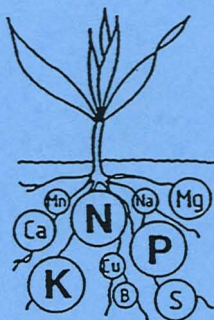




## Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling

### Extended interpretation of labile P for soil and yield related P fertilization

Lennart Mattsson, Thomas Börjesson,  
Kjell Ivarsson, Kjell Gustafsson



---

Institutionen för markvetenskap  
Avd för växtnäringslära

Swedish University of Agricultural Sciences  
Dept. of Soil Sciences  
Division of Soil Fertility

Rapport 202  
Report

Uppsala 2001  
ISSN 0348-3541  
ISRN SLU-VNL-R—202-SE

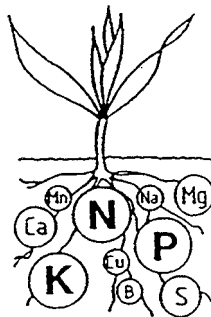
---



# Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling

## Extended interpretation of labile P for soil and yield related P fertilization

Lennart Mattsson, Thomas Börjesson,  
Kjell Ivarsson, Kjell Gustafsson



---

Institutionen för markvetenskap  
Avd för växtnäringslära

Swedish University of Agricultural Sciences  
Dept. of Soil Sciences  
Division of Soil Fertility

Rapport 202  
Report

Uppsala 2001  
ISSN 0348-3541  
ISRN SLU-VNL-R—202-SE

---

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT	4
SAMMANFATTNING	5
INLEDNING	6
SYFTE	7
MATERIAL OCH METODER	8
Försöken	8
Multivariatanalys	10
Varians- och regressionsanalys	12
RESULTAT	13
DISKUSSION	21
SLUTSATSER	23
EKONOMISKT STÖD	23
LITTERATUR	23

## Abstract

Plant available P extracted with an ammonium-lactate solution with pH 3.75 known as the AL-method has been used extensively in Sweden since the beginning of the 1960ies. Interpretation and fertilizer requirement decisions based on analysis data are commonly done without consideration of actual soil data information. An investigation of field experiment data from 72 different sites with altogether 360 experimental yields was carried out in order to find out if and how the variation in the relative P fertilizer could be explained by considering pH, clay content and organic matter content at those sites and the relationship to varying P-AL-values. Both multi-variate-analysis and classical statistical methods were used.

Soil organic matter content and soil pH influenced the P-fertilizer effect statistically significantly. The effect increased with increasing soil organic matter but decreased with increasing pH. The influence of both parameters declined when P-AL increased.

On light textured soils (clay < 15%) with organic matter content > 3 % and pH < 6.5 soil data were effective to explain P-fertilizer variations. For P-AL-values > 8 there were generally only small effects of P-fertilizer.

An improvement of the information value of P-AL can be achieved if pH and organic matter content is considered. The quantification of this remains to be carried out.

# Sammanfattning

- \* För att bestämma växttillgänglig fosfor används sedan början på 60-talet AL-metoden i Sverige.
- \* Tolkning och gödslingsbeslut baserade på analysvärden sker utan att hänsyn tas till pH-värde, lerhalt och mullhalt.
- \* En genomgång av experimentdata från 72 försöksplatser med allt som allt 360 försöksskördar har gjorts för att bestämma hur den relativa P-gödslingseffekten varierar med pH, lerhalt och mullhalt vid olika P-AL-värden.
- \* Mullhalt och pH-värde påverkade P-gödslingseffekten statistiskt säkert. Lerhalten hade litet inflytande. Fosforgödslingseffekten ökade med stigande mullhalt men minskade med stigande pH-värde. Effekten avtog med stigande P-AL-värde.
- \* På lättare jordar vid normala mullhalter och pH <6,5 spelade markdata den största rollen för att förklara P-gödslingseffekterna.
- \* Vid P-AL-värden över 8 erhöles små effekter av P-gödsling.
- \* En förbättring av informationsvärdet av P-AL-analysen kan åstadkommas om pH och mullhalt för den aktuella jorden beaktas. Att kvantifiera hur detta skall göras återstår.

## Inledning

Det finns många sätt att bestämma den växttillgängliga delen av markens fosfor. I Sverige och flera av grannländerna har P-AL-metoden använts sedan 1960-talet. Extraktionslösningen har pH 3,75 och Hahlin & Ericsson (1981) har visat att denna metod fungerar relativt väl för merparten av de svenska jordarna. I länder där alkaliska jordar dominerar, t.ex. de anglosaxiska länderna, används däremot ofta Olsen-metoden från 1954, med extraktion vid pH 8,5 (Olsen, 1954). Gemensamt för nästan alla P-analyser är att jorden behandlas med en mer eller mindre stark kemikalie, som måste anpassas till jordens syra/basreaktion. Att använda P-HCl-metoden har däremot ett ringa värde eftersom den största delen av markens P-förråd löses ut, utan att ge information om växtens möjlighet att tillgodogöra sig denna svårtillgängliga fosfor.

Ett nytänkande kom när Hedley et al. (1982) introducerade sin sekvensiella fraktionering av både organisk och oorganisk markfosfor. Här används som ett första steg jonbytarmassa i stället för kemikalier för extraktion. Metoden har förfinats av bl.a. Rubæk & Sibbesen (1993). En något bättre korrelation med P-skörden än de konventionella metoderna erhålles, vilket visades i kärlförsök av Sibbesen (1983). Det relativt blygsamma framsteg som metoden med jonbytarmassa innebar har dock inte lett till ökad användning vid laboratorierna eftersom den är resurskrävande. En omfattande studie av 73 portugisiska jordar visade också på svårigheten att jämföra extraktionsmetoder för olika jordtyper (Fernandes et al., 1999).

Den momentana bild av markens P-status som P-AL, Olsen och de andra metoderna ger anses i de flesta fall ge ett acceptabelt mått på växttillgänglig P, i synnerhet om fler faktorer beaktas vid tolkning av P-analysen. Några betydande faktorer är svåra att förutsäga såsom variationen inom och mellan år (Magid & Nielsen, 1992).

Det är dessbättre många markfaktorer som är lätta att förutspå och som på sikt skulle kunna användas i gödslingsrådgivningen. Till de bäst kända av dessa faktorer hör kalktillstånd och pH-värde. Det är sedan länge allmänt accepterat att fosfor håller sig mest växttillgänglig mellan pH-värdet 6 och 7. Denna kunskap var också omsatt i tolkningen av den sk laktatmetodens analysvärden, som användes fram till 1960-talets början (Frank 1933, 1935 och 1938, cit. Hahlin & Johansson, 1977).

Även i arbetena med att kalibrera P-AL-metodens analysvärden för svenska förhållanden observerades att både pH-värde, lerhalt och mullhalt hade

inflytande på gödslingseffketerna (Hahlin & Johansson, 1977), dock utan att det sedermera har kommit att beaktas.

