



Översyn av beräkningen av bakgrundsförlust av fosfor

Faruk Djodjic, SLU

Elin Widén-Nilsson, SLU

Avtal: 4-2013-13

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten

Publicering: www.smed.se

Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Adress: 601 76 Norrköping

Startår: 2006

ISSN: 1653-8102

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI. Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete inom olika områden, bland annat som ett svar på Naturvårdsverkets behov av expertstöd för Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall samt farliga ämnen. Målsättningen med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, och att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter, luft- och vattenvårdsförbund, näringsliv m.fl. Mer information finns på SMEDs hemsida www.smed.se.

Innehåll

INNEHÅLL	4
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	6
BAKGRUND	7
SYFTE	8
RESULTAT OCH DISKUSSION	9
Uppmätta fosforhalter i alvprover från jordbruksmark	9
Jämförelse med andra dataset	10
Sammanfattning av mätresultaten och jämförelse med andra dataset	14
Effekt på bakgrundsbelastningen	14
Framtagning av karta	14
Beräkning av bruttobelastning	17
Osäkerhetsanalys	18
Framtagning av osäkerhetsintervall	18
Osäkerhetsintervallens effekt på bruttobaksgrundsbelastningen	22
SLUTSATSER	26
REFERENSER	27

Sammanfattning

I Pollution Load Compilation 5 (PLC5) -beräkningen beskrevs fosforhalten (P-halten) i marken genom att dela in jordbruksmarken geografiskt i tre klasser där den lägsta klassen (P-klass 1) motsvarade en medelhalt av 60,7 mg P/100 g jord. Denna lägsta klass användes därefter i bakgrundsberäkningar av fosforläckaget för att kunna utskilja den antropogena belastningen från jordbruksmark från den totala belastningen från jordbruksmark. Ett enda värde på P-bakgrundshalt tar inte hänsyn till de naturliga variationerna i P-bakgrundshalten i den svenska åkermarken. I detta projekt utvärderade vi en annan metod för att kvantifiera bakgrundsbelastningen där vi använde fosforhalter i svensk jordbruksmark (P-HCl) i alven (40-60 cm) vid beräkning av bakgrundsförlusterna.

Först jämförde vi dessa data med motsvarande data för svensk skogsmark för att bedöma likheter och skillnader i den geografiska variationen av P-halter över Sverige. Dessa två oberoende dataset uppvisar stora likheter och samvarierar åtminstone i den skala som jämförelsen gjordes i, det vill säga mellan olika utlakningsregioner. För det andra jämfördes P-halter i alven med motsvarande P-halter i matjorden i svensk åkermark, och med hänsyn tagen till gödslingsintensitet. De erhållna resultaten visar ett starkt samband mellan P-halter i matjorden och gödslingsintensiteten, medan ett sådant samband saknas för P-halter i alven, vilket stärker antagandet att alven är opåverkad av gödsling och därmed representativ som P-bakgrundshalt.

Därefter beräknade vi effekterna av ändringar i P-bakgrundshalt, i förhållande till PLC5-resultatet. Både den översiktliga beräkningen och en mer fördjupad beräkning med osäkerhetsanalys tyder på att bakgrundsbelastningen från svensk åkermark, beräknad utifrån de nya bakgrundshalterna, blir lägre (ca 100 ton brutto) jämfört med PLC5-resultatet. Det är viktigt att betona att denna minskning består även om man tar hänsyn till osäkerheten i jordartsfördelningen, som troligtvis är den viktigaste källan till osäkerhet. Detta behöver dock inte innebära att den framräknade skillnaden utgörs enbart av en högre antropogen jordbruksbelastning. Nyare studier visar också att belastningen från skogen kan vara större än vad som beräknades i PLC5. Mer detaljerade beräkningar krävs dock för att till fullo kvantifiera om, eller i hur stor omfattning förändringarna som visats i dessa nya rön kompenserar varandra.

Summary

In Swedish work for HELCOM's Fifth Pollution Load Compilation (PLC5), background content of phosphorous (P) for Swedish arable land was described by the lowest P-class, representing an average concentration of 60.7 mg P/100 g soil. This value was then used as the background soil P content in order to distinguish the anthropogenic load from total agricultural land. A single value of the background P content does not account for the natural variation in the P background concentrations in Swedish arable soils. In this project, we evaluated an alternative method to quantify the background load where we used P content from the subsoil (40-60 cm) of Swedish agricultural soils (P-HCl).

Firstly, we compared soil P content in Swedish subsoil to comparable data from Swedish forest soils, to assess similarities and differences in the spatial variation of P content across the country. These two independent data sets were quite comparable and correlated, at least when compared at the scale of Sweden's 22 leaching regions. Secondly, we compared P content in the subsoil with corresponding P content in the topsoil of Swedish arable land, with regard to fertilization intensity. The obtained results show a strong correlation between P contents in the topsoil and manure intensity, while such a correlation is lacking for P contents in the subsoil. These findings strengthens the assumption that the subsoil is unaffected by fertilization and thus representative of the background P content.

Thereafter, we estimated the effects of changes in the P background content, in comparison to PLC5 results. Both the rather simple calculation and a more detailed calculation with uncertainty analysis suggest that the background load of Swedish arable land, calculated from the background levels using the new method, is lower (about 100 tonnes gross load) compared with PLC5 results. It is important to emphasize that this reduction persists even if one takes into account the uncertainty in the soil type distribution, which is in this case probably the main source of uncertainty. This does not mean that the calculated difference consists only of a higher anthropogenic agricultural load. Concurrent studies show that the impact of the forest may be greater than estimated in PLC5. Assuming that the total load from Sweden in PLC5 is correct, the total contribution from agriculture could be lower if the forest contribution is higher. However, more detailed evaluations are required to fully quantify whether and to what extent these new findings compensate each other.

Bakgrund

Uppskattning av bakgrundshalten av fosfor (P) för jordbruksmark är en viktig del i bedömningen av övergödningspåverkan. Bedömning av övergödningspåverkan baseras i dag huvudsakligen på Pollution Load Compilation 5 (PLC5)-beräkningarna som redovisar olika bakgrundstyphalter beroende på jordart, region, lutning och P-halt i marken (Brandt m.fl., 2008). I PLC5-beräkningen beskrevs P-halten i marken genom att dela in jordbruksmarken geografiskt i tre klasser där den lägsta klassen (P-klass 1) motsvarade en medelhalt av 60,7 mg P/100 g jord (Johnsson m.fl., 2008). Klassindelning begränsade beräkningen och motsvarade inte den naturliga och stora variationen i P-halten. Beräkningarna i Tekniskt Beräkningssystem Vatten (TBV) har därför utvecklats så att rumsligt varierande värden på P-halt kommer att användas för beräkningen av jordbruksmarkens läckage i PLC6 (Djordjic m.fl., 2008; Persson, 2009). För jordbruksmark har bakgrunden definierats som förlusten från en ogödslad och oskördad permanent gräsvall med ett markfosforinnehåll som motsvarar den nivå som var på början av 1960-talet (Brandt m.fl., 2008). I PLC5 beräknades bakgrundsförlusterna från jordbruksmark genom att anta att P-halten är lika med P-klass 1, det vill säga en och samma halt över hela Sverige. Eftersom jordbruksläckaget i PLC6 ska beräknas baserat på rumsligt varierande P-halter så behöver bakgrundsberäkningen också baseras på P-halter som i högre grad motsvarar den naturliga variationen i bakgrunden än halten för P-klass 1. Djordjic och Wallin (2011) föreslog att byta P-klass 1 enhetliga värde mot rumsligt varierande värden som grundar sig på motsvarande P-halter i alven (40-60 cm), d.v.s. på ett djup som anses vara opåverkad av gödsling och vars P-halter därmed kan antas vara representativa även för en opåverkad matjord (Börbling, 2003).

