde­positionen med en filterfaktor kan



totaldepositionen tas fram. Man bör dock ha i åtanke att filterfaktorer bygger in nya osäkerheter, bl a eftersom filterfaktorn varierar med nederbörden (Westling, 1997, personlig kommunikation). Den befintliga depositionsdatan kan användas till att kalibrera och/eller utvärdera resultatet.

Forskning pågår för att hitta sambanden mellan olika geologiska faktorer och markförsurning. Genom att ta markkemiska prover på olika underlag, med olika kombinationer av bergart och textur, borde det gå att öka kunskapen om deras relativa betydelse. Bara med hjälp av det ytterst begränsade underlaget från ståndortskarтерingen går det att se vissa trender. Troligt är att texturens betydelse, i förhållande till bergartens, har underskattats något, vilket bör åtgärdas vid framtida kartläggningar. När jordartskartor (1:50000) finns för hela länet kan texturklassificeringen förbättras avsevärt.

För kunskap om moränens sammansättning krävs markkemiska analyser. Moränens transportlängd är starkt relaterad till landskapsformer, vilket kan vara ett annat sätt att försöka komma åt problemet. Information om t ex moränens blockighet är användbar (Minell, 1990) men problemet är att sådan information inte finns att tillgå för länet i någon användbar upplösning.

En annan indirekt metod för att komma åt kalkhalten i moränen kan vara att använda sig av inventeringar av växter. Information om utbredningen av kalkkrävande växter finns med hög upplösning för hela länet (Ward och Broberg, 1996, personlig kommunikation).

Vid god tillgång på ingångsdata om markens geokemiska och fysikaliska sammansättning är det möjligt att beräkna vittringen med någon typ av modell, t ex PROFILE (Sverdrup och Warfvinge, 1993) eller den historiska vittringsmodellen (Olsson och Melkerud, 1991). Nackdelen med dessa modeller är, förutom att det ofta saknas nödvändiga data, att det stora antalet indataparametrar, som alla innehåller ett visst mått av osäkerhet, leder till stor osäkerhet i slutresultatet.

## 3. Kartläggning baserad på data om försurningsläget i sjöar och vattendrag

### 3.1 Bakgrund

Sjökalkning har en betydligt längre historia än skogsmarkskalkning. Därför finns det en hel del data om försurningsläget i sjöar och vattendrag. Eftersom sjöns tillstånd till stor del beror på tillståndet i området som dränerar till sjön, ligger det nära till hands att använda data om sjöförsurningsituationen för att kartlägga försurningstillståndet i marken (Bydén *et al*, 1997). Sjöar långt ner i avrinningssystemen tillförs vatten både från de närmsta omgivningarna och från områden långt borta. Tillståndet i en sådan sjö beror därför på geologiska förhållanden och depositionsförhållanden över ett stort område. Små sjöar och vattendrag långt uppe i avrinningsområdena förses däremot bara med vatten från lokala källor, och dessa kan därför utgöra bra indikatorer på försurningsstatusen i omgivande mark.

### 3.2 Material och metoder

#### 3.2.1 Material

- pH-mätningar i sjöar och vattendrag före kalkning (Länsstyrelsen i Jönköpings läns register med resultat från vattenprovtagningar).
- En kartläggning av försurningsläget i sjöar och vattendrag före ev kalkning, indelad i fyra pH-klasser (<5,0, 5,0-5,5, 5,6-6,0, >6,0) (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 1993). Kartläggningen baseras på data från länsstyrelsens register över vattenprovtagningar, se ovan.
- En kartläggning av försurningsläget i sjöar och vattendrag före ev kalkning, indelad i fem buffringskapacitetsklasser (ingen eller obetydlig, mycket svag, svag, god samt mycket god buffringskapacitet). Kartläggningen är utförd av IVL (Fejes *et al*, 1996).
- 389 avrinningsområden i Jönköpings län, från SMHI.
- pH och totalhalter av Ca, Mg och K (%) från ståndortskarteringen (SLU). Proverna är tagna i C-horisonten (50 cm).

För en genomgång av övrigt använt material (programvara och digitaliseringsbord) hänvisas till kapitel 2.2.1.

#### 3.2.2 Metoder

Punkter långt upp i avrinningsområdena som var kartlagda med avseende på pH letades upp (Länsstyrelsen i Jönköpings läns register med resultat från vattenprovtagningar). pH i dessa punkter antogs avspegla försurningsläget i närområdet. Punkterna digitaliserades med hjälp av berggrundskartan, länsstyrelsens kartläggning och IVL:s kartläggning genom att punkterna på länsstyrelsens och IVL:s kartor letades upp på berggrundskartan. Användandet av berggrundskartan förenklade digitaliseringen betydligt, då omprojiceringar på en varierande skala inte behövdes. 244 punkter digitaliserades och gavs en av fyra pH-klasser (bilaga 9). Två punkter härstammade från IVL:s mätningar, och var indelade i buffringskapacitetsskala i stället för pH-skala. Punkterna tillhörde klass 1 och 2 och detta antogs motsvara klass 1 och 2 även i pH-skalan. Digitalisering och sammankoppling med pH-värden gjordes i ArcInfo. I ArcView försågs avrinningsområdena med det pH-värde som punkten som inneslöts. Områden med fler än en punkt erhöll det avrundade medelvärde. Om medelvärdet hamnade mitt emellan två klasser

avrundades det nedåt, med motiveringen att det är bättre att överklassa än att underklassa riskområden.

I flera avrinningsområden saknades punkter där ovannämnda kriterier stämde. Dessutom innefattas inte området öster om Vättern i Länsstyrelsens kartläggning (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 1993). Detta leder till att kartläggningen inte blev heltäckande.

Kartan jämfördes med pH och baskatjonhalt från ståndortskarteringen, genom att medelvärde och standardavvikelse av pH och baskatjonhalt beräknades för de fyra olika pH-klasserna. Den digitaliserade punktkartan (bilaga 9) jämfördes också med överskridandekartan genom att beräkna medelvärde och standardavvikelse för överskridandet i de olika pH-klasserna. T-test utfördes för att påvisa eventuella signifikanta skillnader.

För alla avrinningsområden i länet, med undantag av tiotalet mycket små områden, finns mätdata från sjöar och vattendrag (Länsstyrelsen i Jönköpings läns register med resultat från vattenprovtagningar). Kartläggningen kompletterades med dessa data i de avrinningsområden där data saknades. Detta gav en heltäckande karta, men en del av pH-värdena härstammar från större sjöar och vattendrag långt nere i avrinningsområdena, med en regional tillförsel av vatten. pH-värdena i dessa sjöar och vattendrag avspeglar därmed inte markförhållandena i de lokala omgivningarna. Denna kartläggning användes därför enbart för visuella jämförelser med överskridandekartan och som underlag för en diskussion kring användandet av sjödata för kartläggning av markförurningsstatusen.

### **3.3 Resultat**

#### **3.3.1 Förurningsstatusen i Jönköpings län**

I bilaga 10a presenteras resultatet av kartläggningen utifrån pH-mätningar i små sjöar och vattendrag långt upp i avrinningsområdena. Trots att många dräneringsområden saknar värde syns en tydlig trend. I väster är läget värst medan tillståndet i öster är bra. I bilaga 10b illustreras pH i resterande områden, baserat på pH-mätningar i sjöar och vattendrag i små och stora sjöar och vattendrag, långt upp såväl som långt ner i avrinningsområdena. De två kartorna (bilaga 10a och 10b) kombineras i bilaga 11. Enligt den heltäckande kartan tillhör 4900000 ha, 45 % av länet, den högsta pH-klassen (pH > 6.0). 270000 ha, 25 %, tillhör den lägsta pH-klassen (pH < 5.0).

#### **3.3.2 Jämförelser med data från ståndortskarteringen**

Enbart kartläggningen grundad på pH-mätningar i små sjöar och vattendrag långt upp i avrinningsområdena (bilaga 10a) jämfördes med data från ståndortskarteringen. Kartläggningen där denna kompletterats med data från andra typer av sjöar och vattendrag ansågs innehålla för stora osäkerheter för att användas till annat än diskussionsunderlag.

Medelvärde av pH samt av baskatjonhalt från ståndortskarteringen i de olika pH-klasserna från pH-mätningar i vattendrag presenteras i tabell 7.

Tabell 7. Medelvärde (mv) och standardavvikelse (std) av pH från ståndortskarteringen i pH-klasserna som är baserade på data om försurningsläget i sjöar och vattendrag.

pH-klass enligt pH-mätningar i vattendrag	Antal punkter	mv av pH enligt ståndortskarteringen	std av pH enligt ståndortskarteringen
1	14	5,1	0,3
2	10	4,9	0,5
3	9	5,4	0,2
4	5	5,2	0,7

Ett lågt antal värden gör, tillsammans med de stora lokala variationerna på ståndortskarteringens mätvärden, att siffrorna är mycket osäkra och inga klara trender syns. Två signifikanta skillnader erhöles. Klass 1 och 3 och klass 2 och 3 skilde sig åt, med avseende på pH ( $p < 0,05$ ). pH ökar med ökad pH-klass.

### 3.3.3 Jämförelser med överskridande av markens buffringskapacitet

Det är svårt att jämföra kartan baserad på pH-mätningar i vattendrag med överskridandekartan annat än rent visuellt (Bilaga 6 och 11). Överskridandekartan består av pixlar med olika värde, medan kartan baserad på sjödata är indelade i fyra klasser med helt andra enheter.

Vid en jämförelse mellan kartläggningarna framträder en del likheter. Speciellt området i öster, där det är bra ställt, har en ungefär likadan utbredning på kartläggningarna. Västra delen är dock mer försurningsdrabbad enligt kartan grundad på pH-mätningar än enligt överskridandekartan. Tillståndet i området öster om Vättern skiljer sig även markant åt mellan överskridandekartan (bilaga 6), som visar på ett högt överskridande, och kartan baserad på sjödata (bilaga 11), där området tillhör den högsta pH-klassen.