Till de markfaktorer som har en mindre känd påverkan på fosforns tillgänglighet hör ler- och mullhalt. Det finns några få studier som belyser frågan om lerhalt och lerkvalitet, t.ex. Cox, 1994, som fann tydligare gödslings effekter av P vid låga lerhalter. I ett vidare sammanhang hör frågor om markens struktur och biologiska aktivitet (López-Hernández & Niño, 1993). Att en högre totalhalt av organiskt kol i marken vid samma markfosforhalt har en positiv inverkan på veteskörden har visats av bl.a. Benbi & Brar, 1994. Att kvaliteten på det organiska materialet har betydelse undersöktes av Blake et al., 2000. De visade att stallgödsel hade en tydlig positiv effekt på fosforutnyttjandet i långliggande engelska och tyska fältförsök. Detta stämmer väl överens med de tendenser som vi kan se i de långliggande bördighetsförsöken i Sverige (Mattsson, 1998).

I våra nordiska grannländer har man på senare tid uppmärksammat bristerna hos de traditionella metoderna för P-bestämning samt att olika metoder passar bäst för olika jordtyper. I Finland justeras fosforvärden, som erhålls från jordanalysen (P-AAC), beroende på jordart, pH och mullhalt innan gödslingsrekommendationer ges (Saarela et al., 1997). I Norge har man konstaterat att P-analys enligt Olsen är lämpligare än P-AL på sedimentära lerjordar med högt pH (Riley och Steenberg, 1985).

I det svenska rådgivningsunderlaget beaktas, som redan berörts, i princip inte de ovannämnda faktorerna vilket innebär onödig osäkerhet i rekommendationerna. Vid P-AL över 10 erhålls normalt inga skördeökningar under svenska förhållanden. Under denna nivå varierar däremot utslaget betydligt. Vissa försök ger stora skördeökningar medan andra inte ger något utslag alls. Genom att ta hänsyn till andra faktorer kan förklaringsgraden förmodligen ökas. En stor del av alla fosforanalyser ligger inom det P-AL-område som bör "förklaras" tydligare. Mattsson (1996) har visat att hälften av alla P-AL-analyser på prover från svenska försöksjordar har ett värde som är lägre än 8 och som alltså skulle kunna förklaras bättre om man hade fler faktorer än bara P-AL-talet.

## Syfte

För behovsanpassning av fosforgödsling har markkarteringen haft stor betydelse. Behovet grundas idag på P-AL-metoden som sannolikt är den lämpligaste standardmetoden för huvuddelen av de svenska jordarna. Speciellt vid höga pH-värden eller låga P-AL tal verkar dock metoden ge otill-

räcklig information om fosforbehovet. Det finns indikationer på att förklaringsgraden kan ökas betydligt genom att utnyttja mer av befintliga analysdata från tidigare genomförda fosforgödslingsförsök.

Avsikten är att utveckla AL-metoden genom att jordart, mullhalt, pH-värde och skördenivå vägs in i utvärderingen. Befintligt utvärderingsunderlag skall kompletteras och förfinas i syfte att åstadkomma precisare gödslingsrekommendationer. Förväntade resultat är data som beskriver hur P-gödslingseffekten varierar med olika markfysikaliska och markkemiska faktorer. Då gödslingsrekommendationerna blir mer datorbaserade är det inga stora problem att framtagandet av gödslingsrekommendationer grundar sig på flera olika analysparametrar.

## Material och metoder

### Försöken

I början och mitten av 60-talet genomfördes en omfattande och grundlig experimentell verksamhet för att kalibrera den då införda AL-analysens resultat mot P-gödslingsrekommendationer (Hahlin, 1970). Data från vissa av dessa försöksserier har nu utnyttjats på nytt. Därtill har data från en något yngre försöksserie också tagits med. De ingående försöksseriernas beteckningar och titlar var:

- R3-3006 Fastliggande försök med fosfor och kalk för kontroll av markkarteringen. Försöken anlades 1962-1976. Sista försöket avslutades 1989 (Hahlin & Eriksson, 1981).
- R3-3008 Markkartering fosfor. Försök anlades 1963-1969. Sista försöket avslutades 1990. (Hahlin & Eriksson, 1981).
- R3-3038 Exploatering av höga fosfortal. Försök anlagda 1982-1987. Data till och med 1998 har tagits med. Fem försök pågår fortfarande (Carlgren 1995; Mattsson & Carlgren, 1999).

I alla tre serierna ingick behandlingar med och utan P. Vid bearbetningen har kontrollleden utan P samt årlig gödsling med 30 eller 45 kg använts. För att utnyttja hela materialet har den kompromissen att likställa effekten av P-gödsling oavsett om givan varit 30 eller 45 kg P per ha gjorts. I fortsättningen görs ingen åtskillnad utan P-effekt används. I en av serierna fanns moment med och utan kalkning, liksom med och utan grundgödsling med P. I dessa fall användes leden utan kalk och utan P-grundgödsling i bearbetningarna.



Komplettering av befintliga register och sedvanlig kvalitetsgranskning av enskilda resultat har gjorts. Fosforgödsling, skördens storlek och P-innehåll, pH, P-AL, mullhalt och lerhalt har sedan bearbetats.

Alla tre serierna är baserade på fastliggande försök, dvs samma plats återkommer flera år. I bearbetningen ingår 72 olika platser varav 13 hänfördes till R3-3006, 42 till R3-3008 och 17 till R3-3038. Antalet bearbetade försöksskördar är 360 stycken. En försöksskörd är lika med resultat från en plats ett år.

Försöken var fastliggande och det betyder att effekter ackumuleras. Kontrollleden utarmas och gödslade led gödglas upp. För att begränsa inflytandet av detta har bara data från de sex första skörderåren från varje plats utnyttjats. Relevansen kan ifrågasättas men detta har betraktats som oberoende observationer vid bearbetningen. Den procentuella fördelningen på olika markparametrar av platser eller skördar skiljer sig inte nämnvärt åt (tabell 1).

Materialet grupperades beroende på pH-värde, lerhalt och mullhalt. De olika gruppernas gränser valdes med hänsyn till datamaterialets sammansättning och tidigare erfarenheter om effekter av fosforgödsling. För både lerhalter och mullhalter föreligger i huvudsak endast klassdata, t. ex. måttligt mullhaltig, som betyder 3-6 % mull. För att få ett numeriskt värde valdes klassmitt, i detta fall 4,5 %. Fördelningen på P-AL-klasser var med undantag för klass I ganska jämn med 20 till 25 % av platserna i varje klass (tabell 1). Endast 3 platser hade P-AL-tal motsvarande P-AL-klass I. Det begränsar informationen om P-gödslingseffekten i denna klass. För pH rådde en för Sverige relativt jämn fördelning mellan låga, normala och höga värden. Få platser med pH-värden över 7 förekom. De som fanns låg i Uppland, Östergötland, på Öland, Gotland och i Skåne. De högsta respektive lägsta pH-värdena var 7,5 och 5,0.

Ungefär lika många försök låg på jordar med lerhalter  $\leq 15\%$  som på jordar med högre lerhalt. För mullhalten är gruppen 3-6 %, dvs måttligt mullhaltig den vanligaste med ungefär två tredjedelar av alla observationer. Stråsäd är den dominerande försöksgrödan och omfattar ungefär 60 % av av alla skördar. Olika vallgrödor kommer därefter med 28 %. Övriga grödor förekom i liten omfattning (tabell 1).