Det finns ett antal möjliga förbättringar av metodiken från Djordjic och Wallin (2011) för att få en säkrare bedömning av bakgrundsnivåerna. För det första behövs en uppskattning av hur de föreslagna P-halter i marken förhåller sig till P-halter i matjorden. Bakgrundshalterna borde i de flesta fall vara lägre jämfört med P-halter i den gödslade matjorden. För det andra, behövs en uppskattning av osäkerheterna kopplade till indata och resultat, speciellt med tanke på lokala tillämpningar där upplösningen i vissa delar av dataunderlaget är på en betydligt grövre skala.

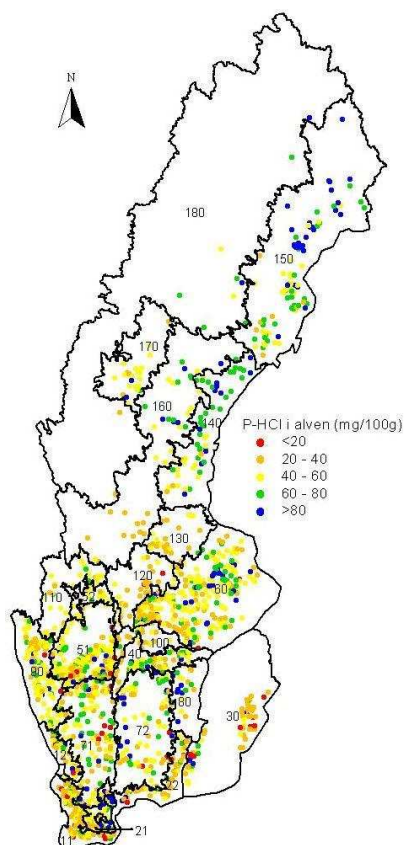
Syfte

Huvudsyftet med uppdraget är att vidareutveckla metodiken för beräkning av bakgrundshalten av P för jordbruksmark genom att förbättra underlaget för rumslig distribution av P-halter i marken.

Resultat och diskussion

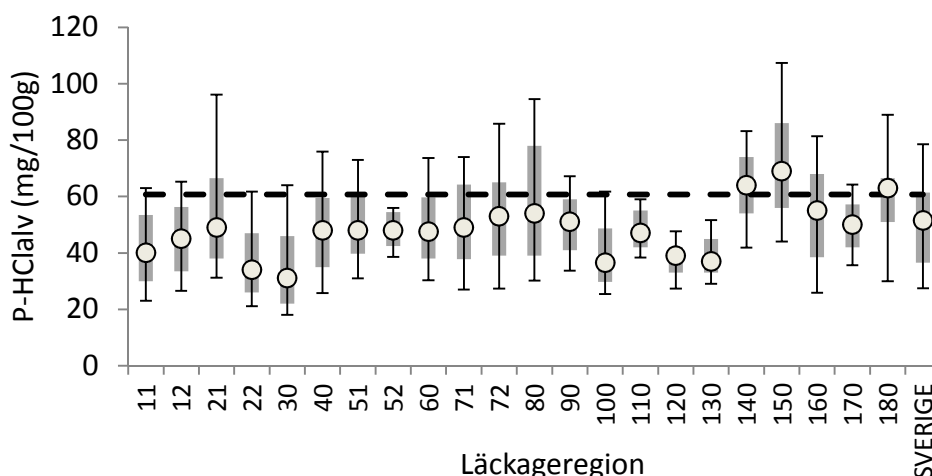
Uppmätta fosforhalter i alvprover från jordbruksmark

Djodjic och Wallin (2011) föreslog att de fosforhalter i svensk jordbruksmark (P-HCl) i alven (40-60 cm) som redovisas av Andersson m.fl. (2000) används vid beräkning av bakgrundsförlusterna istället för den lägsta P-klassen (motsvarande 60,7 mg P/100g jord), som användes vid PLC5. Sammanlagt finns det 1680 koordinatsatta punkter med uppmätta värden av P-HCl i alven (figur 1). Även om det finns en stor variation i P-HCl-värdena så är medelvärdena (51 mg P/100g) såväl som medianvärdena (48 mg P/100g) i detta dataset signifikant lägre än ovan nämnt lägsta P-klass-värde.



Figur 1. P-HCl-värden i alven som punktdata (N=1680), klassade enligt agronomiska P-förrådklasser (Wiklander, 1976). Bakgrundskarta visar indelningen i 22 läckageregioner.

Åkermarken i Sverige har delats upp i 22 läckageregioner (figur 1). Grunden för uppdelningen har varit SCB:s indelning i 18 produktionsområden för redovisning av jordbruksstatistik, där fyra av produktionsområdena har delats på grund av för stora avrinningskillnader. Dessa läckageregioner nyttjas här för att illustrera den rumsliga variationen i P-HCl-halter i alven (figur 2).



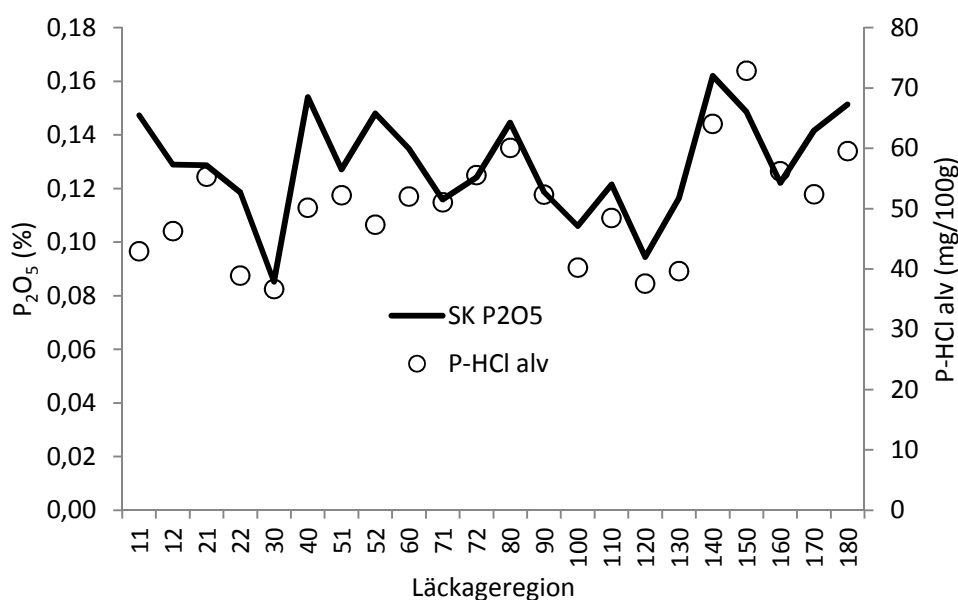
Figur 2. Median (vita cirklar) samt 10:e, 25:e, 75:e och 90:e percentil över P-HCl-värden i alven. Den streckade linjen representerar den lägsta P-klass värde (60,7 mg/100g) som användes som bakgrundshalt vid PLC5-beräkningarna.

Figur 2 ger en mer nyanserad bild över variationerna av P-HCl-halter i alven i svensk åkermark. Variationerna är relativt stora inom varje läckageregion men den generella trenden är lägre P-HCl-halter i södra delen av Sverige, speciellt i sydost (läckageregionerna 22 och 30) jämfört med övriga läckageregioner. I de flesta fall är bakgrundsvärdet som användes för PLC5 (60,7 mg/100g) högre än till och med 75:e percentilen av P-HCl-värden i alven.