En statistisk analys gjordes också utifrån de digitaliserade sjöpunkterna. Medelvärdet och standardavvikelsen på överskridandet beräknades för varje pH-klass. Resultatet presenteras i tabell 8.

Tabell 8. Medelvärde (mv) och standardavvikelse (std) för överskridande av bedömd buffringskapacitet (kg S/ha/år) i de fyra olika pH-klasserna.

pH-klass enligt pH-mätningar i vattendrag	Antal punkter	mv överskridande (kg S/ha/år)	std överskridande
1	118	5,1	2,3
2	51	4,0	2,0
3	26	-0,06	2,2
4	46	-1,2	2,7

Skillnaden mellan de olika klasserna är signifikant på nivån 0,001, förutom mellan klass 1 och 2 där skillnaden är signifikant på nivån 0,01 och mellan klass 3 och 4 där ingen signifikant skillnad finns. Överskridandet minskar med ökad pH-klass.

### 3.4 Diskussion

Kartläggningen baserad på pH-mätningar i små sjöar och vattendrag långt uppe i avrinningsområdena (bilaga 10a) kan antas avspegla närområdets markförsurning bra. Däremot bör kartan som kompletterats med andra pH-mätningar (bilaga 11) tolkas med en viss försiktighet. Många avrinningsområden har här fått pH-värden från mätningar i större sjöar och vattendrag. Försurningsituationen i dessa sjöar är inte representativa för markförsurningsstatusen i området. Det gröna stråket i Lagans dalgång (bilaga 11) kan delvis förklaras med att pH mätts i Lagan och i större sjöar som förses med vatten från Lagan. En annan förklaring kan vara att andelen jordbruksmark i Lagans dalgång är större än i omgivningarna (Sveriges Nationalatlas, 1992). Sjöar i jordbruksbygder är mindre utsatta för försurning än skogssjöar, bl a på grund av den högre torrdepositionen i skogen och trädrötternas avgivande av vätejoner.

Trots osäkerheterna i de enskilda avrinningsområdena kan vissa tolkningar göras även från den heltäckande kartan baserad på sjöförsurningsdata (bilaga 11). Området öster om Vättern är enligt denna kartläggning inte försurningsdrabbat. Kartläggningen utifrån geologi och deposition visar däremot på ett högt överskridande. En förklaring kan vara att de sjöar och vattendrag som valts ut för pH-mätningar inte avspeglar omgivande marks försurningsstatus på ett bra sätt. Detta talas emot av det faktum att nära nog alla avrinningsområden i området tillhör den högsta pH-klassen. Förklaringen till avvikelserna kan även finnas i kartläggningen baserad på geologi och deposition. Någon viktig parameter kan ha bortsetts från eller underskattats. En trolig förklaring är att moränsammansättningen i detta område inte avspeglas i berggrunden. Moränen kan ha sitt ursprung i Östergötlands kalkrika berggrund och därmed buffra bra mot försurning. En annan bidragande orsak kan vara att området öster om Vättern har större andel jordbruksmark än de västra delarna av länet (Sveriges Nationalatlas, 1992).

pH-punkterna i bilaga 9 ger intrycket av att denna metod är användbar för att kartlägga försurningsläget, eftersom de uppvisar en jämn övergång från försurade sjöar i väster till friska sjöar i öster. Punktkartan kan jämföras med pH-punkterna från ståndortskarteringen (bilaga 7) som ger ett mycket plottrigt intryck, p g a stora lokala variationer, och som därför inte är lika användbara i sammanhanget. Jämförelsen av kartläggningen med ståndortskarteringen visade på en signifikant pH-ökning mellan pH-klass 1 och 2 samt mellan pH-klass 1 och 3 ( $p < 0,5$ ). Sambanden var dock inte så tydliga som man kunde förväntat sig, vilket förmodligen beror mer på ståndortskarteringsdatans natur (stora lokala variationer på de uppmätta parametrarna) än på fel i kartläggningen.

Kartläggningen grundad på geologi och deposition och kartläggningen baserad på pH-mätningar i vattendrag har trots helt olika underlag stora likheter. En skillnad är att den sydvästra delen av länet är mest försurningsdrabbad enligt överskridandekartan, medan försurningsgradienten på kartan baserad på pH-mätningar i sjöar och vattendrag är nord-sydlig, d v s hela västra delen av länet är hårt drabbad. Detta kan delvis ha att göra med det avvikande depositionsvärdet i väster, som ligger på en björkyta och därmed inte är representativt. Även området öster om Vättern skiljer sig åt markant mellan de båda kartläggningarna. Området har ett högt överskridande, samtidigt som i stort sett alla avrinningsområden har ett pH som är över 6.0. Detta kan ha att göra med att moränen i området innehåller kalk, till skillnad från underliggande bergart, på vilken kartläggningen av överskridandet baserats. Denna hypotes stärks av att området har en flora som tyder på att moränen innehåller en högre kalkhalt än resten av länet, men talas emot av mätningarna från ståndortskarteringen, som tyder på en mycket låg halt av baskatjoner. Men då

antalet mätningar från ståndortskarteringen är få, och dessutom anger totalhalter och inte utbytbara halter, är de inte helt tillförlitliga för en bedömning av buffringskapaciteten.

I stora drag tyder både det visuella intrycket och de statistiska analyserna på att kartläggningarna har god överensstämmelse. Detta förstärker trovärdigheten i kartläggningarna.

#### 3.4.1 Felkällor

pH-mätningarna har inte gjorts med syftet att användas till detta ändamål, utan till att beskriva tillståndet i länets sjöar, som underlag för sjökalkningen. Av denna anledning är valet av provlokaler inte optimalt för kartläggningen. Valet av provlokaler är subjektivt och bilden kan därför bli lite skev. Fler prover har tagits i de hårdast drabbade områdena, vilket syns på punktkartan i bilaga 9. Genom att omvandla kartan till en polygonkarta med avrinningsområdena som minsta enhet minskas denna skevhet.

Upplösningen kan givetvis aldrig bli högre än avrinningsområdenas storlek, varför t ex lokala variationer i berggrunden inte kommer med i kartläggningen. Nämnas bör också att där sjökalkning är utförd har mätningarna gjorts före kalkningen, och eftersom detta har gjorts vid olika tidpunkter skiljer det en del i tid mellan mätningarna.

Den heltäckande kartläggningen (bilaga 11) är delvis baserad på pH-mätningar från större sjöar som tillförs vatten från stora områden. Dessa sjöar är inga bra indikatorer på den lokala markförsurningsstatusen.

#### 3.4.2 Förslag till förbättringar

Kartläggningen baseras dels på pH-mätningar från mindre sjöar och vattendrag långt uppe i avrinningsområdena, dels på pH-mätningar från sjöar och vattendrag som inte valts ut utifrån dessa kriterier. De senare är inte tillförlitliga i detta sammanhang, och bör därför bytas ut mot data som insamlats enligt ovannämnda kriterier.

Det optimala är att göra mätningar enbart för detta ändamål, i punkter som kan antas avspegla försurningssituationen i närområdet. Dessutom bör punkterna vara så lika som möjligt, med avseende på geologi, vegetation, mm, så att de är direkt jämförbara med varann. Små skogssjöar långt uppe i avrinningsområdena utgör lämpliga provlokaler.

## 4. Nästa steg: Kartläggning i större skala

De framställda kartorna är tänkta att användas för att gå vidare och göra en kartering i större skala i de värst drabbade områdena. Till exempel kan kartläggning i större skala utföras i de områden där buffringskapaciteten överskrids. Ett alternativ är att ta ut områdena som tillhör pH-klass 1 eller 2 för vidare kartläggning. För att sätta gränserna för den vidare kartläggningen kan kalibreringar behöva göras mot någon form av fältdata.

En bra skala att jobba med i nästa steg kan vara att kartlägga de olika dräneringsområdena. Detta är naturgeografiskt sett en logisk indelning, som kan vara praktisk när man jobbar med topografi och hydrologi. Berggrundskartor och jordartskartor i högre upplösning kan användas i den mån det finns att tillgå. Ytterligare information som kan vara mycket användbar är digitala höjdmodeller (Digital Elevation Models, DEM) med 50m-pixlar. I bilaga 12 illustreras topografin i ett av dräneringsområdena i länet med en digital höjdmodell (6ESV). Utifrån en sådan rasterkarta kan lutning och sluttningsriktning i varje pixel räknas ut i ArcView. Det finns även moduler som utifrån en höjdmodell räknar fram sluttningens längd i varje punkt (Pilesjö, 1992). Med hjälp av höjdmodellen och en sådan modul kan avrinningsområdets hydrologiska förhållanden kartläggas och en digital terrängmodell (DTM) framställas. Utströmningsområden, vattendelare, branta sluttningar och flacka områden kan identifieras och sedan vägas ihop med geologin med någon empiriskt framtagen modell (t ex Minell, 1992) för att ta fram en karta över markens försurningskänslighet. I denna skala kan även sluttningsriktningen vägas in som en faktor vid depositionsberäkningarna. I ArcView 3.0 kan de sluttningsriktningarna som är mest exponerade (S-V) identifieras, och de berörda pixlarnas depositions värden kan multipliceras med en empiriskt framtagen koefficient.

## 5. Avslutande diskussion och slutsatser

Svårigheterna med utvärderingen gör det svårt att bedöma pålitligheten i resultaten, men de liknande resultaten från kartläggningen baserad på geologiska data och depositionsdata samt kartläggningen grundad på pH-mätningar i vattendrag utgör en tillräcklig grund för att anse att det är värt att gå vidare med denna typ av kartläggningar. Den lokala variationen på ståndortskarteringens data överskrider ofta den regionala trenden, och därmed är denna information inte optimal att använda ens i utvärderingssyfte i denna skala. Baskatjonhalterna avser dessutom totalhalter, medan det mest intressanta hade varit de utbytbara halterna.

