

1 Slutrapport SLF O-16-21-772

2

3 **Precisionsodling: Beslutsstöd för implementering i svenskt lantbruk**

4

5 **Målsättning och bakgrund**

6 GPS-teknik och kartor (Geografiska Informations System) har sedan 1995 gjort det möjligt att
7 beräkna optimal tillförsel av växtnäring grönvis baserat på kartering av matjordens innehåll och
8 sambandet mellan markens växtnäringsstatus och den planerade grödans förväntade skörd.
9 Tekniken att sprida gödselmedel efter denna behovsberäkning är också sedan många år tillgänglig för
10 lantbruket. Ett problem för rådgivningen är att lönsamheten för ett enskilt lantbruksföretag att
11 investera i tekniken inte bara beror på kostnader för teknik och dess användning. Utan också av
12 intäkten i form av ökad skörd för anpassad varierad tillförsel av växtnäring inom fältet för den
13 enskilda grödan i växtföljden. Detta gäller egentligen för såväl kalk, kväve, P&K m fl näringsämnen.
14 För N-styrning och kalkning relativt lättar att notera effekten av åtgärden men för PK lite svårare.
15 Behovet är stort av ett beslutsstöd vid rådgivning som involverar både effekten av brukningsenhetens
16 markkemiska variation som de lokala förutsättningar och avräkningspris, pris på insatsmedel och
17 maskintid samt förväntad skörd. *Målsättningen var att utveckla beslutsstöd som kan användas vid*
18 *rådgivning kring lönsamheten med att anpassa och variera PK-gödsling på inom fält*
19 Det finns flera svårigheter vid bedömning av potentiella lönsamheten av varierad platspecifik
20 tillförsel av växtnäring. Det gäller såväl skattning av skördeeffekter av tillförsel av P o K-mineralgödsel
21 som att skatta skördenivå på fältets olika delar. För bedömning av P & K effekter står främst klassiska
22 fältförsök till förfogande för att skatta samband mellan markstatus och gödsling. När det gäller
23 skördenivåerna inom fält finns ju teknik i form av skördekarteringsutrustning till skördeetröskor (ref),
24 men flertalet lantbruk saknar fortfarande upprepade observationer av skördevariationen på sina fält.
25 *Ett delmål blev därför en fördjupning kring variationen inom fält i P & K-status och skördepåverkan*
26 *samt möjligheterna att förbättra skattningarna av skörd med beräkningsmodeller.* Detta gällde
27 särskilt möjligheten att utifrån skördedata kunna prognostisera parametrar i en produktionsfunktion.

28 *Precisionsodling - platspecifik anpassade odlingsåtgärder*

29 Kunskapen om att i tid och rum optimera platsanpassade växtodlingsodlingsåtgärder sk
30 precisionsodling, har sedan 1990-talet fördjupats avsevärt och detta avspeglas i en kraftig växande
31 vetenskaplig litteratur. Användning i det praktiska jordbruket har också ökat avsevärt såväl nationellt
32 som internationellt. Men ej så mycket som förväntat. Under de senaste 10 åren har också EU inom
33 sina forskningsfonder sats miljarder kronor på projekt för teknikutveckling in jordbruket såväl inom
34 växtodling som djurhållning samt livsmedlens värdekedja. Exempelvis IOF2020 (300 milj kr). En
35 översikt av projektområdet fås exempelvis via: [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/online-resources/result-pack-precision-farming-h2020)
36 [connect/online-resources/result-pack-precision-farming-h2020](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/online-resources/result-pack-precision-farming-h2020). Förväntningarna är också stora på
37 den nya utvecklade tekniken skall förbättra lönsamheten och "lösa " samt reducera inte bara
38 ekonomiska problem utan även hållbarhetsfrågor med fokus på "Sustainable Intensification".¹⁷
39 När det gäller effekten och nyttan av de nya tekniska FoI-lösningarna har FoU- fokus legat, och ligger,
40 främst på att utvärdera och ta fram olika tekniska lösningar, oftast kombinerat med biologiska
41 observationer i fält. Men mer sällan skattas den ekonomiska nyttan för den enskild bonden eller
42 användaren. I grunden kanske inte så förvånande eftersom utmärkande för "Precision Farming" just
43 är plats och situationsberoendet. Men det innebär också att det blir mer krävande att ge en adekvat
44 rådgivning för en enskild brukningsenhet. I ett inledande examensarbete i projektet "Precision
45 Agriculture -a study of profitability i a Swedish context" 2018¹ gjordes en genomgång av litteraturen
46 kring lönsamhet i precisionsodling i växtodlingen. Det noterades att trots osäkerhet kring
47 lönsamheten i det enskilda fallet fanns en viss benägenhet att investera i Precisionsodlingsteknik