Jämförelse med andra dataset

Det är viktigt att utvärdera dessa rumsliga variationer med oberoende data men problemet är brist på undersökningar som är både rikstäckande och samtidigt mäter jämförbara parametrar. Inom ståndortskarteringen som utfördes under perioden 1983-1987 av institutionen för skoglig marklära, SLU, analyserades totalmängder av makro- och spårämnen i alvprover (50 cm) från skogsmark, däribland P-halt (Ståndortskartering, 2013). Sammanlagt 1897 prover från skogsmark sammanställdes och jämfördes med P-HCl-värden från svensk åkermark. Data från dessa två dataset är inte

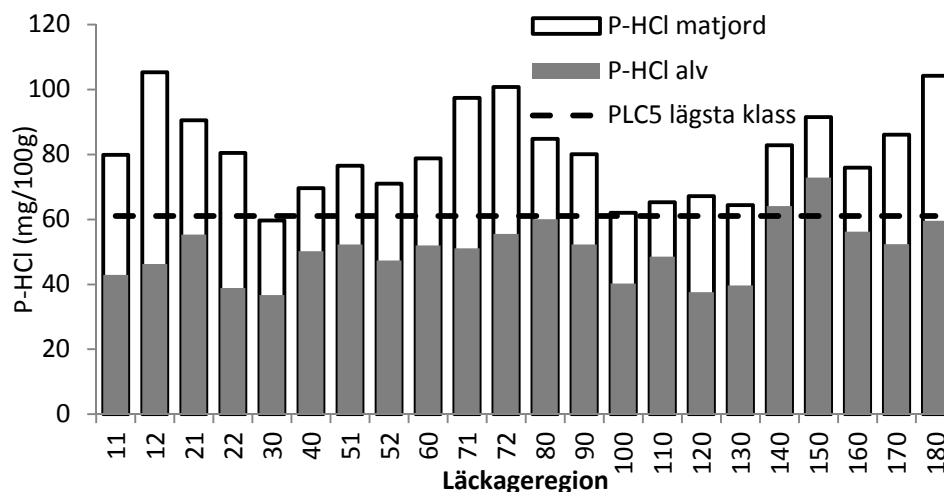
direkt jämförbara på grund av skillnaderna i t.ex. analysmetoder och provtagningstäthet, men den relativa jämförelsen av data aggregerade till större områden (t ex läckageregioner) kan belysa de rumsliga variationerna på regionalnivå och hjälpa till i utvärderingen av rimligheten av erhållna resultat. Jämförelsen mellan P-halter i skogsmarkens och åkermarkens alv på läckageregionsnivå visar på ett signifikant positivt samband ($R^2=0.45$) (figur 3). Det bör klargöras att antalet skogspunkter i de jordbruksintensiva läckageregionerna (t ex 11, 12 samt 52) var lågt, vilket till en del kan förklara den högre diskrepansen mellan åkermarkens och skogsmarkens P-halter i dessa fall. Generellt visar dessa två skilda dataset ganska likartade variationsmönster, med liknande rumsliga trender. Det stärker underlaget för de iakttagna spatiella variationerna i P-halt i Sverige och därmed även användningen av alvens P-halt som bakgrundshalt för svensk åkermark.



Figur 3. Medianhalter av P-HCl-halter i svensk åkermark (mg/100g, cirklar) och P₂O₅-halter (% , linje) i svensk skogsmark, aggregerade till läckageregioner.

En annan viktig jämförelse i detta sammanhang är jämförelse mellan P-halter i alven med P-halter i matjorden. I undersökningen av svensk åkermark (Andersson m.fl., 2000) togs och analyserades även matjordsprover. Sammanställningen av läckageregionens medelvärden visar på att matjordsproverna hade högre P-HCl-värden (figur 4) än jordproverna från alven. Sambandet mellan P-HCl-värdena i alven och i matjorden är positiv och signifikant, men relativt svagt ($R^2=0.31$). Det finns också skillnader mellan läckageregionerna, där differenserna i P-HCl-halter mellan

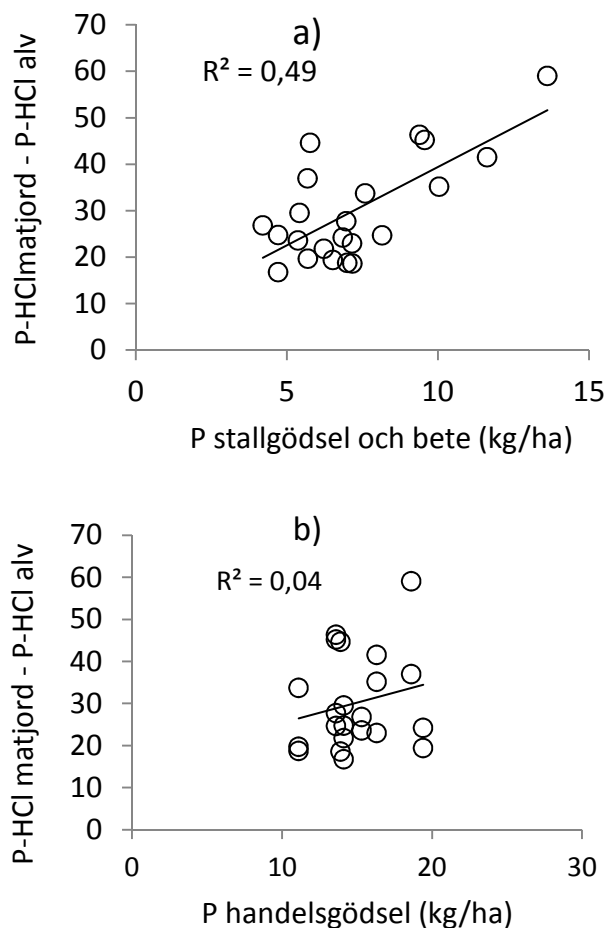
alven och matjorden är högre i södra Sverige än längre norrut. Det finns två troliga förklaringar till detta mönster. För det första är P-HCl-halterna i alven i de nordligaste regionerna naturligt högre på grund av P-rikare berggrund. För det andra bör högre jordbruksintensitet (gödsling, djurtäthet) i de södra läckageregionerna ha resulterat i en större skillnad mellan den påverkade matjorden och den opåverkade alven.



Figur 4. Medelvärden av P-HCl-halter i alven (grå staplar) och i matjorden (vita + grå staplar), per läckageregion. Den streckade linjen representerar den lägsta P-klassens värde (60,7 mg/100g) som användes som bakgrundshalt vid PLC5-beräkningarna.