Trots den splittrade bilden som mätningarna från ståndortskarteringens ger går det att få en överblick över vissa trender. Andelen pH-värden som underskrider 5 är högre än andelen som överskrider 5 i den sydvästra delen av länet, medan motsatsen gäller för den östra delen (bilaga 7). De få mätvärdena som finns i norra delen av länet, i området öster om Vättern, är förhållandevis höga.

Ca-halterna ger en helt annorlunda bild (bilaga 8). Det som är mest slående är hur väl de lägsta värdena följer isälvsavlagringarna, en trend som inte har någon motsvarighet för pH-värdena. Mer svåröklarliga är kanske de höga värdena i sydväst, som är lika höga som värdena på den basiska bergarten i öster, trots att berggrunden är sur, depositionen är hög och sjöar och vattendrag är svårt försurade. De låga värdena i norr är också förvånande med tanke på att sjöarnas tillstånd är förhållandevis gott och att floran indikerar att marken är kalkrik.

De höga värdena i sydväst kan bero på att den i övrigt sura bergarten på många håll genomslås av basiska gångar och mindre områden med basiska bergarter, som generaliserats bort vid digitaliseringen på grund av deras ytterst begränsade utsträckning. Dessa områden kan vara för små för att påverka sjöar och vattendrag i någon större utsträckning, men vid mätningar av den typen som gjorts vid ståndortskarteringens slår den basiska bergartens buffrande förmåga igenom förutsatt att punkterna ligger på de basiska partierna. Det faktum att antalet punkter är relativt få kan i detta fallet ha lett till att punkterna av slumpen hamnat just på dessa små basiska partier. Detta bör undersökas närmre, genom att med hjälp av berggrundskartor i större skala ta fram information om underliggande bergart vid varje mätpunkt.

Antalet mätpunkter i norr är litet och eftersom de lokala variationerna är stora kan punkterna även här vara belägna på lokaler som inte är representativa för omgivningarna. Det faktum att mätpunkterna öster och nordöst om länet också har låga värden talar emellertid för att det verkligen är låga värden i detta området. För att få klarhet i vad som orsakar de låga värdena krävs ett tätare provtagningsnät i området.

Kartläggningen baserad på geologi och deposition samt kartläggningen baserad på pH-mätningar från vattendrag kan komplettera varann, för att ge en så sann bild som möjligt av försurningsläget. Genom att jämföra olika parametrar i de områden som skiljer sig åt mellan de båda kartläggningarna kan man öka kunskaperna och förbättra metoderna. Olika län har olika förutsättningar vad gäller geologi, mm, varför metoderna måste anpassas efter förhållandena i de olika länen.

GIS är ett mycket starkt verktyg för ändamålet. De begränsande faktorerna i detta arbetet är i stället bristen på data. Fler fältmätningar hade gjort det lättare att väga ihop den geologiska



informationen för att erhålla ett mått på buffringskapaciteten, och en bättre utvärdering hade kunnat utföras. Jordartskartor hade kunnat förbättra resultatet. De få depositions punkterna är en svaghet i analysen.

Ett samarbete mellan experter inom många olika områden, krävs för att kunna utveckla denna typ av metoder. Ett nära samarbete mellan ekologer, geologer, jägmästare, naturgeografer, limnologer, hydrologer, meteorologer, m fl är önskvärt.

Användandet av GIS bygger på att geografisk information av olika slag vägs ihop för att få fram ny geografisk information. Ofta krävs stora mängder indata och speciellt på forskningsnivån är det viktigt att ha tillgång till många olika typer av geografiska data för att kunna testa olika grepp. För att kunna utnyttja metoden på ett optimalt sätt krävs därför att det är enkelt och billigt att få tag på olika typer av information. Så är inte fallet i dagsläget. Ett ökat samarbete krävs för att kunna använda sig av geografisk informationsbehandling på ett effektivt sätt.

Slutsatserna av denna studie kan sammanfattas enligt nedan:

- Enligt kartläggningen baserad på geologisk information överskreds den bedömda buffringskapaciteten på 80 % av länets yta. Läget är värst i sydväst och bäst i östra delen av länet. Kartläggningen ger översiktlig information om markförsurningen på länsnivå som kan användas för identifiering av riskområden. Metoden har stor utvecklingspotential och stor vikt bör läggas på att minska osäkerheten i buffringskapaciteten bl a genom ökad kunskap om olika geologiska faktorerers relativa betydelse. Även depositionsdata kan förbättras, dels genom att vid interpolationen utifrån punktmätningarna ta hänsyn till varierande förhållanden vid mätstationerna, dels genom att ta med kvävet i beräkningarna.
- Kartläggningen baserad på pH-mätningar i sjöar och vattendrag visar även den på en minskad försurning mot öster. pH-mätningar i mindre vattendrag långt uppe i avrinningsområdena bör kunna användas som ett mått på respektive avrinningsområdes försurningsstatus. Däremot är pH-mätningar från större sjöar eller åar mindre användbara för detta ändamål. För att sjöförsurningsdata ska kunna användas krävs att pH-mätningar genomförs i alla avrinningsområden, i ett eller flera vattendrag. Vattendragen som provtas ska uppfylla vissa kriterium, exempelvis måste vattnet som dräneras till vattendraget vara av lokalt ursprung och vattendraget måste vara okalkat.
- Då totalhalter av baskatjoner från ståndortskarteringen jämfördes med texturen påvisades ett samband mellan isälvsavlagringar och låga baskatjonhalter. Detta är användbar information vid bedömning av olika geologiska faktorerers relativa betydelse för markförsurningen.
- Ståndortskarteringens mätningar av pH och totalinnehåll av baskatjoner i C-horisonten (50 cm) är inte optimala för att använda i detta syfte, p g a stora lokala variationer som delvis överskuggar den regionala trenden. Ett större antal mätningar hade kunnat ge säkrare resultat. Baskatjonhalten avser dessutom det totala innehållet, och inte den utbytbara delen, som hade varit mer användbar som ett mått på buffringskapaciteten.
- GIS (Geografiska Informationssystem) är ett mycket användbart verktyg vid denna typ av kartläggningar.

## Referenslitteratur

- Bydén, S., Lind, B., Martinsson, A. och Nyström, U., 1997. Sjövattnen som indikator på markförsurning. Skogsstyrelsen - Rapport 1:1997. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.
- Elvingson, P., 1992. Skogsutsikter. Göteborgs Universitet, Institutionen för Miljövård.
- Lejonklev, M., 1996. Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i Svalövs kommun. Reports in ecology and environmental engineering - Report 2:1996. Lunds universitet, Institutionen för kemisk teknologi.
- Lindström, I., Samuelsson, H. och Wijk, S., 1993. Skogsmarkskalkning. Skogsstyrelsen - Rapport 6:1993. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.
- Lång, L-O., 1995. Geological Influences upon Soil and Groundwater Acidity in Southwestern Sweden. Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet.
- Lövblad, G., Kindbom, K., Grennfelt, P., Hultberg, H. och Westling, O., 1995. Deposition of Acidifying Substances in Sweden. Ecological Bulletins 44 : 17-34. Copenhagen.
- Melkerud, P-A., Olsson, M. och Rosén, K., 1992. Geochemical Atlas of Swedish Forest Soils. Swedish University of Agricultural Sciences. Reports in forest ecology and forest soils - Report 65. Uppsala.
- Minell, H., 1990 The Part of Quarternary Geology in Uranium Prospecting. Striae, Vol 29:79-83. Uppsala.
- Minell, H., 1992. Buffringskartor för skogsmarkskalkning. Nämnden för skoglig fjärranalys. Ej publicerad.
- Nihlgård, B.J., 1996. Skogsskadornas mångfaldiga bakgrund. Skog & Forskning, nr 3:96.
- Nilsson, J. och Grennfelt, P., 1988. Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. Miljörapport 1988:15. Workshop at Skokloster, Sweden, 19-24 March, 1988.
- Olsson, M. och Melkerud, P-A, 1991. Determination of Weathering Rates Based on Geochemical Properties of the Soil. Geological Survey of Finland. Special Paper 9, 69-78.
- Pilesjö, P., 1992. GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments. Estimation of Soil Erosion Parameters at Different Scales. Meddelanden från Lunds Universitets Geografiska Institutioner. Avhandlingar 114. Lunds Universitet, Naturgeografiska Institutionen.
- SNV, 1981. Försurning av mark och vatten. Monitor 1981.
- Sverdrup, H. och Warfvinge, P., 1993. Critical Loads of Acidity to Swedish Forest Soils. Methods, data and results. Reports in ecology and environmental engineering - Report 5:1995. Lunds universitet, Institutionen för kemisk teknologi.

Sveriges Nationalatlas, band 2., 1990. Skogen. SNA förlag.

Sveriges Nationalatlas, band 4., 1991. Miljön. SNA förlag.

Sveriges Nationalatlas, band 5., 1992. Jordbruket. SNA förlag.

Sveriges Nationalatlas, band 12., 1994. Berg och jord. SNA förlag.

## Personlig kommunikation

Lång, L-O., 1997.

Lars-Ove Lång  
SGU, Uppsala

Ward, A. och Broberg, O., 1996.

Anna Ward och Ola Broberg  
Länsstyrelsen i Jönköpings län, Jönköping

Westling, O., 1997

Olle Westling  
IVL, Aneboda

## Kartor och mätdata

Fejes, J. och Williams, C., 1996. Motala Ströms Vattenvårdsförbund, Redovisning av recipientkontroll 1993-1995. IVL-Rapport. Stockholm.

Geijer, P., 1951. SGU serie Aa 193. Beskrivning till kartbladet Gränna. Kungliga boktryckeriet. P. A. Norstedt & söner. Stockholm.