Tabell 1. Grupperingar, klassgränser, antal platser och skördar  
*Table 1. Groups, number of sites and number of yields*

Parameter <i>Parameter</i>	Grupp/klass <i>Group</i>	Intervall <i>Interval</i>	Antal platser <i>Sites</i>	%	Antal skördar <i>Yields</i>	%
P-AL mg/100 g jord <i>soil</i>	I	≤2,0	3	4	11	4
	II	2,1-4,0	16	23	64	20
	III	4,1-8,0	21	30	82	26
	IV	8,1-16,0	19	27	89	28
	V	>16	11	16	68	22
pH	1	≤5,9	27	39	119	38
	2	6,0-6,5	28	40	124	39
	3	>6,6	15	21	71	23
Lerhalt, % <i>Clay content.</i>	1	≤15	34	48	168	48
	2	>15	37	52	185	52
Mullhalt, % <i>Org. matter</i>	1	≤3,0	17	24	81	23
	2	3,1-6,0	44	63	226	65
	3	>6,0	9	13	40	11
Gröda <i>Crop</i>	Stråsäd <i>Cereals</i>				222	61
	Vall och grönfoder <i>Ley and green forage</i>				101	28
	Sockerbetor <i>Sugar beets</i>				20	6
	Potatis <i>Potatoes</i>				8	2
	Trindsäd <i>Peas and beans</i>				5	1
	Oljeväxter <i>Oil seed</i>				4	1

För att jämföra skördar från olika grödor spannmål, potatis, sockerbetor osv. användes relativa skördar. Varje observerat skördevärde relaterades till kontrolledet, dvs behandling utan fosfor, som åsattes värdet 100.

### Multivariatanalys

Som en del i vår ansats att identifiera faktorer som är av betydelse för att förutsäga fosforgödningseffekten utnyttjades multivariata metoder (Principalkomponentanalys, PCA och Partial Least Squares, PLS). För detta användes i samtliga fall programvaran SIMCA-P 7.01 (Umetrics). Metoden bygger på att samla så stor variation i mätdatan som möjligt i få dimensioner. Man skapar s.k. latent variabler, som är uppbyggda av originaldata i proportion till hur mycket de varierar i materialet. Om t.ex variationen mellan olika försöksplatser till största delen beror på skillnader i mullhalt,

så kommer den första latent variabeln eller principalkomponenten att till största delen bestå av mullhaltsdata. När den första principalkomponenten tagits fram går man vidare och tar ut nästa komponent som skall vara vinkelrät mot den första riktningen, vilket betyder att variablerna som betydde mest i den första komponenten kommer att ha ett litet inflytande på nästa komponent.

När man avsätter en principalkomponent mot en annan, vanligen första mot andra, så erhålls en tvådimensionell figur en PCA-plot. Man kan här dels illustrera hur de olika försöksplatserna förhåller sig till varandra i en s.k. scoreplot, dels illustrera hur olika markparameterar förhåller sig till varandra i en s.k. loadingplot. Objekt som avbildas nära varandra är positivt korrelerade, medan objekt som ligger långt ifrån varandra är negativt korrelerade.

Man kan också bilda en beroende variabel, en y-variabel, i vårt fall relativskördar, som ingående x-variabler, i vårt fall markdata, skall förklara så mycket som möjligt av variationen hos. I detta fall utförs en PLS analys och man studerar vanligtvis hur väl en PLS-kalibrering kan förutsäga det uppmätta värdet på y-variabeln.

Vid en s.k. korsvalidering kan man kontrollera hur väl en PLS-kalibrering fungerar på observationer som inte varit med i kalibreringen. Man tar bort en eller ett fåtal observationer i taget från materialet och kalibreringen som utförs på resten av materialet valideras mot de avlägsnade observationerna. Detta upprepas tills samtliga prover blivit validerade en gång. På detta sätt får man en uppfattning om kalibreringens användbarhet för nya prover.

En delstudie bestod i att undersöka vilka markvariabler förutom P-AL som var av betydelse för att förklara variationerna i relativskörd. Detta gjordes genom att studera vilka variabler som hade störst betydelse för att förklara relativskördarnas storlek och genom att sedan stegvis ta bort variabler som befanns vara mindre intressanta. Förklaringsgrad ( $r^2$ ), beskriver hur stor del av variationen i relativskörd som kan förklaras med hjälp av de uppmätta markvariablerna.

Modeller anpassades både till hela materialet, och till de delar av materialet där fosforgödsling hade störst effekt, dvs platser med låga till måttliga P-AL-tal då försöken startades. Dessutom gjordes enskilda modeller för olika delar av materialet uppdelat efter mullhalt, lerhalt eller pH-värde. I vissa fall gjordes även korsvalidering. Att detta inte regelmässigt utfördes beror på att vi vanligtvis inte bedömde modellerna som tillräckligt bra för att en

validering skulle vara meningsfull. Kalibreringarna som redovisas ger ändå en beskrivning av vårt arbete med att försöka förbättra modellerna genom att använda olika delar av materialet.

### **Varians- och regressionsanalys**

Variansanalysen är ett hjälpmedel för att finna ett mönster i en datamängd. I analysen sorteras den variation som består av slumpen bort, så att skillnader mellan olika behandlingar renodlas. Här består datamängden av skördar från P-gödslingsförsök. Till varje skörd finns uppgift om den försöksplatsens P-AL-tal, pH, lerhalt och mullhalt, som skörden kommer ifrån. Eftersom försöken var fastliggande kommer samma P-AL-tal, pH osv att höra till mer än en skörd från den platsen. P-AL-värdena, pH-värdena, lerhalterna och mullhalterna skall forma mönstret för hur skördarna varierar. I studien skall inflytandet av P-AL på P-gödslingseffekten studeras vid olika pH-värden, olika lerhalter och olika mullhalter var för sig eller i kombination med varandra.

Första steget i variansanalysen har tagits genom att klassindela eller gruppera pH, lerhalt och mullhalt enligt tabell 1. Detta innebär att en del av den totala variationen kan hänföras till ett begränsat antal klasser eller variansorsaker. Med t.ex två lerhaltsklasser så jämför vi två medeltal för P-gödslingseffekten, det ena från platser med låg, det andra från platser med hög lerhalt. Sedan går man vidare och studerar t.ex låg, normal och hög mullhalt inom var och en av de två lerhaltsgrupperna. Då får vi sex medeltal att jämföra osv. Dessutom kan alla skördar jämföras mot varandra med avseende på deras P-AL-värden oberoende av pH etc. För varje variansorsak anges ett sk prob.värde som ligger mellan 0 och 1. Ett värde nära 0, vanligtvis  $\leq 0,05$ , betyder att den studerade variansorsaken har signifikant inflytande, medan ett värde större än 0,05 betyder att den statistiskt sett inte har haft säker verkan.

Med 3 pH-, 2 lerhalts- och 3 mullhaltsklasser får vi 18 olika kombinationer, som kan jämföras med varandra. P-gödslingseffekten studerades som en funktion av P-AL på dessa 18 olika jordtyper. Både P-AL-värdets lineära och kvadratiske effekt studerades eftersom vi vet att detta samband inte är rätlinjigt (Hahlin & Johansson, 1977). Alla beräkningar genomfördes med logaritmerade P-AL-värden.