Under PLC5-arbetet beräknades utifrån antalet djur och tillgänglig spridningsareal mängder näringsämnen (N och P i kg/ha) från stallgödsel och bete. Beräkningen gjordes för så kallade PLC5-områden, som i sin tur grundas på de 1000 TRK-områden som Sverige indelades i under TRK-projektet (Transport Retention Källfördelning; (Brandt och Ejhed, 2002)). Även dessa data aggregerades till läckageregionnivå för att undersöka om skillnader mellan P-HCl-halter i alven och i matjorden kan förklaras med tillgången till stallgödsel, som en viktig P-källa. Ett antal antaganden gjordes även inför denna jämförelse. De framräknade mängderna P från stallgödsel var visserligen beräknade för ett år (2006) men antas här indikera en längre tid av P-ackumulering på grund av högre produktion av stallgödsel i djurtäta regioner. Således antogs att den relativa skillnaden i antal djur mellan olika läckageregioner är ganska konstant och representativ även för förhållanden som sträcker sig några decennier bakåt i tiden då det skedde en uppgödsling av svensk åkermark med P på grund av stora P-överskottet. Hänsyn måste också tas till användning av handelsgödsel, vilket gjordes genom jämförelsen med SCB:s statistik över tillförd mängd P i form av

handelsgödsel för åren 1989/1990 – 2010/2011 (SCB, 2013). Resultaten visar ett tydligt positivt samband mellan mängden stallgödsel och skillnaden mellan P-HCl-halter i matjorden och alven (figur 5) medan sambandet med handelsgödseln i princip är obefintligt.



Figur 5. Skillnad mellan P-HCl-halter i matjorden och i alven (mg/100g) som funktion av beräknad mängd tillfört P från stallgödsel och bete (a) respektive från handelsgödsel (b). Varje punkt representerar en läckageregion.

Läckageregioner med högre djurtäthet och högre stallgödselgivor visar på tydligt högre skillnader mellan P-HCl-halter i matjorden i förhållande till motsvarande halter i alven. Det kan tolkas som att en högre djurtäthet leder till större P-överskott och därmed en uppgödsling av matjorden, medan alven förblir opåverkad. Inget samband mellan P i stallgödsel och P-HCl-halter i alven kunde därför hittas. Å andra sidan är det mer förvånande med det svaga sambandet med handelsgödsel-P. En förklaring till detta kan vara att den totala P-tillförseln från handelsgödsel till svensk åkermark varierat mycket mer över tiden än P-tillförseln från stallgödsel, med speciellt hög

tillförsel under 1950-1980-talen (Andersson m.fl., 2000). Därmed ger kanske inte statistiken som användes här (1998/1999-2010/2011) en rättvis bild av de rumsliga variationerna. Djurhållningen är mer stabil över tid och därmed ger en bättre bild över längre tidsperioder.

Sammanfattning av mätresultaten och jämförelse med andra dataset

Sammanfattningsvis så finns det goda belegg för att bedöma att P-HCl-halterna i alven i svensk åkermark är en mer rimlig uppskattning av bakgrundshalterna av P för svensk åkermark, än PLC5:s konstanta värde motsvarande den lägsta P-HCl-klassen i matjorden (60,7 mg P/100g jord) för all åkermark i Sverige.

Genom jämförelse med oberoende dataset har vi i detta projekt visat att:

1. de rumsliga variationerna över P-halter i alven i svensk åkermark är samstämmiga med motsvarande variationer i svensk skogsmark,
2. P-halterna i alven i svensk åkermark är inte påverkad av gödsling, i motsats till det starka sambandet som erhöles för P-halterna i matjorden.

Djordjic och Wallin (2011) föreslog att tillgängliga P-HCl-data från alven (Andersson m.fl., 2000) används enbart som riktmärke vid lokala beräkningar (avrinningsområden under 200 km²) av bakgrundshalten för P i jordbruksmark. Anledning till denna försiktighet ligger i den låga tätheten av mätpunkter (N=1680 för hela Sverige) med alvens P-HCl-data vilket ökar osäkerheten vid lokala tillämpningar.

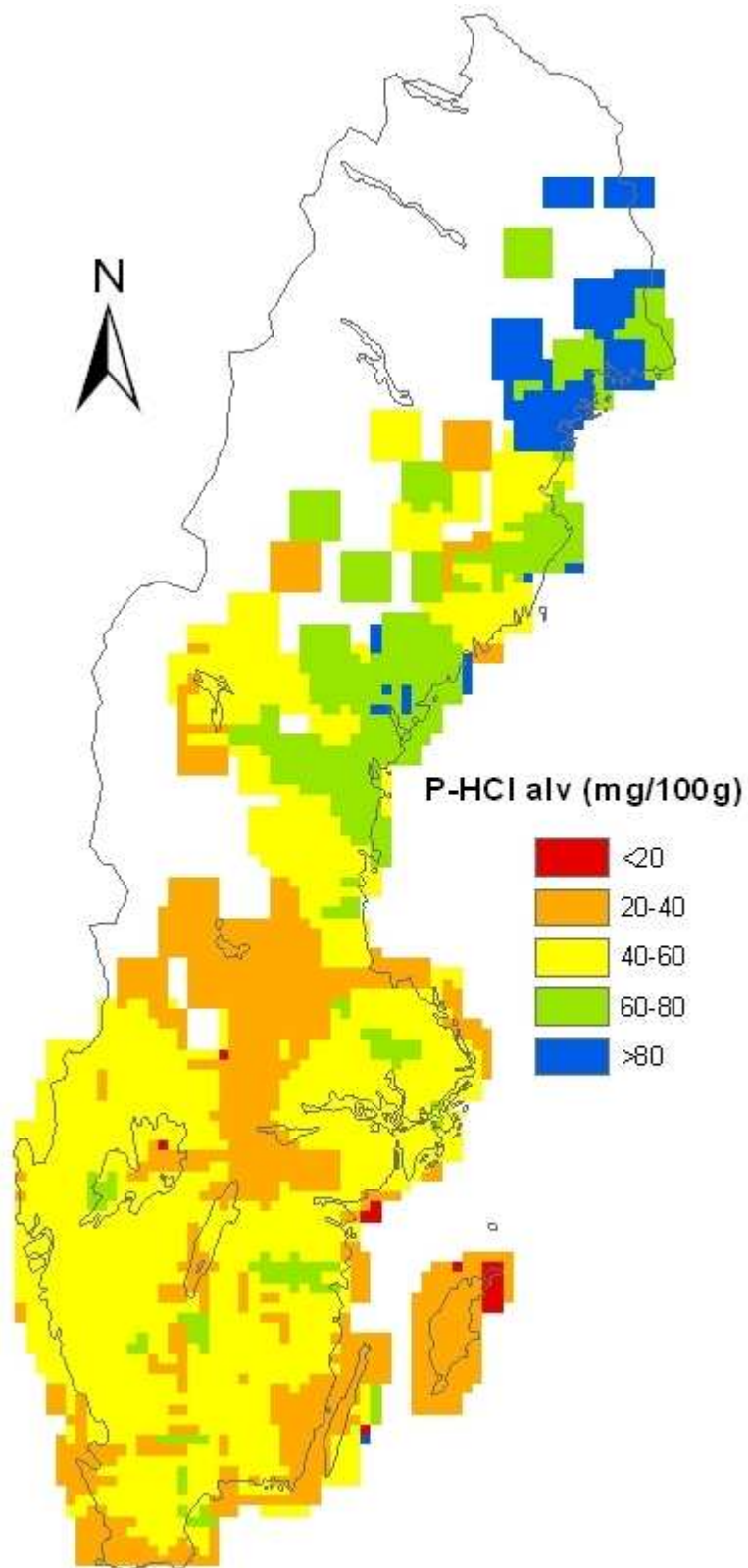
Effekt på bakgrundsbelastningen

En viktig fråga i detta sammanhang är effekterna av en ändring i indata med avseende på bakgrunds-P-halter. Generellt kan man förvänta sig en lägre bakgrundsbelastning eftersom den i PLC5 använda lägsta P-klassen är högre i förhållande till uppmätta P-HCl-halter i alven (figur 2). För att kunna kvantifiera dessa effekter beräknades bakgrundsbelastning utifrån P-HCl-halter i alven och jämfördes med PLC5 bakgrundsbelastningen.