IVL, 1996. Bilaga till: Övervakning av luftföroreningar i södra Sverige:

- Jönköpings län: Utvärdering av resultat från oktober 1985 till september 1995. Utförd av IVL för Jönköpings läns luftvårdsförbund.
- Älvsborgs och Göteborgs och Bohus län: Utvärdering av resultat från oktober 1985 till september 1995. Utförd av IVL för Göteborgs och Bohus läns länsstyrelser.
- Östergötlands län: Utvärdering av resultat från oktober 1994 till september 1995. Utförd av IVL för Skogsvårdsstyrelsen i Östergötlands län.
- Kalmar län: Utvärdering av resultat från oktober 1985 till september 1995. Utförd av IVL för Kalmar läns luftvårdsförbund.
- Kronobergs län: Utvärdering av resultat från oktober 1985 till september 1995. Utförd av IVL för Kronobergs läns luftvårdsförbund.
- Skaraborgs län: Utvärdering av resultat från oktober 1993 till september 1995. Utförd av IVL för Kommunförbundet i Skaraborgs län.
- Hallands län: Utvärdering av resultat från oktober 1985 till september 1995. Utförd av IVL för Länsstyrelsen i Hallands län.

Lantmäteriverket. Röda kartan över Jönköpings län i digitalt vektorformat.

Lantmäteriverket. Digital höjdmodell för kartbladet 6ESV.

Länsstyrelsen i Jönköpings läns register med resultat från vattenprovtagningar.

Länsstyrelsen i Jönköpings län, 1993. Biologisk återställning. Meddelande 6/93. (Bygger på ovanstående register).

SGU. Berggrundskarta över Jönköpings län, skala 1:250000. Ser Ah nr 11.

SGU. Karta över känslighet för infiltration av föroreningar i Jönköpings län, skala 1:250000. Ser Ah nr 11.

SLU. pH och totalanalyser av Ca, K och Mg-halter från Jönköpings län med omgivning. Ståndortskarteringen, 1983-1987.

SMHI. Avrinningsområden i Jönköpings län i digitalt vektorformat.

## Förteckning över bilagor

Bilaga 1. *Bergarterna i Jönköpings län indelade i fyra klasser med avseende på buffringskapacitet.* Underlagsmaterial för kartläggningen är SGU:s länskarta över berggrunden i skala 1:250000 (SGU, Ser Ah11).

Bilaga 2. *Texturen i Jönköpings län indelad i fyra klasser med avseende på buffringskapacitet.* Underlagsmaterial för kartläggningen är SGU:s länskarta över känslighet för infiltration av föroreningar i skala 1:250000 (SGU, Ser Ah11).

Bilaga 3. *Bedömd buffringskapacitet med avseende på svavel i skogsmark i Jönköpings län.* Underlagsmaterial för kartläggningen är de båda geologiska kartorna i bilaga 1 och 2.

Bilaga 4. *Svaveldeposition (enligt krondroppsmätningar) i Jönköpings län och dess närmaste omgivning.* Mätningarna är utförda av IVL (IVL, 1996).

Bilaga 5. *Svaveldeposition i Jönköpings län interpolerad från krondroppsmätningar i länet och dess närmaste omgivningar (Interpolationsmetod: Splines).* Interpolationen baseras på punkterna i bilaga 4.

Bilaga 6. *Överskridande av bedömd buffringskapacitet med avseende på svavel i Jönköpings län.* Underlagsmaterial för kartläggningen är kartläggningarna över buffringskapacitet (bilaga 3) och svaveldeposition (bilaga 5).

Bilaga 7. *pH (50 cm:s djup) från ståndortskarteringens mätningar i Jönköpings län och dess närmaste omgivning.* Mätningarna är utförda av SLU under åren 1983-1987.

Bilaga 8. *Totalhalt av kalcium (50 cm:s djup) från ståndortskarteringens mätningar i Jönköpings län och dess närmaste omgivning.* Mätningarna är utförda av SLU under åren 1983-1987. Texturkartan (bilaga 2) används som bakgrund.

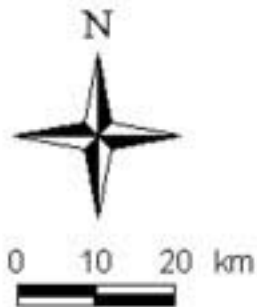
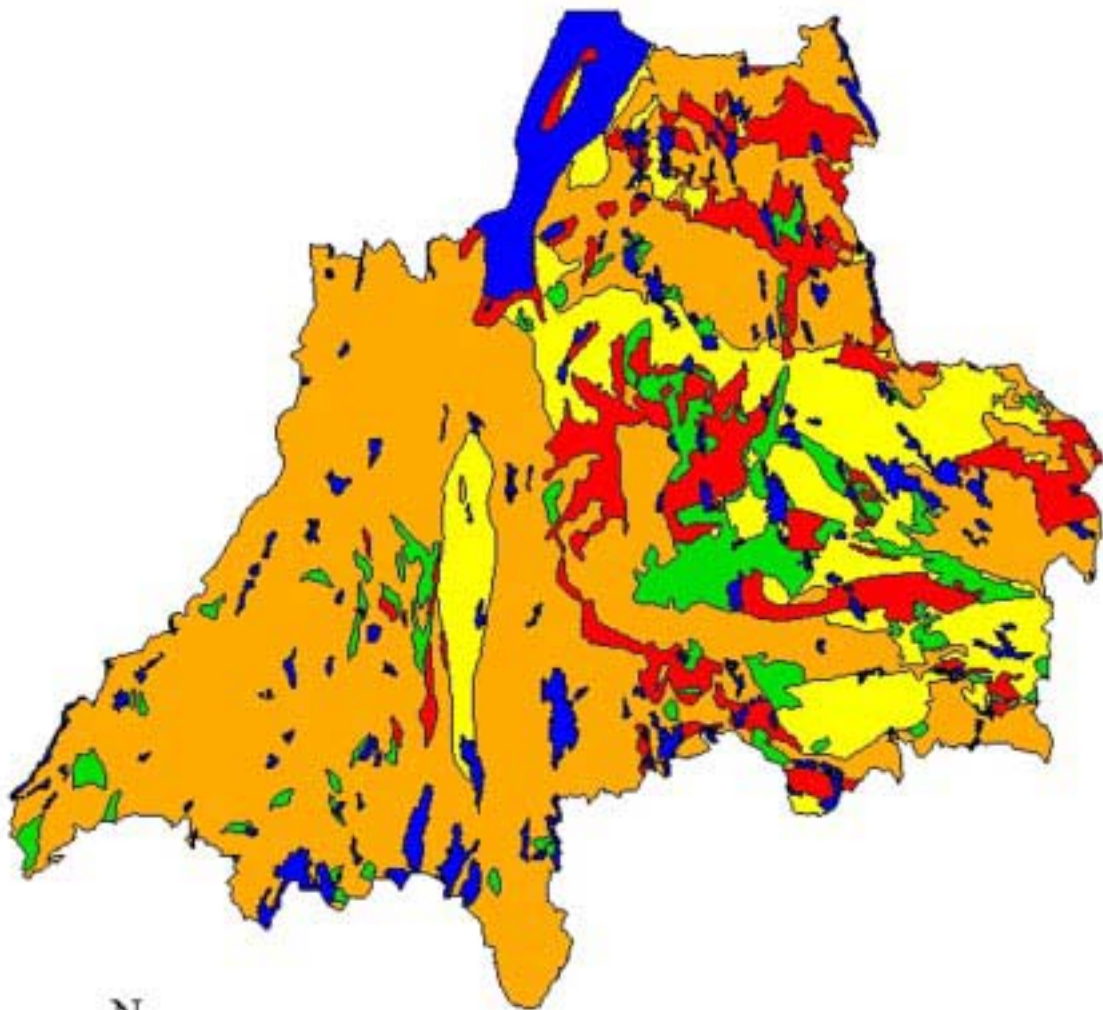
Bilaga 9. *pH i små sjöar och vattendrag långt upp i avrinningsområdena i Jönköpings län.* Punkterna har digitaliserats utifrån en kartläggning utförd av Länsstyrelsen i Jönköpings län (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 1993).

Bilaga 10. *pH i avrinningsområden i Jönköpings län.* Kartläggningen över avrinningsområden härstammar från SMHI. Informationen om försurningsstatusen i de olika avrinningsområdena bygger på Länsstyrelsen i Jönköpings läns register med resultat från vattenprovtagningar.






Bilaga 11. *pH i Jönköpings läns avrinningsområden baserat på pH-mätningar i sjöar och vattendrag.* Kartläggningen är en sammanslagning av kartläggningarna i bilaga 10a och 10b.

Bilaga 12. *Digital höjddmodell för ett avrinningsområde i Jönköpings län. Pixelstorlek: 50\*50 m.* Kartläggningen över avrinningsområden härstammar från SMHI och höjddata kommer från Lantmäteriverkets digitala höjddmodell för kartbladet 6ESV.