För kvantitativa samband av den typen passar regressionsanalysen väl och för var och en av de 18 kombinationerna anpassades medelrelativtalen till den lineära modellen

$$y=a+b*\ln(\text{P-AL})$$

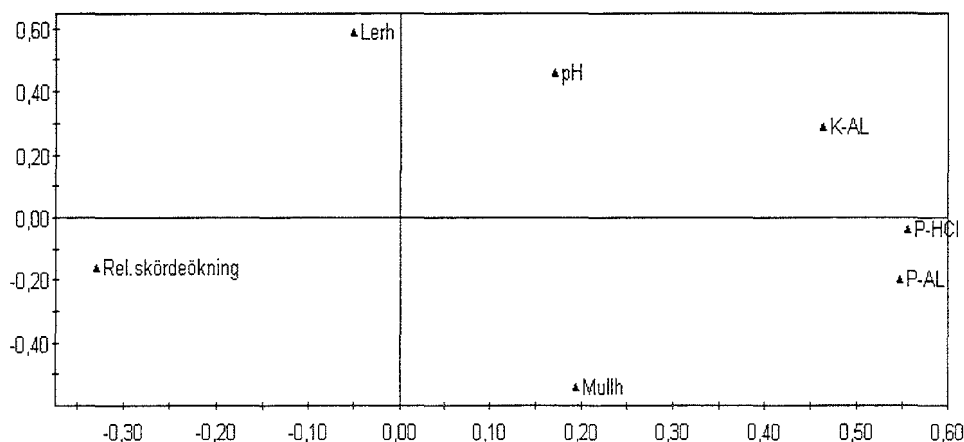
där  $y$ =relativtal,  $a$ , och  $b$  regressionskonstanter, P-AL är platsens P-AL-tal när försöket startades och  $\ln$  är naturliga logaritmen.

All datahantering och bearbetning med undantag för de multivariata delarna har genomförts med programpaketet SAS ver 8.1 TS1M0 (SAS, 2000).

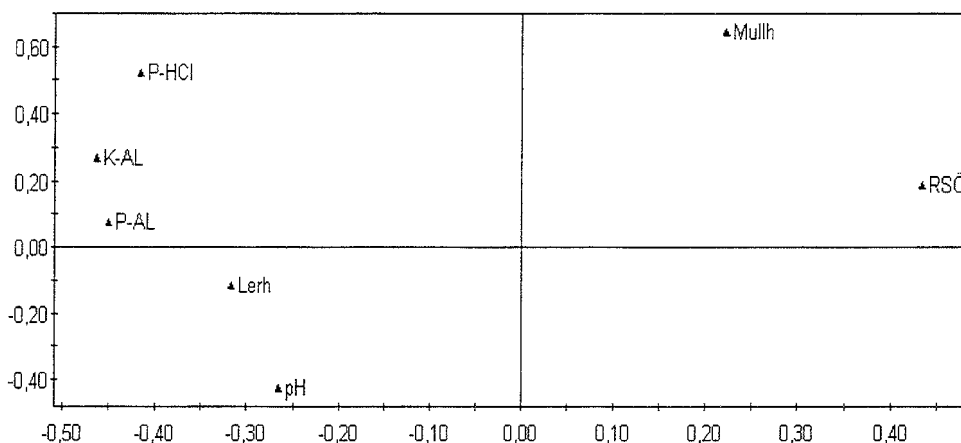
## Resultat

PCA-analys på hela materialet med undantag för ett fåtal försök där flera markdata saknades, visade att P-AL, P-HCl och i viss mån K-AL var negativt korrelerade till fosforgödslingseffekten, dvs man får större effekt av fosforgödsling vid låga värden än vid höga. Detta antyder att P-AL, P-HCl och K-AL samvarierar i materialet, vilket också korrelationskoefficienter visar. Korrelationen mellan P-AL och K-AL är 0,41, mellan K-AL och P-HCl 0,63 samt P-AL och P-HCl 0,74. Ingen markparameter tycktes vara tydligt positivt korrelerad till fosforgödslingseffekten (figur 1).

Samma mönster erhöles då man endast studerade försöksplatser med P-AL-värden upp till 8, men en viss positiv korrelation mellan mullhalt och fosforgödslingseffekt kunde skönjas (figur 2).



Figur 1. PCA-loading plot med data från 67 försök, hela materialet.  
Figure 1. PCA-loading plot, 67 experiments.



Figur 2. PCA-loading plot med data från 39 försök med P-AL värden  $\leq 8$ . RSÖ = Relativ skördeökning.

Figure 2. PCA-loading plot. 39 experiments with P-AL  $\leq 8$ . RSÖ=Relative yield increase.

Den multivariata utvärderingen indikerar alltså att mullhalt var en faktor av betydelse för P-gödslingseffekten. Variansanalysen visade att det fanns statistiskt signifikanta skillnader mellan grupperna, eller kombinationerna,

Tabell 2. Variansanalystabell för P-gödslingseffekten i de olika grupperingarna, P-AL-värdets lineära och kvadratiska effekt, samt samspelseffekten.  $n=290$ ,  $r^2=0,31$   
Table 2. ANOVA-table for linear, quadratic and interaction effect of P-AL on the P fertilizer effect in different groups,

Variations- orsak Source	Frihets- grader DF	F-kvot F	Prob.- värde Prob.
Grupp Group	12	2.96	0.0007
P-AL	1	22.46	<.0001
(P-AL) <sup>2</sup>	1	18.35	<.0001
(P-AL) <sup>2</sup> *pH	1	6.16	0.0024
(P-AL) <sup>2</sup> *Lerh. Clay	2	1.97	0.1614
(P-AL) <sup>2</sup> *Mullh Org. M.	2	4.69	0.0100
(P-AL) <sup>2</sup> *(pH*Lerh)	2	1.18	0.3077
(P-AL) <sup>2</sup> *(pH*Mullh)	3	5.16	0.0017
(P-AL) <sup>2</sup> *(Lerh*Mullh)	1	1.93	0.1664
(P-AL) <sup>2</sup> *(pH*Lerh*Mullh)	1	1.75	0.1867
Totalt Total	289		

av pH, lerhalt och mullhalt (tabell 2). Bildar man medeltal för skördeökningen för varje grupp kommer dessa medeltal att skilja sig så mycket åt så att det inte kan vara tillfälligheter. Som väntat visade variansanalysen också att P-AL-talet hade ett signifikant inflytande, såväl lineärt som kvadratisk, på P-gödslingseffekten. Vidare kunde det konstateras att detta inflytande var beroende av både pH och mullhalt dels var för sig, dels i kombination. Däremot erhöles inga statistiskt säkra samspel mellan effekten av P-AL och lerhalt vare sig med lerhalten ensam eller i kombination med andra faktorer. Det innebär sålunda att P-gödslingseffekten är beroende av samspelet mellan P-AL och pH/mullhalt men inte av lerhalten.