Framtagning av karta

Först skapades utifrån punktdata en heltäckande karta för att kunna tilldela varje delavrinningsområde ett unikt värde för P-HCl-halt i marken. Beräkningarna gjordes till ett raster med 10x10 km-rutor (celler). I varje rastercell beräknades medianvärdet av analysvärden inom ett kvadratisk sökfönster med storleken 50x50 km (figur 6). Därefter beräknades median-

värden för varje PLC5-område, och detta värde användes till alla delavrinningsområden inom ett givet PLC5-område. Denna metodik användes dels för att kunna räkna fram ett värde för varje delavrinningsområde med åkermark, dels för att undvika att enskilda avvikande mätvärden får för stor betydelse. Den framställda kartan bör ändå ses som en förbättring jämfört med den nuvarande metodiken med ett konstant värde, men man ska med stor försiktighet använda och tolka framställda kartor och värden vid lokala tillämpningar. Bedömningen som vi gjort inom projektet är att detta dataset med framgång kan användas för de nationella PLC-beräkningarna och att data och därmed beräkningsresultat bör vara representativa för den skala de tagits fram för, det vill säga PLC5-områden och uppåt. Användning och tolkning av data och kartor för en högre upplösning (t ex delavrinningsområden, vattenförekomster) måste göras med beaktande av begränsningar i ursprungsdata.



Figur 6. P-HCl halter i alven beräknade till ett 10x10 km-grid, där varje cellvärde är medianen av alla punktvärden (N totalt=1680) inom en rektangulär sökradie på 50x50 km.

Beräkning av bruttobelastning

Efter framtagningen av P-HCl-värden användes metodiken som föreslogs av Djodjic m.fl. (2008) för att beräkna bruttobakgrundsbelastning både med PLC5-bakgrundshalten (60,7 mg P/100 g jord), och med P-bakgrundshalten som grundar sig på P-HCl-värden i alven. Kortfattat så nyttjades regressionsekvationerna där läckagekoefficienterna för åkermark beräknades som en funktion av P-halterna i marken och lutningen. Regressionsekvationerna är specifika för 22 läckageregioner och 10 jordarter.

Tabell 1. Bruttobakgrundsbelastning beräknad dels utifrån PLC5-bakgrundshalten, dels utifrån P-HCl-halten i alven i svensk åkermark ("Ny"), per havsbassäng.

	Brutto P bakgrund		Skillnad	
	PLC5 (ton)	Ny (ton)	Brutto %	Netto (ton)*
Bottenviken	14	16	+13	+1
Bottenhavet	76	68	-12	-4
Egentliga Östersjön	291	241	-17	-35
Öresund	23	19	-20	-2
Kattegatt	203	171	-16	-21
Skagerrak	43	38	-12	-2
Sverige	652	552	-15	-63

*Översiktlig beräkning som baseras på skillnad i PLC5 brutto och netto belastning per havsbassäng (Brandt m.fl., 2008).

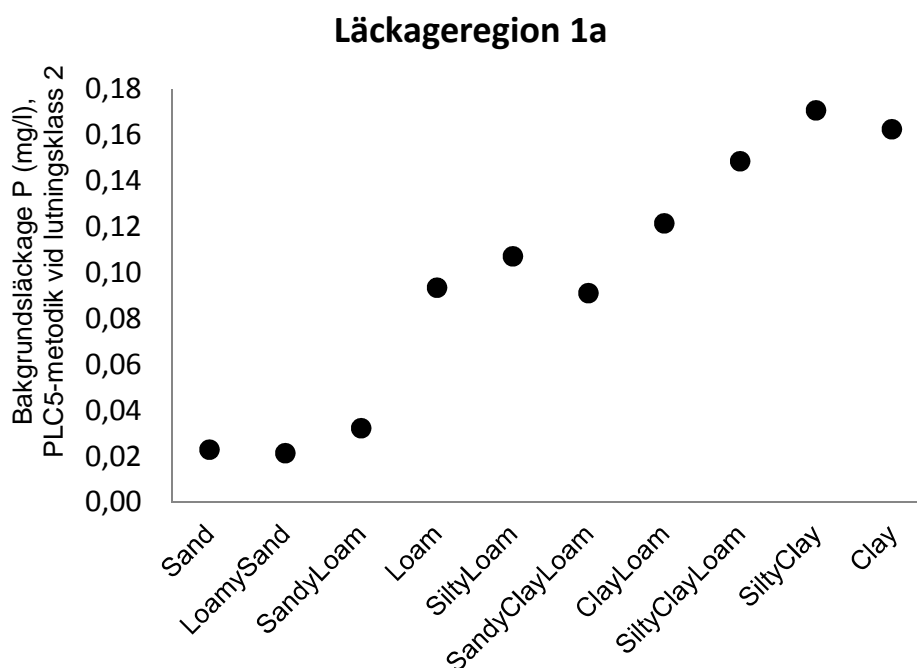
För hela Sverige blir bruttobakgrundsbelastningen, beräknad med den nya metoden, ca 100 ton eller 15 % lägre jämfört med PLC5-bakgrundsbelastningen (tabell 1). Mönstret med lägre bakgrundsbelastning är ganska enhetligt för de olika havsbassängerna, med undantag av Bottenviken, där bakgrundsbelastningen blev högre på grund av höga P-HCl-halter i alven. Detta innebär ju också att den antropogena belastningen ändras med motsvarande värden, i motsatt riktning. Det bör noteras att värdena i tabell 1 avser bruttobelastningen, och att nettobelastningen, det vill säga det som når haven, blir lägre. En översiktlig beräkning utifrån skillnader i PLC5-brutto- och nettobelastning per havsbassäng visar en minskad nettobakgrundsbelastning med ca 63 ton, på riksnivå.

Framräknade resultat visar att ändrade indata med avseende på bakgrunds-P-halter i marken har en signifikant effekt på beräkningen av bakgrundsbelastningen.

Osäkerhetsanalys

Framtagning av osäkerhetsintervall

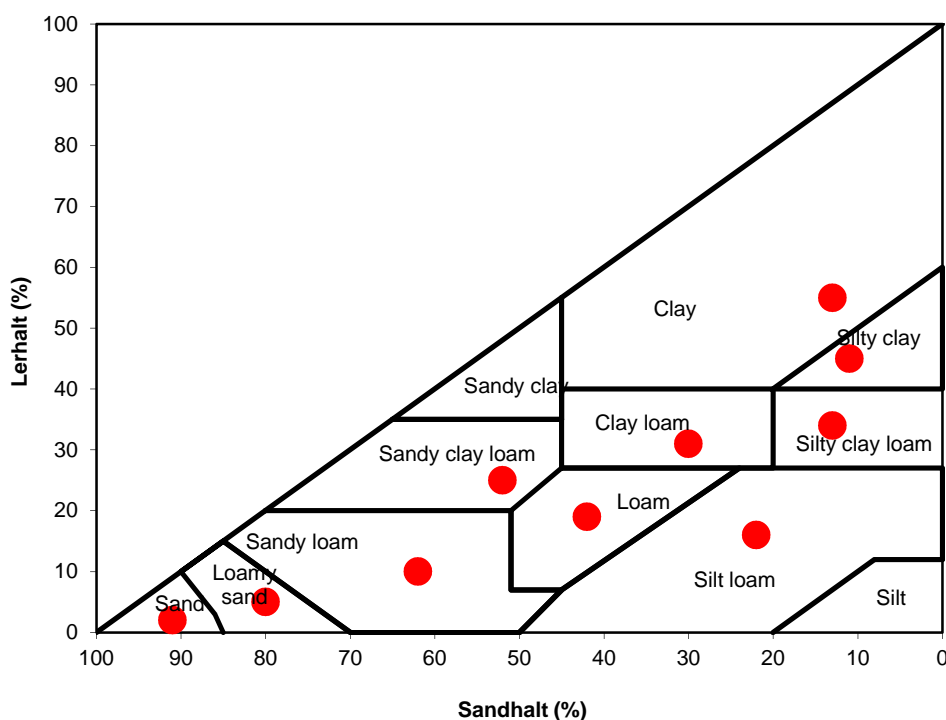
Då den rumsliga upplösningen av en del av underlaget är ganska låg behövs det oftast ett osäkerhetsmått för den beräknade bakgrundshalten, inte minst för att kunna ge stöd för alternativa sätt att bedöma bakgrundshalter genom t.ex. expertbedömningar. Den enskilt viktigaste faktorn för nivån på modellerade typhaltsvärden av P är jordarten och osäkerheter eller fel i jordartsfördelningen kan leda till under- eller överskattningar av bakgrundshalten (figur 7). Därför har vi i detta delprojekt tagit fram ett osäkerhetsintervall kring det framräknade bakgrundsvärdet för jordbruksmark genom att ta hänsyn till möjliga alternativa jordarter. Ett osäkerhetsintervall för P-halten har också inkluderats i beräkningarna.