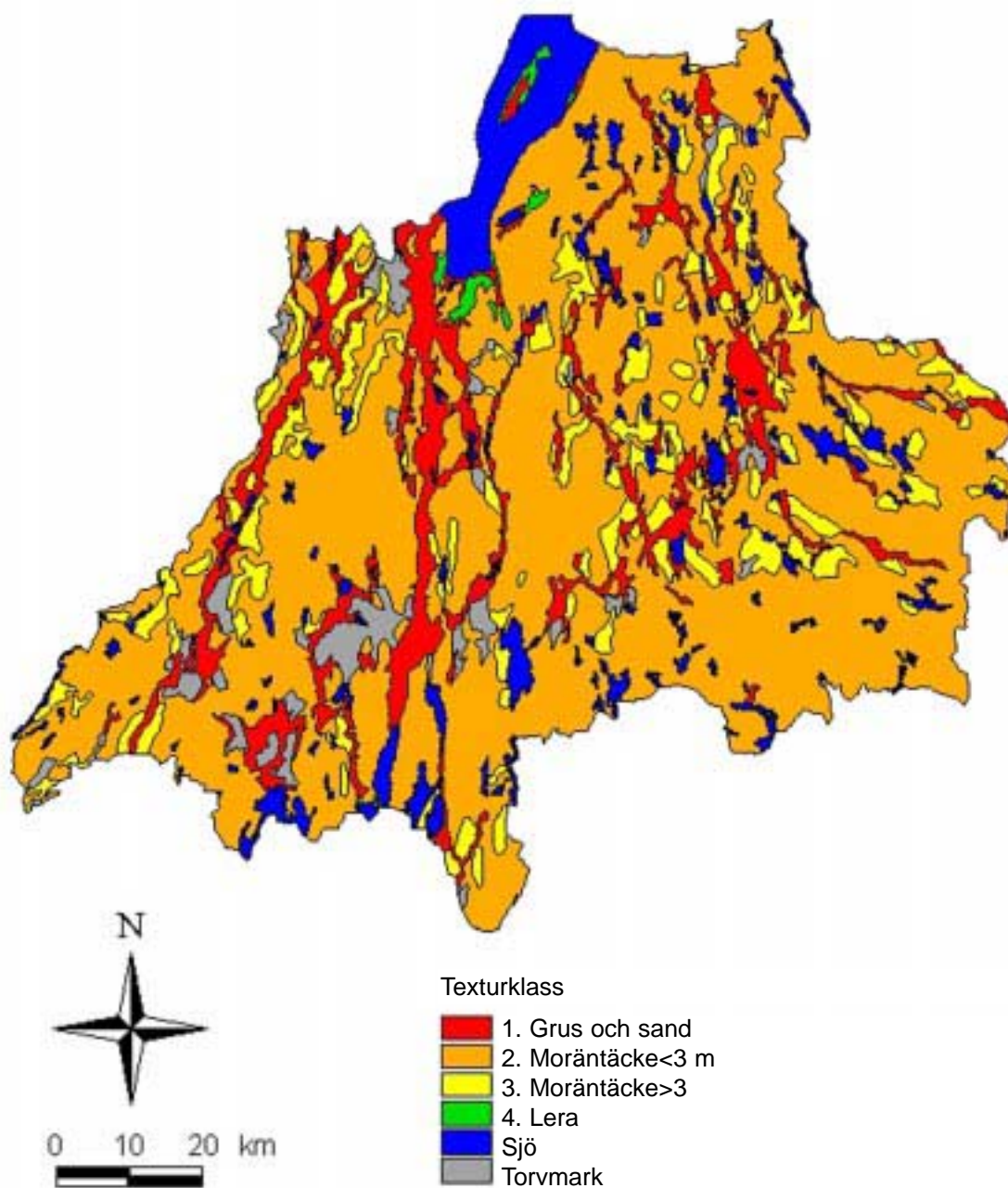
Bergarterna i Jönköpings län  
indelade i fyra klasser med avseende på buffringskapacitet



Bergartsklass (Buffringskapacitet i kg S/ha/år)

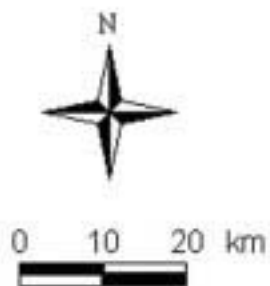
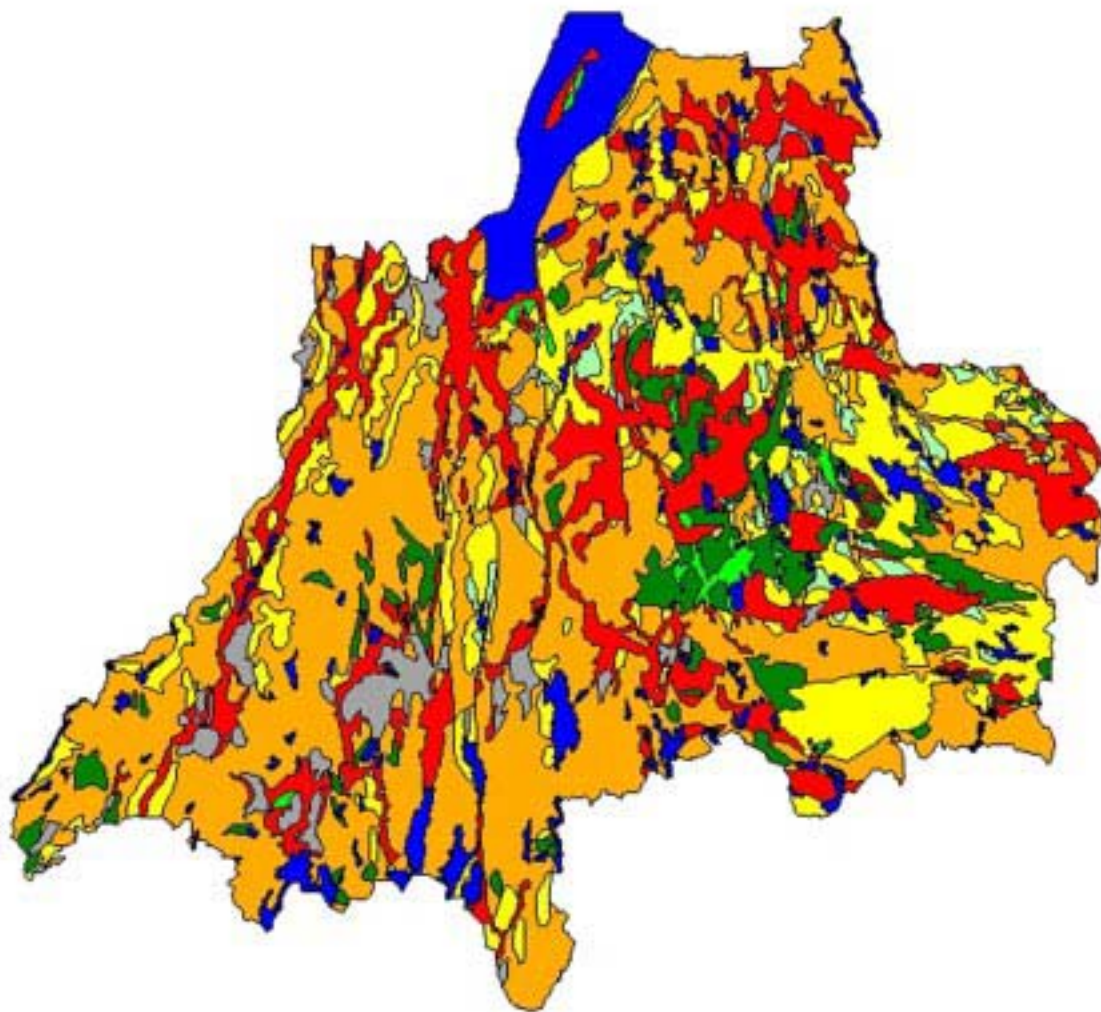
-  1. Mycket sur bergart (0-3)
-  2. Sur bergart (3-8)
-  3. Intermediär bergart (6-12)
-  4. Basisk bergart (16-32)
-  Sjö

Texturen i Jönköpings län indelad i fyra klasser  
med avseende på buffringskapacitet  
(ökad buffringskapacitet nedåt)

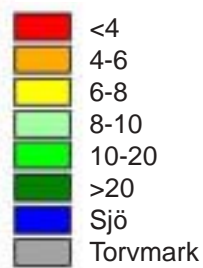


Bedömd buffringskapacitet med avseende på svavel  
i skogsmark i Jönköpings län

(Kartläggningen baseras på geologisk information.)

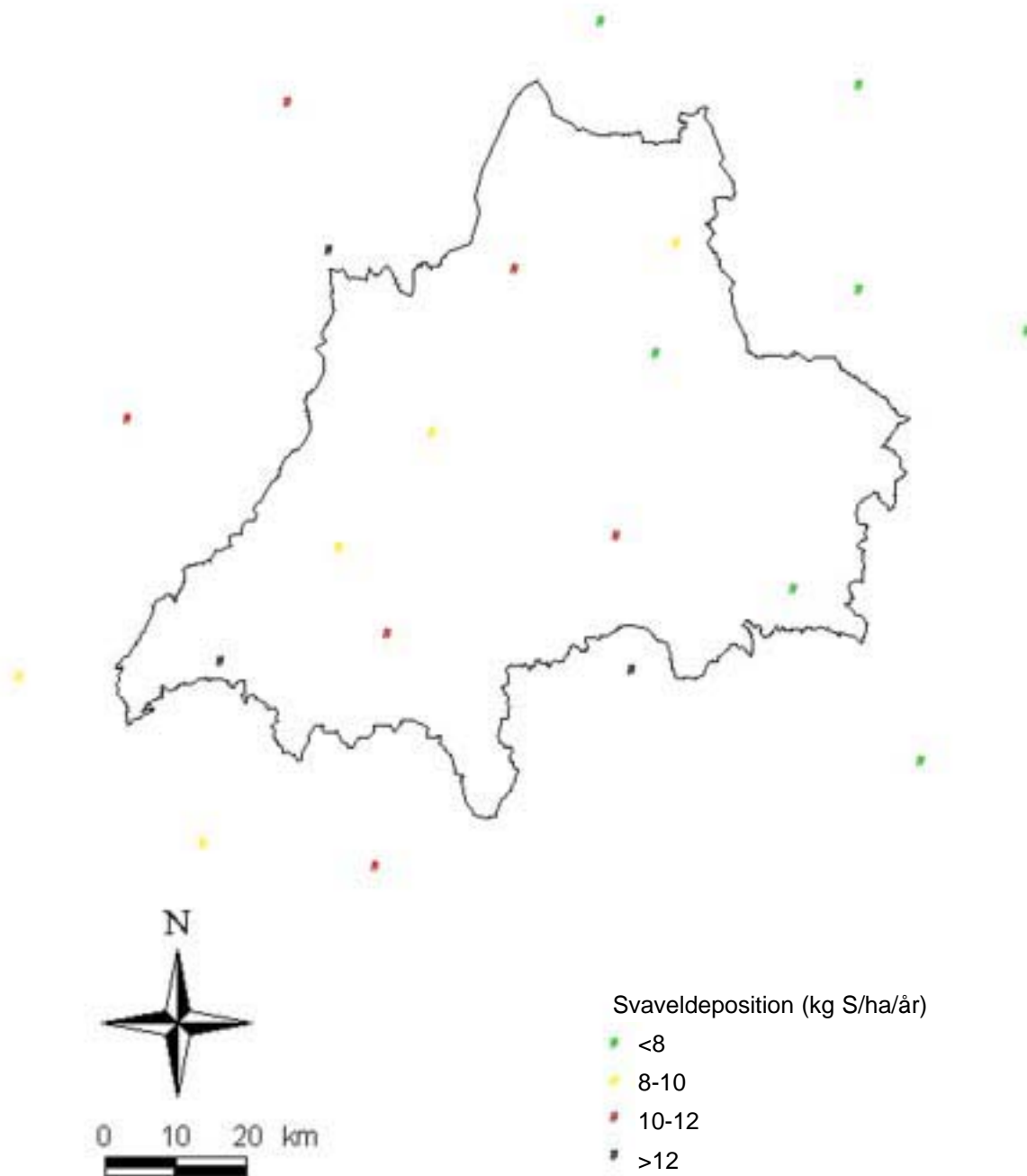


Buffringskapacitet (kg S/ha/år)