De berörda skillnaderna illustreras med medelrelativtalen (tabell 3a, 3b). Varje kolumn i tabellen representerar en av de 18 kombinationerna av pH-, lerhalts- och mullhaltsklasser, och varje rad en P-AL-klass. I några kolumner saknas värden helt och i några finns bara enstaka P-AL-klasser representerade. Observera att det totala antalet skördar som ingår i analysen är 290, men antalet försöksplatser är 68. I varje medeltal ingår därför en eller flera skördar från samma försöksplats.

Med få undantag erhöles positiva medelrelativtal, dvs positivt utslag för P-gödsling (tabell 3). Utslagen minskade med stigande P-AL-klass, dock inte entydigt. Mycket stora gödslingsutslag erhöles i P-AL-klass I. I medeltal relativtal 135. Vid högre P-AL-klasser är utslagen betydligt mindre. Relativtalen för klass II till V blev i genomsnitt 108, 104, 104 och 104.

P-gödslingseffekten var tydligt beroende av pH och P-AL (tabell 4). De största skördeökningarna erhöles i gruppen med låga pH-värden (tabell 4). I de högre P-AL-klasserna är skillnaderna mellan grupperna oregelbundna.

Vid stigande mullhalt kan större och större gödslingsutslag förväntas vid låga P-AL-tal (figur 3). Sedan avtar gödslingseffekten när P-AL ökar. Regressionsmodellen har inte tillåtits anta värden under relativtal 100. Förklaringsgraden,  $r^2$ , blev 0,10 vid låg mullhalt, 0,25 vid normal och 0,48 vid den höga mullhalten. Liknande samband kan beräknas för alla grupperna, men med minskande antal observationer blir skattningarna slumpartade och osäkra.

En PLS-modell där huvuddelen av försöksplatserna ingick (67) gav en förklaringsgrad,  $r^2$ , på 0,14 (figur 4).

Tabell 3a. Medelrelativtal för skördeökningar i olika P-AL klasser och grupper. Antal skördar i tabell 3b. pH-grupper 1: -5,9, 2: 6,0-6,5, 3: 6,6 Lerhaltsgrupper 1: -15 %, 2: 15- %. Mullhaltsgrupper 1: -3 %, 2: 3-6 % 3: 6- %-. Tilltagande skuggning betyder ökande pH-värde  
 Table 3a. Average relative numbers for yield effects in different P-AL classes and groups. Number of observations in Table 3b. pH groups 1: -5,9, 2: 6,0-6,5, 3: 6,6. Clay groups 1: -15 %, 2: 15- %. Org. matter groups 1: -3 %, 2: 3-6 % 3: 6- %-. Shading indicates increased pH

pH	Grupp Group																		
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Lerh	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2
Clay cont.																			
Mullh	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3
Org. matter																			
P-AL klass																			
class																			
I			120				124				157								
II	100	110	132	102	114			98		104	105			108					106
III		112		114	103		104	101	106	101	103								105
IV	115	101	96		107	111		102	104	103	101		110				105		103
V		105	107					100					101	100	103				100



Tabell 3b. Antal skördar grupp- och P-AL-klassvis. Antal ingående försöksplatser är 68  
 Table 3b. Number of observations for groups and P-AL. Total number of sites were 68

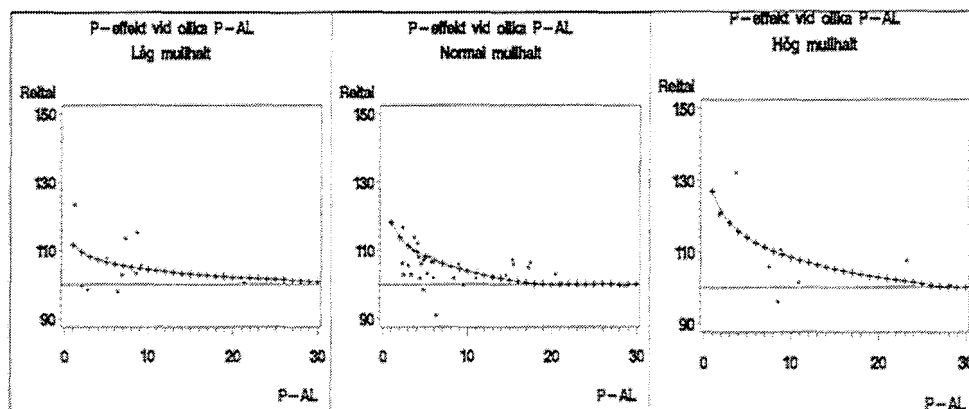
pH	Grupp Group																		
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	
Lerh Clay content	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	
Mullh Org. matter	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
P-AL klass class																			
I				3				4				4							
II	3	6	2	5	18				4	10			6				4	5	
III	5		4		22				10	12	4	5	10						
IV	5	11	1	7		1				11	7	7	7	4		4		18	
V	10		6							11				6	7	5	7		

Tabell 4. Medelrelativtal för skördeökning i olika P-AL-klasser i tre pH-grupper  
 Table 4. Average relative numbers for yield effects in different P-AL classes and pH groups

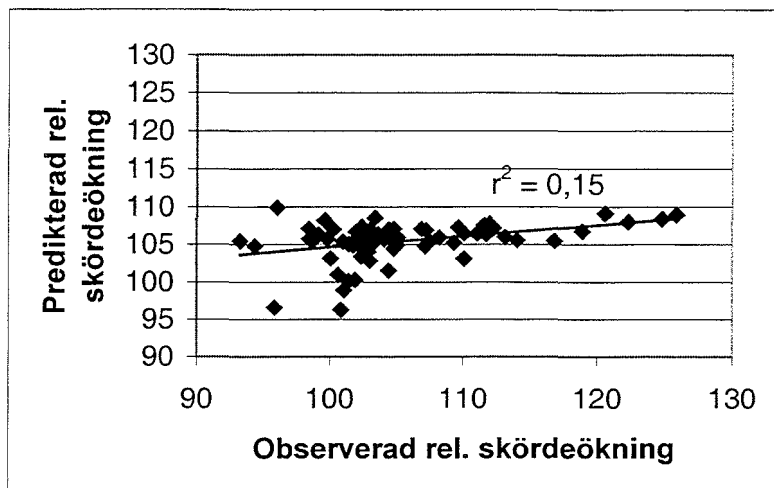
P-AL klass class	pH		
	<5,9	6,0-6,5	>6,5
I	121	140	
II	111	103	107
III	106	103	105
IV	106	103	104
V	109	100	101

Analysen visade att de olika försöksplatserna uppförde sig olika och att en grupp försök från försöksserie R3-3038 gav onormalt låga skattningar (längst ner till vänster i figuren) och försämrade därmed skattningen avsevärt. Denna modell får anses ha mycket litet värde. Att man även utan validering av modellen erhåller en så låg förklaringsgrad visar på stora brister.