Figur 7. Bakgrundsläckage (mg P/l) med PLC5-metodik för olika jordarter och lutningsklass 2 i läckageregion 1a.

De olika jordarterna klassificeras enligt FAO:s system utifrån ler-, silt- och sandhalt i texturtriangeln (figur 8). Jordarten täcker ett intervall av ler- och sandhalter, men i beräkningarna av jordbruksläckage används endast en kombination av ler- och sandhalt (röda cirklar i figur 8). En annan betydande osäkerhet kommer från det faktum att PLC5:s jordartskarta är baserad på endast 3000 jordprover i hela landet. En ny jordartskarta baserad på ca 15 000 jordprover tas fram våren 2014 (Jordbruksverket, 2013), vilket

kommer att öka tillförlitlighet och minska osäkerhet i jordartsfördelningen. Det blir en väsentlig förbättring, men även den nya kartan kommer fortfarande vara osäker i mindre områden.



Figur 8. Texturtriangeln med de olika FAO-jordarterna. De röda punkterna visar vilken kombination av lerhalt och sandhalt som använts för att beskriva jordarterna vid beräkningarna av fältläckaget av kväve och fosfor.

ICECREAMDB är en modell för att beräkna P-förluster från åkermark från större områden baserad på ICECREAM-modellen (Larsson m.fl., 2007; Johnsson m.fl., 2008). För att undersöka osäkerheten som orsakas dels av parametriseringen i läckageberäkningen i ICECREAMDB (Djodjic m.fl., 2008) och dels av den grova jordartskartan beräknades bakgrundsbelastningen (brutto) med olika alternativa jordarter. Dessutom undersöktes effekten av osäkerheten i de nya P-halten. Jordarten och P-halten varierades i 10000 Monte Carlo-simuleringar.

Från de angränsande jordarterna i texturtriangeln (figur 8) identifierades jordarten med närmast lägre läckage och närmast högre läckage. Detta gjordes för lutningsklass 2 i varje läckageregion. Därefter slumpades jordarten oberoende i varje delavrinningsområde mellan de tre alternativen: ursprungsjordart, närmast lägre läckage, närmast högre läckage. En uniform fördelning användes, d.v.s. de tre jordarterna ansågs alla vara lika sannolika.

Förutom jordarten varierades även P-halten. Här undersöktes flera olika osäkerhetsfördelningar. Utifrån de mätningar av P-halten i alven som finns togs statistik fram för de olika läckageregionerna (tabell 2). De uppmätta P-halterna ser ut att ha en skev fördelning med något högre maxvärden än minvärden. Med funktionerna `logfit` och `normfit` i Matlab anpassades

Tabell 2. Statistik för de uppmätta P-HCl-halterna (mg/100g) i de 22 läckageregionerna. Statistiken är framtagen med inbyggda Matlab-kommandon (bl.a. `prctile` för percentilerna och `normfit` för väntevärde μ och varians σ).

Läckageregion	11	12	21	22	30	40	51	52	60	71	72	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Antal	123	40	63	62	61	79	224	27	294	136	84	23	110	28	33	34	25	60	97	40	24	11
Median	40	45	49	34	31	48	48	48	48	49	53	54	51	37	47	39	37	64	69	55	50	63
10-percentil	23	25	31	21	18	25	31	38	30	27	27	29	33	25	38	27	29	42	44	26	35	27
25-percentil	30	33	38	26	22	35	40	42	38	38	39	39	41	30	42	33	33	54	56	38	42	47
75-percentil	54	57	68	47	46	60	60	55	60	65	65	80	59	50	55	42	46	74	86	69	58	67
90-percentil	63	67	97	62	66	76	73	56	74	74	87	96	68	65	59	48	52	84	108	83	69	90
μ	43	46	55	39	37	50	52	47	52	51	56	60	52	40	48	38	40	64	73	56	52	60
σ	18	18	25	19	22	23	21	9	21	20	26	27	22	16	9	10	11	16	28	26	16	21

fördelningarna till såväl en log-normal fördelning som en normalfördelning. Uniforma fördelningar mellan 25:e och 75:e percentilen samt mellan 10:e och 90:e percentilen undersöktes också. Till de slutgiltiga figurerna i denna rapport valdes 10 000 Monte Carlosimuleringar där P-HCl-halten varierades med den absoluta skillnaden mellan ett slumpat värde från en normalfördelning enligt tabell 2 och normalfördelningens väntevärde tillsammans samt slumpning av jordarten.

Den slumpmässiga variationen för såväl jordart som P-halt applicerades både för beräkningar av bruttobakgrundsbelastningen med PLC5-värdena och för de nya värdena baserade på P-HCl-halten i alven. De förändrade värden på P -halt och jordart ger ett förändrat bakgrundsläckage i varje delavrinningsområde, och därmed en förändrad bruttobelastning. Bruttobelastningen summerades både nationellt och för havsbassängerna.

Osäkerhetsintervallens effekt på bruttobakgrundsbelastningen

Även när hänsyn tas till osäkerhetsintervallen för jordarten och P-halt så är bakgrundsbelastningen från jordbruksmark lägre när beräkningen baseras på P-HCl-halten i alven, jämfört med PLC5 (gröna och blåa histogram i figur 9 och 10). Detta gäller för alla havsbassänger utom Bottenviken, i enlighet med resultaten i tabell 1.