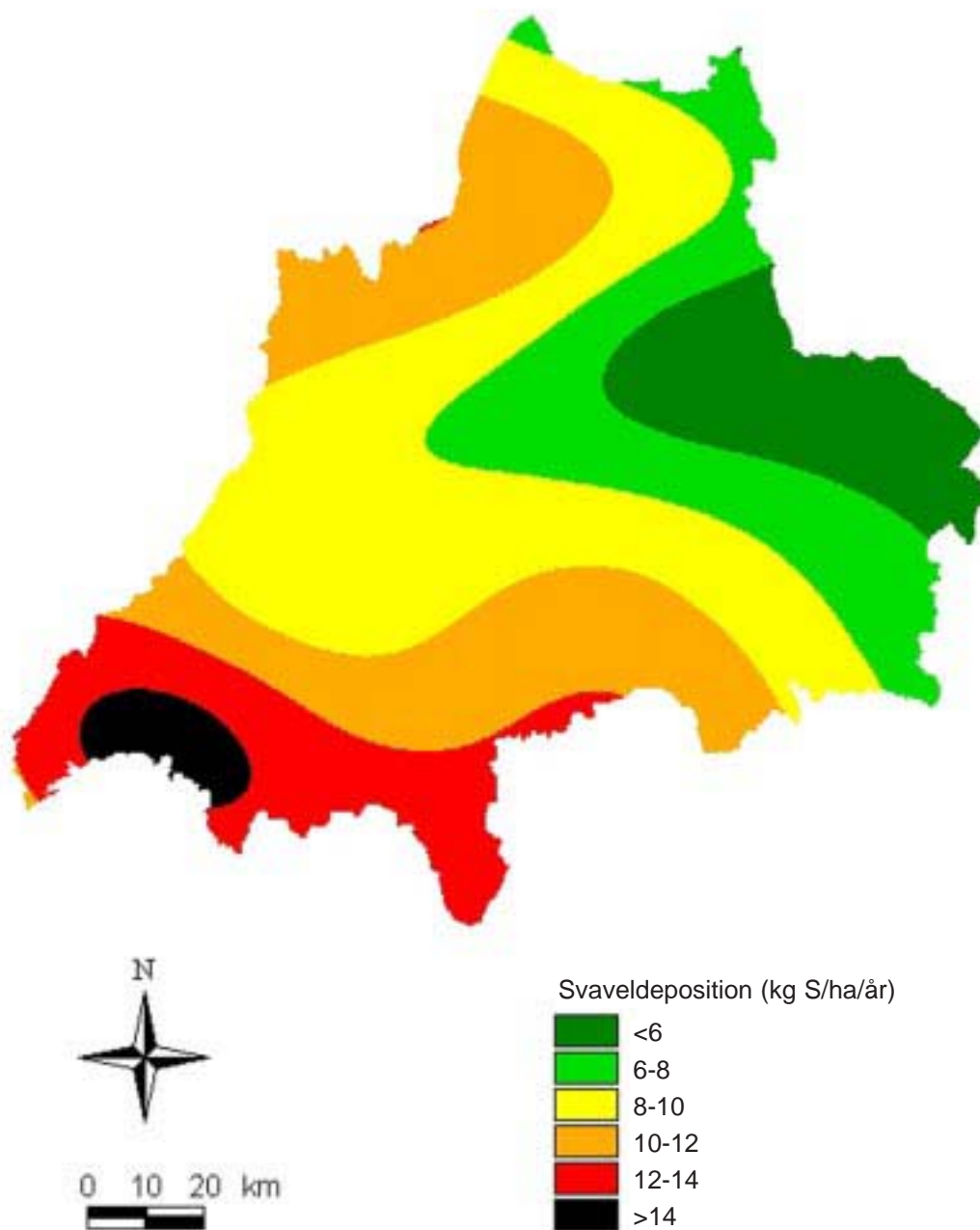




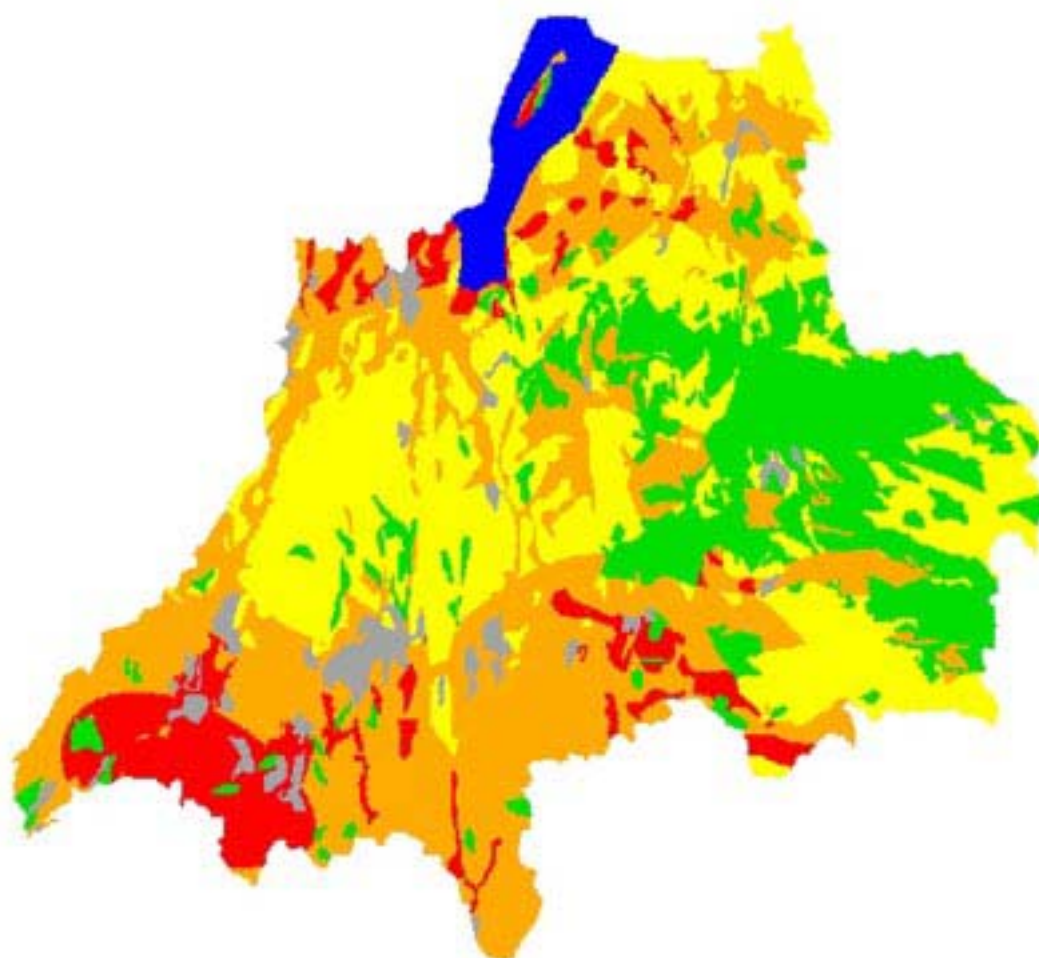
Svaveldeposition (enligt krondroppsmätningar)  
i Jönköpings län och dess närmaste omgivning



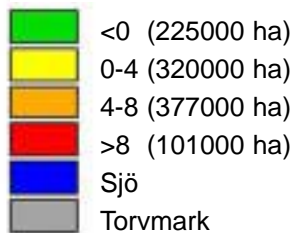
Svaveldeposition i Jönköpings län interpolerad från  
krondroppsmätningar i länet och dess närmaste omgivningar  
(Interpolationsmetod: Splines)



Överskridande av bedömd buffringskapacitet  
med avseende på svavel i Jönköpings län  
(Siffrorna gäller för skogsmark)



Överskridande (kg S/ha/år)