48 (PrecAg). Vidare noterades att det saknades undersökningar under svenska förhållanden. Den för
49 svenska förhållande mest näraliggande mer omfattande undersökning om lönsamhet i olika delar av
50 PrecAg är gjord för danska förhållande av Pedersen² vars generella slutsats är att det fanns
51 lönsamhet för det tillgängliga tekniklösningarna inom 2-3 år och snabbast för de större bruknings-
52 enheterna. I Sverige har lönsamhet främst lyfts fram för användningen av Yara N-sensor.
53 Användning av PrecAg-teknik i lantbruket har ökat långsammare än förväntat av många aktiva i
54 utveckling och rådgivning av tekniken. Orsakerna som brukar lyftas fram är just problematiken med
55 att visa på lönsamhet för enskilda företag och åtgärder, komplex hantering av både data och teknik
56 samt bristande kompetens hos både rådgivarna och lantbrukarna som skall använda den nya
57 tekniken samt svårigheter att mäta responsen av den utförda åtgärden, dvs osäkra
58 skördeuppskattningar³. Ett försök att möta detta behov i växtodlingen redovisas i en nyligen
59 publicerad artikeln av Medici⁴, som i samverkan med flera europeiska precisionsodlings ekonomer
60 publicerat en artikel samt en web-sida där en lantbrukare kan logga in och genom att lägga in sin
61 specifika gårdsdata få en beräkning av lönsamhet på grödnivå för hela gården och bedöma
62 (<http://tool.pamcoba.eu/>). Men beslutstödet saknar möjlighet att bedöma lönsamhets inom skiften.
63 Under de senaste åren har också fokuserats på mer komplexa beslutstöd system FMIS (Farmers
64 Management Informations System) som försöker inkorporera "all" relevant data för de besluts-
65 situation som en lantbrukare har eg. satellitdata, markdata, skördedata m.m.²
66 Utvecklingen av precisionsodlingen inleddes egentligen med skördekarteringsteknik i tröskor redan
67 på 80 -talet. Utveckling under 90-talet med ökad precision i tillgänglig GPS-signal möjliggjorde
68 platsspecifika skördeskattningar och karteringar med hjälp av Geografiska Informationssystem (GIS).
69 Men tyvärr utmärktes dessa tidiga skördekarterings ofta av låg kvalitet, "orimlig" resultat, tekniska
70 svårigheter samt bristfälliga rutiner för utvärdering. Därmed svårt att identifierade nytta för både
71 brukare och rådgivare. Detta har gjort att det i dag 25 år senare finns få dataset att utvärdera på
72 skiftes- och gårdsnivå och därmed få data set att använd i moderna AI tillämpningar som machine
73 learning etc. På senare tid utvecklats ansatser att använda satellitbilder vid skattning
74 skördevariationer inom fält⁶. Då utnyttjas bilder som beskriver variationen inom fältet i tidigare
75 tillväxtstadier som en hjälp-faktor för skattningen. I vårt projekt har en ansats gjorts för att utvärdera
76 precisionen i kvävegödsling utifrån en produktions-funktion utvecklad av Jonasson⁷ och Brady⁸.
77 Modellen kan antas möjliggöra jämförelse mellan exempelvis enhetliga och platsspecifika givor.
78 Redan på 00-talet utvecklades inom samarbetet PrecisionOdlingiSverige (POS) i Skara ett
79 Excelbaserat beslutstöd för att bedöma lönsamheten med att anpassad variera tillförseln av
80 växtnäring och kalk efter markkartering av matjordens status⁹. Utgångspunkt för skattningen är
81 markkarteringsdata: P- och K-AL-talet, jorden pH-värde, mull- och lerhalt. Denna s.k. POS-kalkylen
82 gav förutom en skattning av nyttan av att gödsla varierat med P & K enligt markkartan även en rutin
83 för beräkning av nytto-potentialen av N-sensor och varierad kalkning. Trots att den möjliggjorde
84 beräkningar på gårdsnivå så har den rönt relativt liten praktisk användning. En orsak till detta är
85 förmodligen att den är omständlig att jobba med och saknar bra pedagogiska presentationer på
86 skiftes- och växtföljdsnivå som är lätta använda i rådgivningssituationen.
87 Ett argument förutom produktionsekonomiska effekter av en anpassning av gödsling till markens
88 status och grödan behov är att det kan antas att en förbättrad anpassning till P- behov reducerar
89 läckage av näringsämnen inklusive P. I projekt ingick inte att försöka skatta miljövinster av anpassad
90 giva utan att försöka skatta lönsamheten av varierad kontra en rak, jämn PK-giva över fältet.
91 Vidare avsåg inte projektet att lansera en färdig beräkning men väl att demonstrera en praktiskt
92 användbar version av ett beslutsverktyg för bedömning av potentiell nytta med varierad tillförsel av
93 växtnäring.
94 Målet var alltså en beräkningsrutin som kan bedöma den potentiella lönsamheten på gårdsnivå för
95 platsspecifik anpassning av främst PK-gödsling till rådande markstatus och att utnyttja data från de