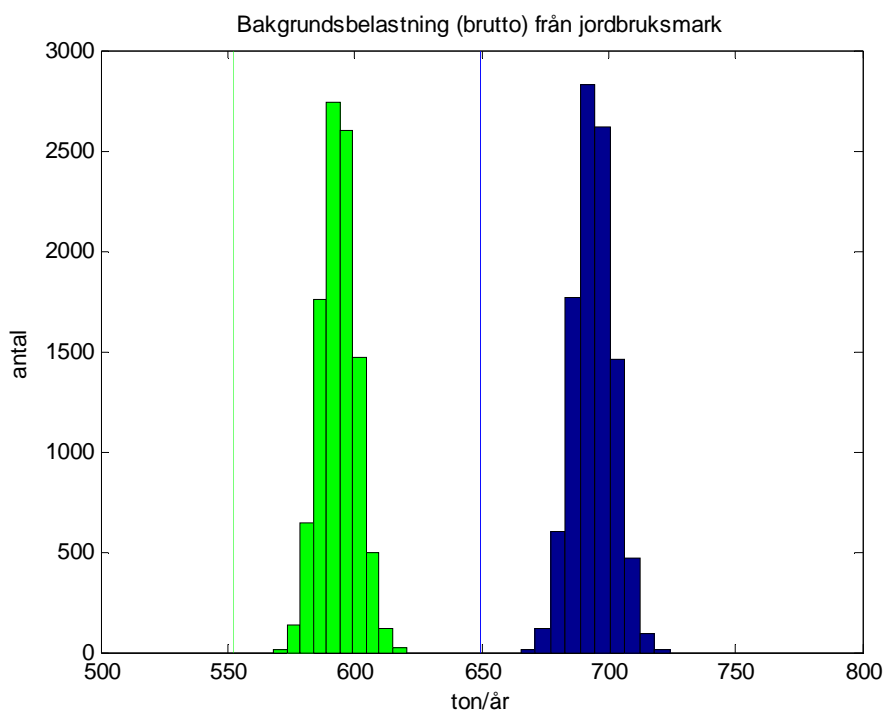
Liksom tidigare studier av totalbelastningen av kväve (Widén-Nilsson m.fl., 2010; Widén-Nilsson och Westerberg, 2013) gör ofta det faktum att man gör Monte Carlo-simuleringar med osäkerhetsintervall för indata att de resulterande belastningarna ökar jämfört med ursprungsvärdet (histogrammen jämfört med de vertikala strecken i figur 9 och 10). Ett undantag från den ökade belastningen med Monte Carlo-beräkningarna är Skagerrak, där medianvärdena av Monte Carlo-beräkningarna blir något lägre än PLC5- respektive P-HCl-värden, men för övriga havsbassänger och den nationella belastningen visar Monte Carlo-simuleringarna på högre värden än originalbelastningen (figur 10).

Osäkerheten i jordarten har större betydelse för den nationella bruttobakgrundsbelastningen än osäkerheten kring P-halten. De olika undersökta osäkerhetsfördelningarna för P-halten har dock olika stor påverkan på resultatet. Variationen, beräknat som 10:e och 90 percentilen, kring Monte Carloberäkningarnas medianvärde är $\max \pm 10 \text{ ton/år}$, d.v.s. $\pm 2 \%$, i princip oavsett vilka osäkerhetsfördelningar som används. En skev fördelning av P-halten i marken kan dock bidra till ett ytterligare ökande medianvärde av bruttobakgrundsbelastningen, förutom jordartens ökning. I figur 9 och 10 är P-halten slumpad utifrån en normalfördelning och bidrar därför inte till någon ökning. Som redan konstaterats blir dock inte ökningen

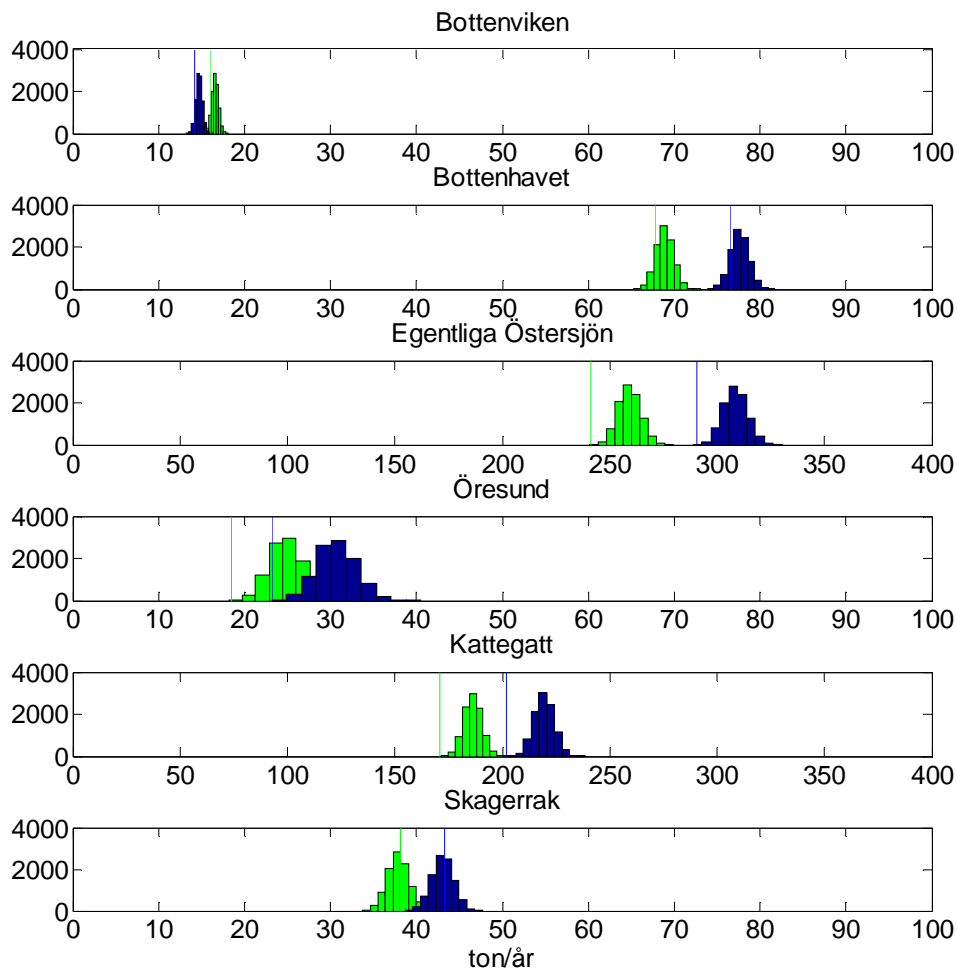
så stor att belastningsberäkningen baserade på P-HCl-halten i alven och osäkerhetsanalysen når upp till PLC5-belastningen (figur 9 och flertalet havsbassänger i figur 9).

Värt att notera är att den nationella jordartsfördelningen blir kraftigt förändrad då Monte Carlo-simuleringarna genomförs. Jämfört med PLC5-fördelningen förekommer alla jordarter mer jämt. Det beror på att vanligt förekommande jordarter fördelas med en tredjedel till jordarten med lägre läckage och en tredjedel till jordarten med högre läckage. Dessa närliggande jordarter ökar betydligt i förekomst vid slumpningen, medan de totalt dominerande jordarterna i PLC5, Sandy Loam och Silty Loam inte får samma dominans längre. I kommande osäkerhetsanalyser av PLC-beräkningarna vore det intressant att slumpa jordarten mellan alla närliggande jordarter enligt texturtriangeln och inte bara den med närmast högre eller lägre läckage. Jordartsinformationen till PLC6 kommer också att vara betydligt förbättrad jämfört med PLC5 (Jordbruksverket, 2013).

Monte Carlosimuleringarna har genomförts med oberoende slumpningar i de olika delavrinningsområdena. Avvikelserna från ursprungsvärdet tar därför ofta ut varandra. Om man har skäl att misstänka att osäkerheterna är systematiska i stora områden ska slumpningen istället göras sammanhållen för större områden. Det kommer att ge en större variation i de resulterande belastningarna eftersom felen då inte kan ta ut varandra på samma sätt. I dagsläget finns det inte tillräckligt med information om osäkerhetsfördelningarna i indata till PLC5 för att veta om felen är slumpmässiga eller systematiska (Widén-Nilsson och Westerberg, 2013).