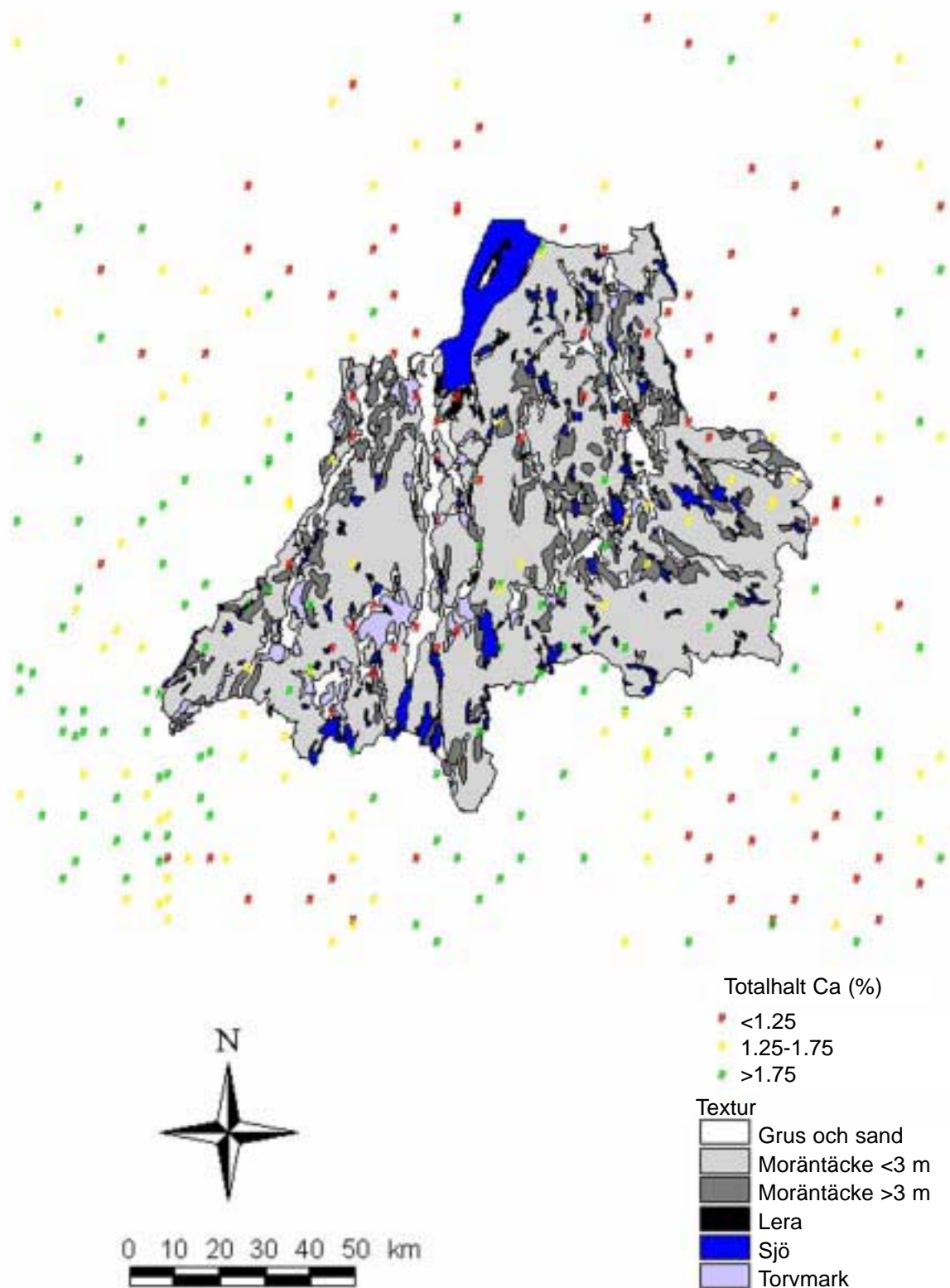
pH (50 cm:s djup) från ståndortskarteringens mätningar i  
Jönköpings län och dess närmaste omgivning



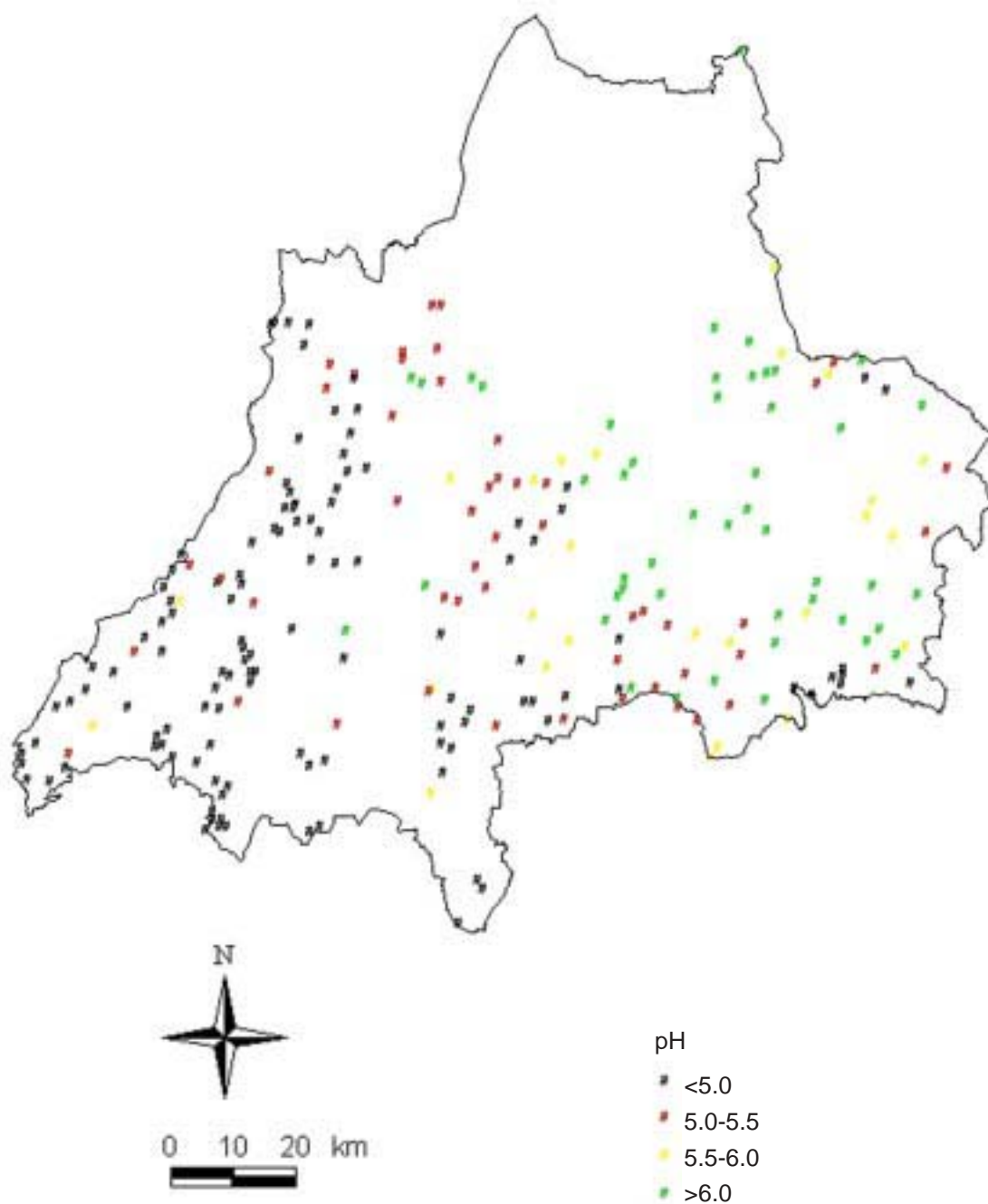
pH

- <5.0
- 5-5.5
- 5.5-6
- >6.0

Totalhalt av kalcium (50 cm:s djup) från ståndortskarteringens mätningar  
i Jönköpings län och dess närmaste omgivningar  
(Texturkartan används som bakgrund.)

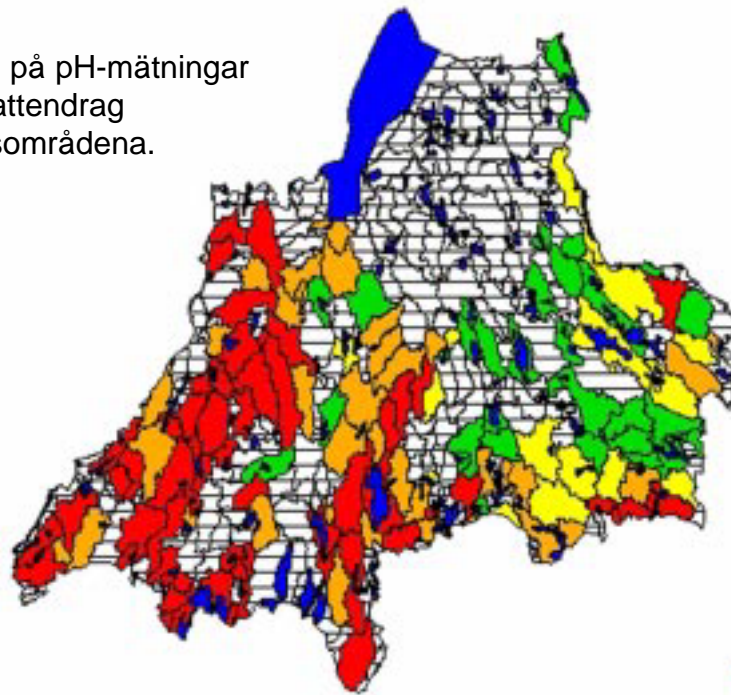


pH i små sjöar och vattendrag  
långt upp i avrinningsområdena i Jönköpings län

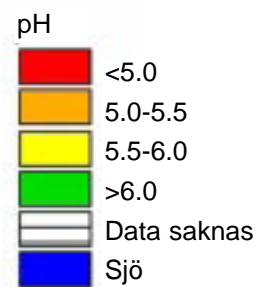
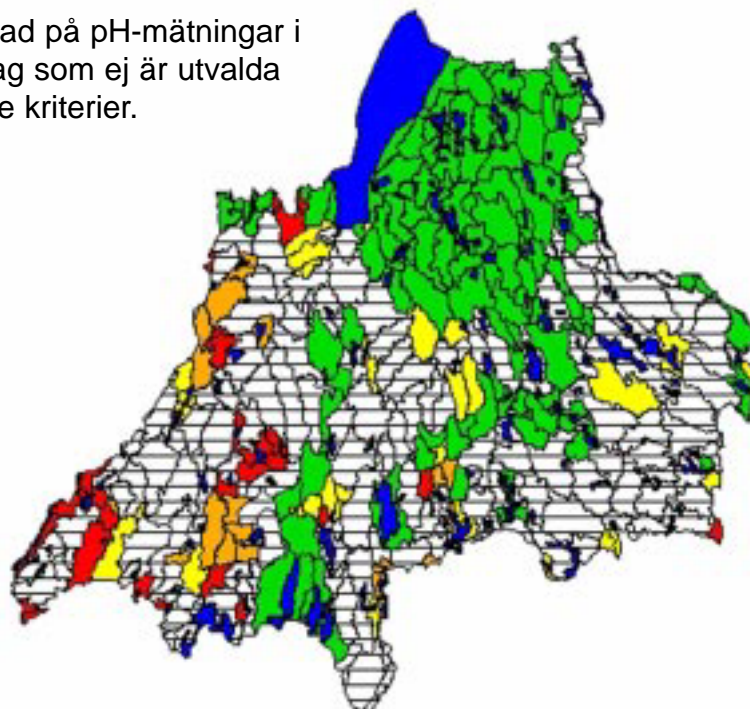