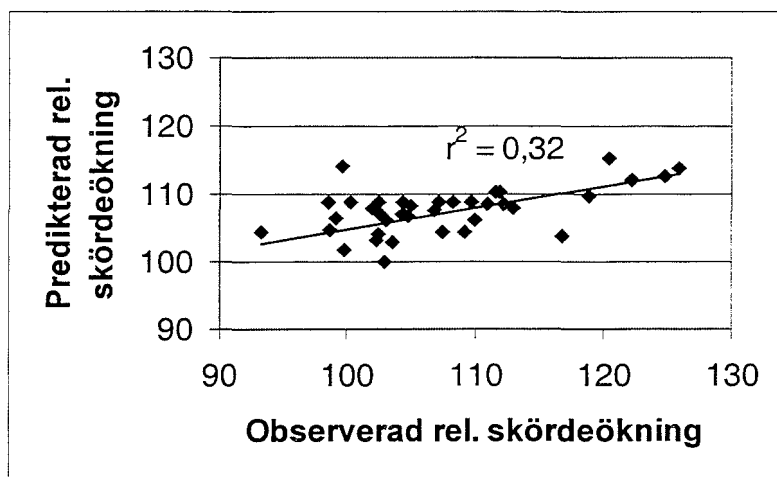
Tidigare erfarenheter (Hahlin, 1970; Hahlin & Eriksson, 1981) liksom tabell 3 visar att man får små effekter av P-gödning i P-AL klass IV och V. Därför gjordes en PLS-modell baserad på 39 försök med P-AL klass I-III. Denna modell gav en förklaringsgrad på 0,32 för kalibreringsvärdena (figur 5).



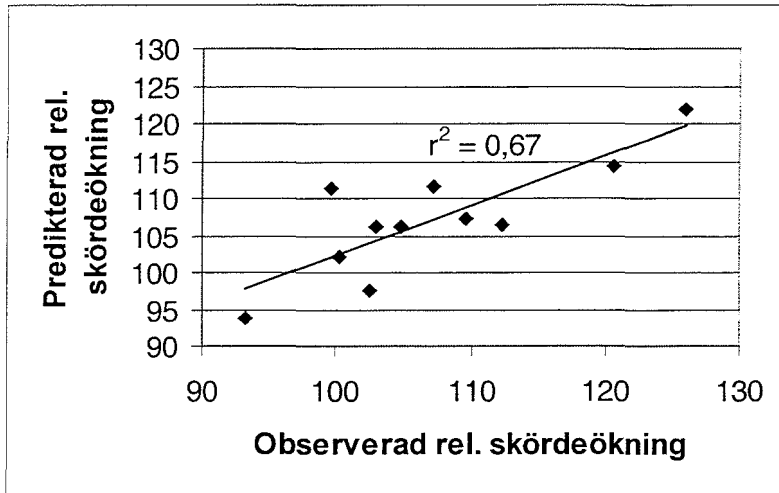
Figur 3. Relativ gödningseffekt som funktion av P-AL vid olika mullhalter.  
 Figure 3. Relative fertilizer effect as a function of P-AL at different organic matter contents,  $\leq 3\%$  (left),  $3-6\%$  (center) and  $>6\%$  (right).



Figur 4. PLS-kalibrering där relativa skördeökningen vid fosforgödning på 66 försöksplatser skattats med hjälp av samtliga tillgängliga markparametrar.  
*Figure 4. PLS-calibration where the relative yield increase of P fertilizer was estimated for 66 sites based on all available soil data.*



Figur 5. PLS-kalibrering där relativskörden vid fosforgödning på 39 försöksplatser med P-AL-tal  $\leq 8$  skattats med hjälp av samtliga tillgängliga markparametrar.  
*Figure 5. PLS-calibration where the relative yield increase of P fertilizer was estimated for 39 sites with P-AL  $\leq 8$  based on all available soil data.*



Figur 6. PLS-kalibrering där relativskörden vid fosforgödsling på 11 försöksplatser med P-AL-tal  $\leq 8$ , mullhalter  $> 3\%$ , lerhalter  $\leq 15\%$  och pH  $\leq 6.5$  skattats med hjälp av samtliga tillgängliga markparametrar.  
 Figure 6. PLS-calibration where the relative yield increase of P fertilizer was estimated for 11 sites with P-AL  $\leq 8$ , organic matter  $> 3\%$ , clay content  $\leq 15\%$  and pH  $\leq 6.5$  based on all available soil data.

Denna modell är inte heller tillfredsställande. En validering gav mycket låg förklaringsgrad. Det bedömdes emellertid som intressant att studera olika variablers inflytande med denna modell som utgångspunkt.

Ett mått som anger vikten av varje variabel i den multivariata modellen angav att P-AL, K-AL och mullhalt var de viktigaste parametrarna. Då K-AL tycks samvariera med P-AL enligt PCA-analyser, bedömdes det som intressantast att jämföra modellen med alla variabler med modeller med mullhalt och P-AL respektive endast P-AL som x-variabler. Med mullhalt och P-AL blev  $r^2$  lika stort som med alla variabler och med endast P-AL blev  $r^2$  0,23.

Detta visar att P-AL tycks stå för huvuddelen av den förklarade variationen i skördeökning vid fosforgödsling, men att mullhalten också har viss betydelse. Ökad mullhalt gav större skördeökning för fosforgödsling.

PLS-modeller för vissa andra grupper med stora effekter av P-gödsling enligt tabell 3 utfördes också. Med mullhalt över 3% (n=31), lerhalt under 15% (n=15) och pH under 6,5 (n=34) uppnåddes högre förklaringsgrader än då hela materialet bearbetades tillsammans. För kalibreringsdata blev  $r^2$ -värdena 0,34, 0,56 respektive 0,37 alltså i samtliga fall högre än då hela

materialet bearbetades. För lerhalt konstaterades även att ungefär samma resultat ( $r^2 = 0,52$ ) kunde uppnås om man använde en något större grupp och tog med platser med lerhalter upp till 25%. Antalet platser var då 22. Endast platser med pH-värden upp till 6,5, och endast två platser med mullhalter under 3% fanns med i denna grupp. Detta visar att ler och pH och mullhalt samvarierar och att det i denna typ av jordar är lättare att förutsäga P-gödslingseffekt än i övriga.

En ännu mindre grupp med denna typ av jordar studerades också: Endast platser med mullhalter över 3%, lerhalter under 15% och pH-värden under 6,5 togs med. I detta fall erhöles den bästa modellen (figur 6) men endast 11 försöksplatser (totalt 55 skördar) ingick.

En modell med endast mullhalt och P-AL som x-variabler gav ett  $r^2$ -värde på 0,59, vilket visar att denna kombination också är användbar för detta urval av platser. Endast P-AL som x-variabel fungerade dåligt. En korsvalidering utfördes och på valideringsdata erhöles ett  $r^2$  värde på 0,18. Anledningen till att skattningen blev så pass dålig berodde på en försöksplats med avvikande respons. Om denna togs bort blev  $r^2$ -värdet 0,53.

## Diskussion

Vid sidan av P-AL kan andra markparametrar påvisas, som har betydelse för fosforgödslingseffekten. Deras påverkan vilar på teoretisk bas, men de stora variationerna och obalansen i materialet omöjliggör många gånger en tydlig experimentell bekräftelse. Såväl pH-värde som mullhalt och lerhalt sammantagna hade emellertid påvisbart inflytande på P-gödslingseffekten. Detta motiverar vidare arbete med att förfina tolkningen av P-AL.

I gruppen med låga pH-värden gav tillförd fosfor ett relativt sett stort utslag. Detta är rimligt mot bakgrund av att vid låga pH-värden immobiliseras fosfor lätt och tillförd "färsk" fosfor får därför god effekt.