Figur 9. Bakgrundsbelastning (brutto) beräknad dels utifrån PLC5-bakgrundshalt (blå), dels utifrån P-HCl-halt i alven i svensk åkermark (grön). Figuren visar den nationella belastningen enligt tabell 1 (heldragen linje) och resultatet från 10000 Monte Carlo-simuleringar där jordarten i varje delavrinningsområde slumpmässigt varierats mellan ursprungsjordarten och de angränsande jordarterna enligt texturtriangeln med närmast lägre eller högre läckage samt där P-HCl-halten i delavrinningsområdena varierats med den absoluta skillnaden mellan ett slumpat värde från en normalfördelning enligt tabell 2 och normalfördelningens väntevärde (histogram).



Figur 10. Bakgrundsbelastning (brutto) per havsbassäng, beräknad dels utifrån PLC5-bakgrundshalt (blå), dels utifrån P-HCl-halt i alven i svensk åkermark (grön). Figuren visar den nationella belastningen enligt tabell 1 (heldragen linje) och resultatet från 10000 Monte Carlo-simuleringar där jordarten i varje delavrinningsområde slumpmässigt varierats mellan ursprungsjordarten och de angränsande jordarterna enligt texturtriangeln med närmast lägre eller högre läckage samt där P-HCl-halten i delavrinningsområdena varierats med den absoluta skillnaden mellan ett slumpat värde från en normalfördelning enligt tabell 2 och normalfördelningens väntevärde (histogram). Observera de olika skalorna på x-axlarna.

Slutsatser

En ny karta som rekommenderas ligga till grund för beräkning av bakgrundsbelastning av fosfor från svensk jordbruksmark i PLC6 har tagits fram. Kartan är baserad på 1680 provpunkter av P-HCl-halter i alven. I den tidigare PLC5-beräkningen antogs jordbruksmarkens bakgrundsbelastning motsvara P-klass 1 i matjorden, vilket är 60,7 mg P/100 g jord. Mätningarna i alven är lägre (medelvärde 51 och medianvärde 48 mg P/100 g jord) än P-klass 1 matjorden.

Variationen i P-halt i alven i jordbruksmarken i de olika läckageregionerna stämmer grovt sett överens med motsvarande mönster i alven i skogsmark. Det finns också ett samband, om än inte lika starkt, mellan P-HCl-halten i matjorden och i alven. Skillnaden mellan P-HCl-halten i matjorden och i alven har ett samband med stallgödselanvändningen i området. Inget samband hittades dock mellan handelsgödselanvändningen, men det kan bero på att överskottsgödsling med handelsgödsel i större utsträckning skett tidigare än under den period som den jämförda gödselstatistiken togs ifrån.

Det nya sättet att beräkna bakgrundsbelastningen av fosfor från jordbruksmark baserat på P-HCl-halten i alven jämfört med P-klass 1 i matjorden ger en lägre bakgrundsbelastning från jordbruket. Det behöver dock inte automatiskt betyda att jordbrukets antropogena bidrag är större. Samtidiga studier (Löfgren m.fl., 2012) visar att belastningen från skogen kan vara större än vad som beräknades i PLC5. Om man antar att den totala belastningen från Sverige i PLC5 är korrekt så skulle jordbrukets totala andel kunna vara lägre om skogens andel är högre och därmed kan den antropogena jordbruksbelastningen vara ungefär lika stor som förut även om bakgrundsbelastningen från jordbruket enligt de nya beräkningarna i denna studie är lägre. Mer detaljerade beräkningar krävs dock för att till fullo kvantifiera om, eller i hur stor omfattning dessa nya rön kompenserar varandra.

Osäkerhetsanalys av jordbrukets nya bruttobakgrundsbelastning visar att osäkerheten i jordarten är av större betydelse än osäkerheten i P-HCl-halt.

Referenser

- Andersson, A., Eriksson, J. och Mattsson, L. 2000. Phosphorus accumulation in Swedish agricultural soils. Naturvårdsverket rapport 5110.
- Brandt, M. och Ejhed, H. 2002. TRK. Transport - Retention - Källfördelning. Belastning på havet. Naturvårdsverket rapport nr 5247.
- Brandt, M., Ejhed, H. och Rapp, L. 2008. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006. Naturvårdsverket, NV Rapport 5815, Stockholm, pp. 43.
- Börling, K. 2003. Phosphorus sorption, accumulation and leaching - effects of long-term inorganic fertilization of cultivated soils. *Department of soil sciences*. SLU, Agraria 428, Uppsala.
- Djordjic, F., Lindsjo, A. och Persson, K. 2008. Förbättring av beräkningsmetodiken för diffus belastning av fosfor från åkermark. SMED rapport 20 2008.
- Djordjic, F. och Wallin, M. 2011. Förslag till vidareutveckling av bedömningsgrunder för fosfor i vattendrag - Reviderad bakgrundshalt för jordbruksmark. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:6, Uppsala.
- Johnsson, H., M. Larsson, A. Lindsjö, K. Mårtensson, K. Persson och Torstensson, G. 2008. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark. Naturvårdsverket rapport 5823.
- Jordbruksverket. 2013. Jordart och växtnäringsstillstånd i åkermarken. 20 November 2013.
http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/miljoutva_rderingarforsokochutveckling/jordartiakermark.4.23f3563314184096e0d2b77.html.
- Larsson, M. H., Persson, K., Ulen, B., Lindsjo, A. och Jarvis, N. J. 2007. A dual porosity model to quantify phosphorus losses from macroporous soils. *Ecological Modelling*, 205, 123-134.
- Löfgren, S., Fröberg, M., Nisell, J., Jun, Y. och Ranneby, B. 2012. N- och P-halterna i skog, myr och fjäll hösten 2011 i Dalälven, Viskan, Ätran, Nissan och Lagan - projekt för att förbättra skattningarna av typhalter inför PLC6. SMED Rapport.
- Persson, K. 2009. Automatisering av beräkningsrutiner i NLeCCS. SMED-rapport (Avtal: 3080905).
- SCB. 2013. Tillförsel av gödselmedel (utom kväve) efter region, växtnäringsämne, grödgrupp och gödselslag. Urvalsundersökning, se fotnoter. År 1998/1999 - 2010/2011. <http://www.scb.se/sv/_/Hitta

[statistik/Statistikdatabasen/Variabelvaljare/?px_tableid=ssd_extern%3aPKAnvGrGrpLanPO&rxid=ae2462a5-43a9-4ff5-935c-917ea9c3a911](http://statistik/statistikdatabasen/variabelvaljare/?px_tableid=ssd_extern%3aPKAnvGrGrpLanPO&rxid=ae2462a5-43a9-4ff5-935c-917ea9c3a911)>.

Ståndortskartering. 2013. <<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/markinventeringen/bakgrund/standortskarteringen/>>.

Widén-Nilsson, E. och Westerberg, I. 2013. Osäkerhetsanalys av kvävenettobelastning (PLC5). SMED Rapport nr 112 2013.

Widén-Nilsson, E., Westerberg, I., Wallin, M., Brandt, M., Brånvall, G., Djodjic, F., Löfgren, S., Mårtensson, K., Nisell, J., Olshammar, M. och Orback, C. 2010. Osäkerhetsanalys av bruttobelastning (PLC5) till följd av osäkerhet i indata - En inledande studie av kväveförlusterna i delar av Örsundaån, Lagan och Helge å. SMED Rapport (Avtal: 308 0904).

Wiklander, L. 1976. *Marklära*. pp. 230.