## pH i avrinningsområden i Jönköpings län

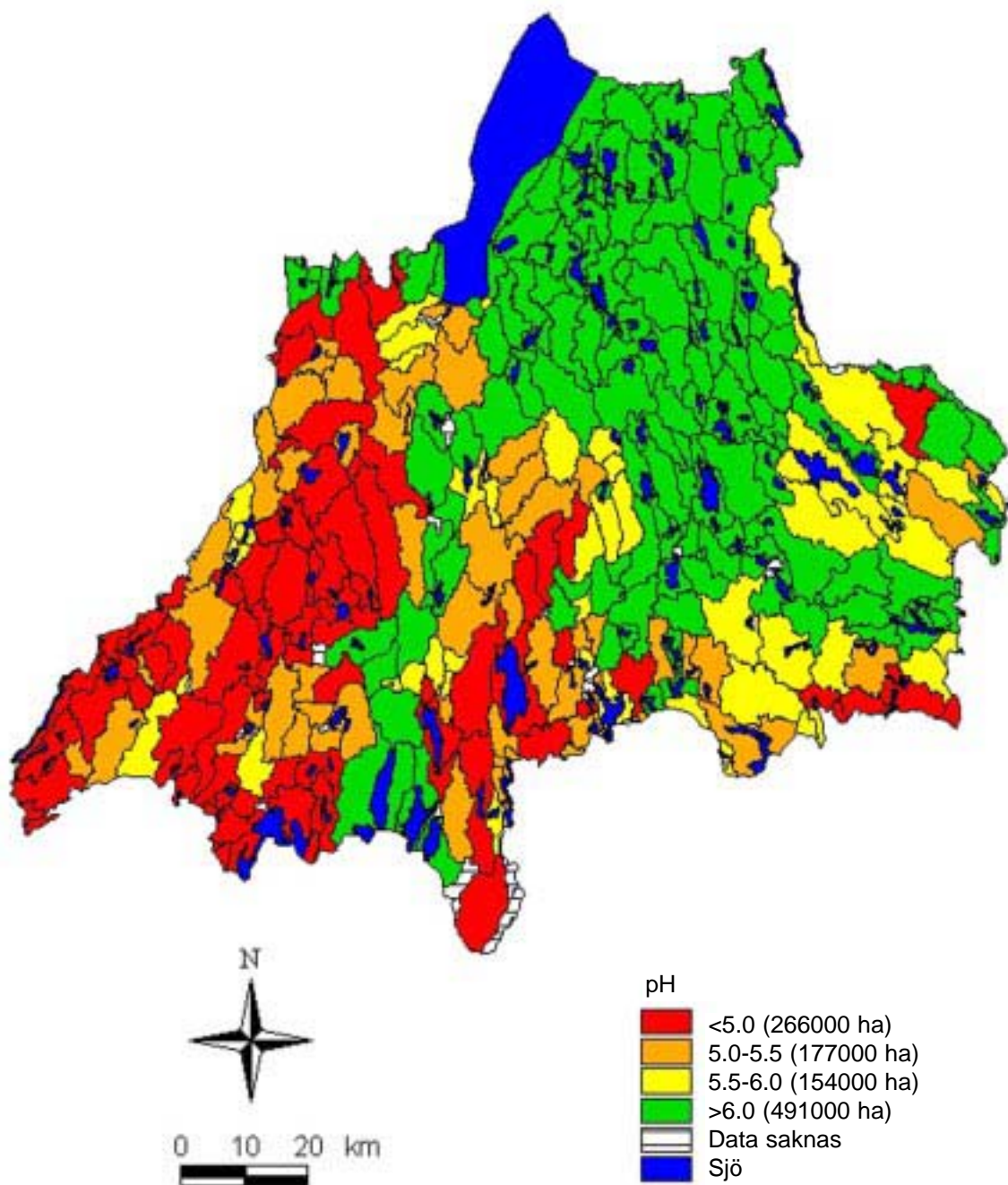
a Kartläggning baserad på pH-mätningar från små sjöar och vattendrag långt upp i avrinningsområdena.



b Kartläggning baserad på pH-mätningar i sjöar och vattendrag som ej är utvalda utifrån ovanstående kriterier.

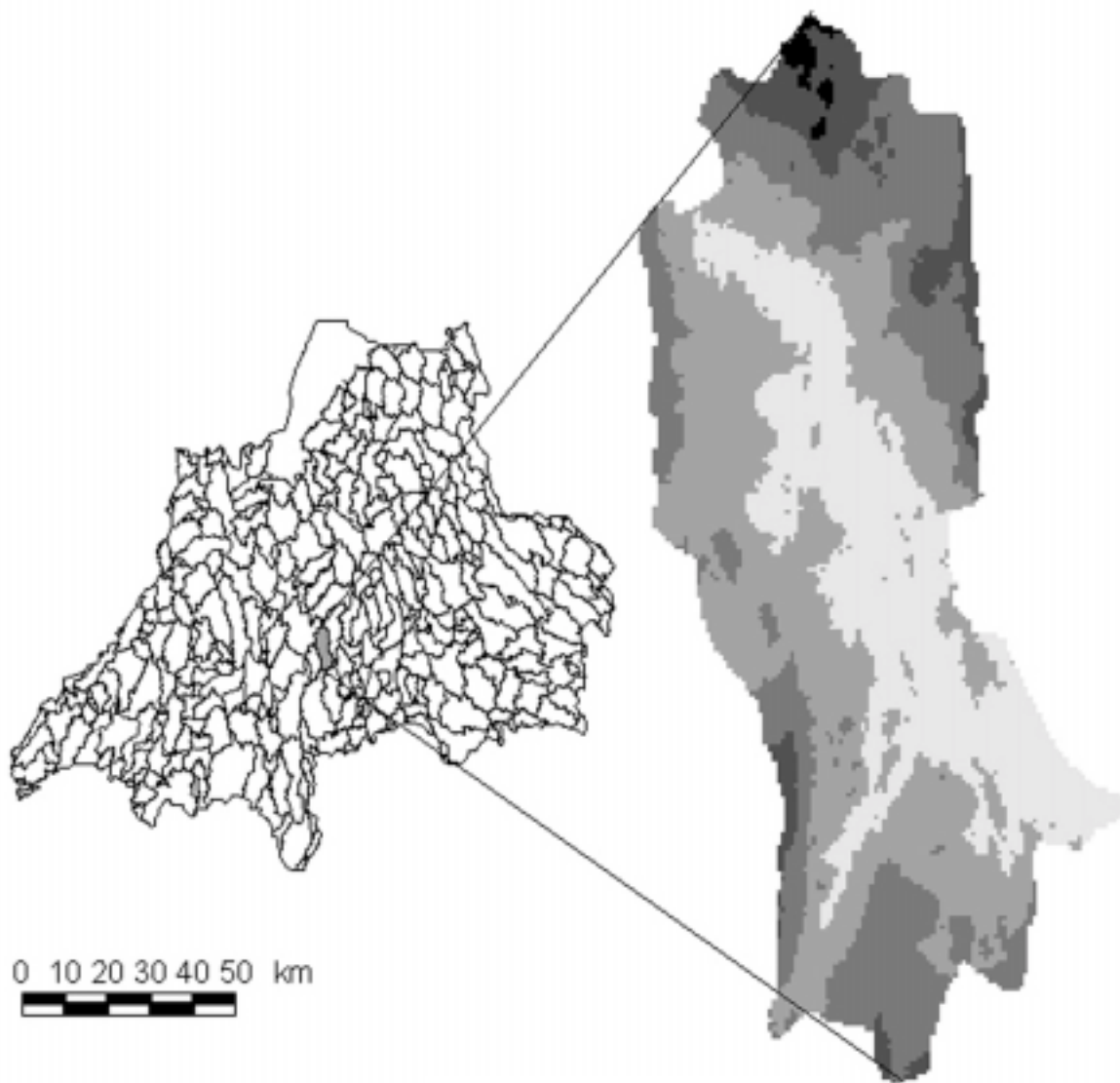


pH i Jönköpings läns avrinningsområden  
baserat på pH-mätningar i sjöar och vattendrag





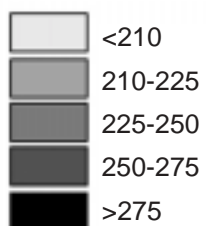
Digital höjdmodell för ett avrinningsområde i Jönköpings län  
Pixelstorlek 50\*50 m



0 10 20 30 40 50 km



Höjd över havet (m)



0 0.5 1 1.5 2 km

I denna rapport beskrivs två GIS-baserade metoder för kartläggning av markförsurning på länsnivå. Underlagsmaterialet utgörs av geologiska kartor, mätningar av svavelnedfall samt pH-mätningar från sjöar och vattendrag.

Studien ingår i Skogsvårdsorganisationens kalknings- och vitaliseringsprojekt och syftet är att utveckla en metod för att ta fram kartläggningar som kan användas som underlag för planering av kalknings- och vitaliseringsinsatser.