På jordar med höga pH-värden ( $> 7,0$ ) erhöles små skördeutslag av P-gödsling. P-AL är också ett trubbigt instrument i denna grupp. Anledningarna är flera. Skördarna är generellt större i denna grupp. Gynnsamma faktorer förutom P har drivit upp skörden. Det gäller främst vid höga P-AL-värden. AL-metodens osäkerhet på basiska jordar spelar också roll. Metoden löser ut mer P än vad som motsvarar den relativt växttillgängliga P-fraktionen. Att man inte ens vid låga P-AL-värden får gödslingseffekter kan bero på P-immobilisering i svårslösliga Ca-fosfater. Studien omfattar emellertid ett relativt snävt pH-intervall mellan pH 5,0 och 7,5 och med de

flesta värdena mellan pH 5,5 och 7,0, vilket innebär att bara begränsad information om P-AL:s värde vid riktigt höga pH-värden kan erhållas. På endast 5 försöksplatser var pH-värdet vid försökets start över 7,0.

En hög mullhalt innebär oftast en stor biologisk aktivitet i marken. Då bildas bl.a. organiska syror, som reagerar med metaller, vilka eljest skulle kunna minska fosforns växttillgänglighet. En del av det kemiska reaktionssystemet inaktiveras och P-gödsling ger därför bra effekt. Detta kunde bekräftas i studien och påvisades i den multivariata utvärderingen.

Hahlin & Johansson (1977) bearbetade inflytandet av pH, mullhalt och lerhalt på liknande sätt som här och konstaterade att pH hade ett påtagligt inflytande medan mullhaltens effekt var osäker. Samband mellan analysdata och gödslingseffekt erhöles bara på de lättare jordarna.

Den relativa P-gödslingseffekten, som användes som mätvariabel för varje försök jämnar ut skillnaderna i skördenivå mellan försöken. Metoden medför också att samma absoluta skördeökning för P-gödsling blir relativt sett mindre vid en stor grundskörd än vid en liten. Den normala skördenivån tycks också kunna bidra till att förklara P-gödslingseffekten vid sidan om markparametrarna.

Fastliggande försök innebär utarmnings- och uppgödslingseffekter, som måste beaktas. Den inledande bearbetningen visade att P-gödslingseffekten accentuerades allt eftersom försöken pågick. Här har endast resultat från försökens 6 första år medtagits.

Den multivariata utvärderingen visade på stora svårigheter att förklara skillnader i fosforgödslingseffekt med hjälp av markdata. Om utvärderingen koncentrerades till försöksdata där man ofta får effekt av P-gödsling nämligen vid låga till måttliga P-AL-tal, fungerade modellerna bättre. Om man ytterligare begränsade materialet till att endast omfatta platser med måttliga till höga mullhalter, låga lerhalter och låga till måttliga pH-värden, fanns möjlighet att utforma bra modeller. Då blev emellertid antalet provplatser litet, vilket ledde till instabila modeller.

Detta innebär att det inte anses meningsfullt att ta fram siffror på hur gödslingsrekommendationer bör ändras beroende på andra markfaktorer än P-AL. Indikationer finns dock på att man skulle kunna räkna med att P-gödslingseffekten är 5-10% högre på en måttligt mullhaltig jord jämfört med en mullfattig om jordarna har ungefär samma (låga) P-AL tal och inte är alltför leriga.

Det skall slutligen än en gång betonas att även om man vid sidan av P-AL tar hänsyn till pH, lerhalt och mullhalt, finns en stor variation i P-gödslingseffekt, som inte kan förklaras. Denna osäkerhet måste beaktas vid kommande utformning av rekommendationer. Det är också viktigt att förbättra gödslingsrådgivningen om fosfor genom en bredare europeisk studie, vilket förhoppningsvis blir en verklighet inom en snar framtid. Förmodligen skulle man i Sverige, liksom i t.ex. Storbritannien, kunna ha mer än en standardmetod för att mäta växttillgänglig fosfor. På så sätt är det lättare att hitta en lämplig analysmetod för alla kalktillstånd.

## Slutsatser

- P-gödslingens beroende av P-AL samvarierar främst med kombinationen av pH, och mullhalt. Lerhaltens inflytande var begränsat. Vid tolkningen av P-AL är det därför rimligt att hänsyn tas till aktuell mullhalt och aktuellt pH-värde.
- Mot denna bakgrund är de enskilda inflytandet av pH, lerhalt och mullhalt mindre intressant men det kan ändå nämnas att effekten av P-gödsling ökar vid stigande mullhalt och avtar vid stigande pH.
- P-AL värden över 8 uppvisade mycket små effekter av P-gödsling.
- På platser med mullhalter under 3 %, lerhalter över 15% och pH-värden över 6,5 var effekterna också små.
- På platser med mullhalter över 3%, lerhalter under 15% och med pH-värden under 6,5, var effekten varierande, men ofta stor. På dessa platser var det dessutom lättare att förklara effekterna med hjälp av markdata än på övriga platser. Framförallt visade sig mullhalt vara en viktig variabel för att förklara P-gödslingseffekt vid sidan om P-AL.
- De undersökta försökserierna kan förbättra gödslingsrådgivningen om fosfor ytterligare om de ingår i en bredare europeisk studie.

## Ekonomiskt stöd

Författarna tackar för finansieringen från i huvudsak Stiftelsen Lantbruksforskning, men även från SLU och Svenska Lantmännen.

## Litteratur

Benbi, B.K. & Brar, S.P.S. 1994. Influence of soil organic carbon on the interpretation of soil test P for wheat grown on alkaline soils. Fertilizer Research 37, 35-41.

- Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Moskal, S., Poulton, P.R., Goulding, K.W.T., Weigel, A. & Powlson, D.S. 2000. Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 263-275.
- Carlgren, K. 1995. Hur snabbt sjunker matjordens förmåga att leverera fosfor till grödan om man slutar gödsla eller sänker fosforgödslingsnivån? I Växtnäringsförsök 1994 . SLU, Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, Rapport specialnr 5, 9-10.
- Cox, F.R. 1994. Predicting Increases in Extractable Phosphorus from Fertilizing Soils of Varying Clay Content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1249-1253.
- Fernandes, M.L.V., Indiati, R., Coutinho, J. & Buondonno, A. 1999. Soil Properties Affecting Phosphorus Extraction from Portuguese Soils by Conventional and Innovative Methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30, 921-936.
- Haak, E. 1994. Roten morfologi och fysiologi i relation till alvens funktion. I: Alvens roll för växtproduktionen. Konferens den 9 mars 1994 anordnad av Stifelsen Svensk Växtnäringsforskning. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift* 5, 9-22.
- Hahlin, M. 1970. Fosforgödslings inverkan på skörden vid olika fosfortillstånd i matjorden. *Växtnäringsnytt* 3, 10-15.
- Hahlin, M. & Ericsson, J. 1981. Fosfor och fosforgödsling. *Aktuellt från Lantbruksuniversitetet* 294, Uppsala.
- Hahlin, M. & Johansson, L. 1977. Några analysmetoders förmåga att beskriva växtnäringsstillståndet för fosfor och kalium i marker. *Lantbrukshögskolans meddelanden, Serie A* 271.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. & Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and in organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 970-976.