96 långliggande bördighetsförsöken i syfta att belysa potentiell nytta/skördeökning av P-gödsling vid
97 olika status av P i marken.

98

99 **Material och metoder**

100 *POS-kalkylen*: Efter att initialt övervägt olika möjligheter att utveckla en praktisk lättanvänd
101 beräkningsmodell för bedömning av den ekonomiska potentialen, nyttan av varierad spridning efter
102 markkarta beslöts att ta utgångspunkt i den på tidigt 00-tal inom Precisionsodling Sverige utvecklad
103 sk POS-kalkylen⁹. Den innehåller inmatningsrutiner som gör att beräkningar blir gårds- och
104 fältanpassade men den saknade bland annat rutiner för att bedöma nyttan i gårdens växtföljd och
105 presentation av potentialen på enskilda fält. Den ekonomiska nyttopotentialen består i princip av två
106 komponenter. Sparad PK-gödsel på delar med tillfredställande halter av P o K i marken och
107 skördeökning vid tillförsel av PK på fältdelar där tillgången i marken är så låg att den är
108 skördebegränsande. Det senare innebar också ett behov att undersöka P-gödslingseffekter och
109 möjligheter att förbättra skördeskattningar på enskilda fält. Utgångspunkten i detta projekt blev den
110 version som fanns i Greppa. Utgångspunkten för beräkningar av potentialen i POS-kalkylen är
111 Jordbruksverket "Riktlinjer för gödsling och kalkning"¹⁰ samt en kartering av fältens P och K-status.
112 Arbetet med att utveckla utformning i Excel av "POS-kalkylen II" har utförts av agronom Henrik
113 Stadig, rådgivare vid Hushållningssällskapet Väst. Under 00-talet medverkade han också vid
114 utveckling och kodning av den första POS-kalkylen. Testningen av de nya funktionerna i en praktisk
115 rådgivningssituation har utförts av rådgivare agronom Lars Pettersson MarkVäxt05, i samband med
116 rådgivning inom Greppa näringens rådgivnings modul Precisionsodling. Den uppgraderade POS-
117 kalkylen har också vid två tillfällen presenteras för Jordbruksverkets specialister inom Greppa.
118 *Markkarteringar med varierande P och K-status*: De markkarteringar som använts som underlag för
119 ekonomiska beräkningar av varierad tillförsel av Stefan Merza har varit markkarteringsdata från
120 Lantmännens försöksgård Bjertorp som sammanställts och bearbetats av docent Johanna Wetterlind,
121 precisionsodlings-gruppen inom institutionen för mark och miljö SLU Skara samt markkarteringsdata
122 tillhandahållet av SOYL Sverige AB, Markväxt05 samt Hushållningssällskapet Väst.
123 *Skördeartering och schackrutförsök*: De skördearteringar som utnyttjats har erhållits från Johanna
124 Wetterling mfl från precisionsodlingsgruppen SLU och indirekt huvudsakligen från Lantmännens
125 försöksgård Bjertorp samt från SOYL Sverige AB. Dessa data har bearbetats av Stefan Merza under
126 ledning av prof. Hans Andersson institutionen för ekonomi, SLU. Resultat från ett så kallat
127 Schackrutförsök (Chessboard) i Skara (finansierat av Västra Götaland) användes för att validera
128 prediktionen i en produktionsfunktion. I försöket placerades olika kvävegivor i varje ruta (0kgN,
129 75kgN, 150kgN och 225kgN) och uppmätt skörd i varje ruta¹¹. Interpolerade och skattade
130 produktionsfunktioner baserat på olika N-givor skattades för varje ruta. Totalt är det 288 rutor med
131 72 rutor av respektive kvävegiva. Metoden beskriven av Jonasson⁷ syftar till att justera
132 produktionsfunktioner till regionala förhållanden. Den grundas på en markkvalitetsfaktor, LQF, för
133 skördeområdet vilken multipliceras med produktionsfunktionen. Därför speglar inte
134 produktionsfunktionerna nödvändigtvis verklig skörd och metoden grundas på ett antagande om att
135 lantbrukaren agerar rationellt och tillämpar optimal kvävegiva i förhållande till produkt- och
136 faktorpriser. Studien syftade till att analysera om kalibrerade produktionsfunktioner med
137 schackrutedata från Skara enligt Jonasson är jämförbara med de skattade parametrarna funktionerna
138 från Skara (produktionsfunktionens a, b och c värde, optimal kvävegiva och skörd).