- López-Hernández, D. & Niño, M. 1993. Phosphorus mineralization during laboratory incubation in soils derived from different textured parent materials. *Geoderma* 55, 527-537.
- Magid, J. & Nielsen, N.E. 1992. Seasonal variation in organic and inorganic phosphorus fractions of temperate-climate sandy soils. *Plant Soil* 144, 155-165.
- Mattsson, L. 1996. Markbördighet och jordart i svensk åkermark. En undersökning baserad på fältförsöksdata 1975-1993. Naturvårdsverket, rapport 4533.
- Mattsson, L. 1998. P in Swedish long-term soil fertility experiments. *Kungl. Skogs- och lantbruksakademiens tidskrift* 7, 69-76.
- Mattsson & Carlgren (red.). 2000. Växtnäringsförsök 1999. Skörderesultat med växt- och jordanalyser. SLU, Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, Rapport specialnr 10.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture. Circular 939, Washington, D.C.
- Riley, H. & Steenberg, K. 1985. Fosfor til korn på bakkeplanert leirjord. *Forsk. Fors. Landbr.* 36, 177-183.
- Rubaek, G.H. and Sibbesen, E. 1993. Resin extraction of labile, soil organic phosphorus. *J. Soil Sci.* 44, 467-478.
- Saarela, I., Engblom, S., Keevai, L., van Raij, B., Sippola, J. & van der Zee, S. 1997. Comparison of present and new techniques for separating available phosphorus from soils. NJF seminar 271, Stockholm, 17-19 March 1997.
- SAS. Copyright© 1999-2000 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sibbesen, E. 1983. Phosphate soil tests and their suitability to assess the phosphate status of soil. *J. Sci. Food Agric.* 34, 1368-1374.

Förteckning över samtliga rapporter erhålles kostnadsfritt. I mån av tillgång kan tidigare nummer köpas från avdelningen.

A list of all reports can be obtained free of charge. I available, issues can be bought from the division.

- 181 1991 Lars Gunnar Nilsson: Nitrifikationshämmare - flytgödsel.  
*Nitrification inhibitors - slurry.*
- 182 1991 Lennart Mattsson: Nettomineralisering och rotproduktion vid odling av några vanliga lantbruksgrödor.  
*Nitrogen mineralization and root production in some common arable crops.*
- 183 1991 Magnus Hahlin: Kaliumgödslingseffektens beroende av balansen mellan kalium och magnesium. II. Fältförsök, serie R3-8024.  
*Influence of K/Mg-ratios on the effect of potassium fertilization. Field experiments R3-8024.*
- 184 1991 Käll Carlgren: Skördeeffekter och pH-inverkan av fem kvävegödselmedel studerade i ett långliggande fältförsök.  
*Influence on yield and soil pH-value from five nitrogen fertilizers studied in a long-term field trial.*
- 185 1992 Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med Øyeslagg.  
*Field experiments with Øyeslagg.*
- 186 1992 Lennart Mattsson: Effekter av halm- och kvävetillförsel på mullhalt, kvävebalans och skörd i ett långliggande fältförsök i Uppland.  
*Effects on soil organic matter content, N balance and yield of straw and N additions in a long term experiment in Central Sweden.*
- 187 1992 Lars Gunnar Nilsson och Magnus Hahlin: Modell för beräkning av växttillgänglig fosfor-P-AL på basis av ICP-analys.  
*A model for calculation of plant available phosphorus in soil according to AL/standard and AL/ICP.*
- 188 1992 Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad.  
*Field experiments with liming of mineral soils to different base saturation.*

- 189 1992 Lennart Mattsson och Tomas Kjellquist: Kvävegödsling till höstvete på gårdar med och utan djurhållning.  
*Nitrogen fertilization of winter wheat on farms with and without animal husbandry.*
- 190 1992 Christine Jakobsson och Börje Lindén: Kväveeffekter av stallgödsel på lerjordar.  
*Nitrogen effects of manure on clay soils.*
- 191 1992 Magnus Hahlin och Erik Svensson: Radmyllning av NPK till fabrikspotatis. Resultat från försöksserie FK-1290. Samarbetsprojekt mellan Försöksavdelningen för växtnäringslära och Fabrikspotatiskommittén.  
*Placed application of NPK fertilizer to starch potatoes. Results from field experiment project FK-1290.*
- 192 1993 Enok Haak: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland.  
*Field experiments with liming of mineral soils in North Sweden.*
- 193 1994 Barbro Beck-Friis, Börje Lindén, Håkan Marstorp och Lennart Henriksen: Kväve i mark och grödor i odlingssystem med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland.  
*Nitrogen in soil and crops in cropping systems with catch crops. Studies on a sand soil in Halland in south-west Sweden.*
- 194 1994 Enok Haak, Börje Lindén & Per Johan Persson: Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län.  
*Nitrogen flow in different cultivation systems. A field experiment at Lanna Research Station in south-west Sweden.*
- 195 1995 Käll Carlgren & Jan Persson: Fält-, kärl- och laboratorie-undersökningar med Fosforkalk från Karlshamn.  
*Field, Pot and Laboratory Experiments with Phosforkalk from Karlshamn Ltd.*
- 196 1995 Lennart Mattsson: Skördevariationer inom enskilda fält. Storlek och tänkbara orsaker.  
*Yield variations within individual fields. Magnitude and possible reasons.*
- 197 1996 Käll Carlgren: Två fältförsök med jämförelse mellan konventionell och ekologisk fosforgödsling.  
*Two Field Experiments with Comparison between Conventional and Ecological Phosphorus Fertilization.*

- 198 1997 Enok Haak & Gyula Simán: Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92.  
*Effects of liming and NPK-fertilization in seven long term field experiments, 1962-92.*
- 199 1998 Börje Lindén, Käll Carlgrén & Lennart Svensson: Kväveutnyttjande på en sandjord i Halland vid olika sätt att sprida svinflytgödsel till stråsäd.  
*Nitrogen utilization on a sandy soil after application of pig slurry to cereal crops with different techniques.*
- 200 1999 Enok Haak: Vädrets och kvävegödslingens inverkan på växtproduktion och näringsupptag i bördighetsförsöket R3-9008, 1985-1992.  
*Influence of weather and N-fertilization on DM-yield and nutrient uptake in the fertility experiment R3-9008, 1985-1992.*
- 201 1999 Lennart Mattsson: Mullhalt och kväveminerisering i åkermark.  
*Soil organic matter and N mineralization in arable land*
- 202 2001 Lennart Mattsson, Thomas Börjesson, Kjell Ivarsson & Kjell Gustafsson. Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling.  
*Extended interpretation of labile P for soil and yield related P fertilization.*

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för växt-näringslära, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien finns tillgänglig vid avdelninge och kan beställas därifrån.

This series contains reports of research and field experiments from the Division of Soil Fertility, Swedish University of Agricultural Sciences. The series can be ordered from the Division of Soil Fertility.

---

**DISTRIBUTION:**

**Sveriges Lantbruksuniversitet  
Avd. för växtnäringslära**

**750 07 UPPSALA  
Tel 018-671249**

Print: SLU Service/Reproenheten, Uppsala 2001

---