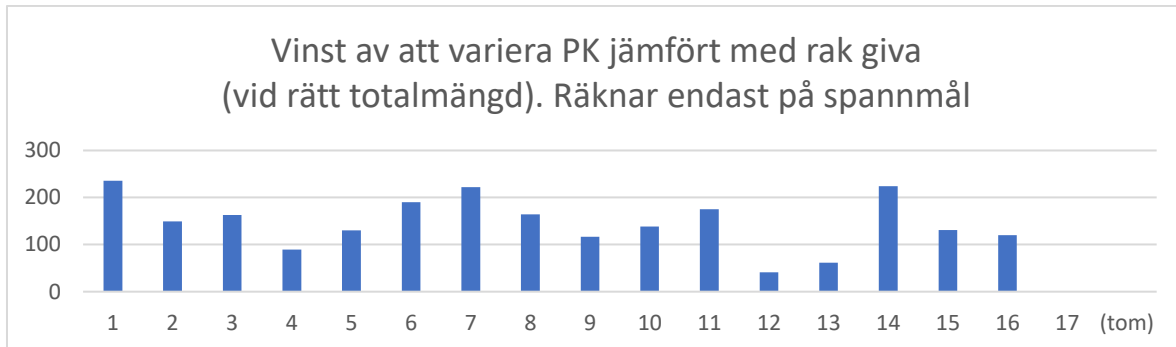
139

140 **Resultat och diskussion**

141 *Beslutstöd för bedömning av lönsamhet i varierad tillförsel av fosfor och kalium*

142 En kalkyl har utvecklats och finns nu tillgänglig för Greppa Näringen att inkludera i sin rådgivning
143 modul för "Precisionsodlingen" samt för undervisning i precisionsodling vid SLU. Den ger nu

144 möjlighet att beräkna och presentera potentiell lönsamhet för enskilda grödor och fält samt för den
 145 växtföljd lantbrukaren planerar att ha (Figur 1). Beräkningarna av lönsamhet m.m. sker utifrån
 146 förväntat pris på gårdens insatsvaror och skörd samt förväntad skördenivå på fältet. Beräkning av
 147 nyttan och potentiell lönsamheten med varierad anpassad giva baseras på en aktuell markkartering
 148 för såväl PK-gödsling som kalkning.
 149



150
 151 Figur 1. Potential lönsamhet (kr/ha och år) för varierad tillförsel av PK på skifte 1-17 för hel
 152 växtföljden (6 år) från en gård i Skaraborg. Beräkning utifrån markkartering av gårdens skiften.
 153

154 För att förstärka kommunikation mellan rådgivaren och brukaren om hur variationen ser ut inom
 155 gårdens fält och hur potentialen variera inom brukningsenheten kan resultaten presenteras mot
 156 bakgrund av fastighetens fält visade i Google Earth (Figur 2). Presentation förenklar diskussionen av
 157 potentialen för varierad gödsling jämfört med att diskutera utifrån tabellerad information om
 158 enskilda fält



159
 160 Figur 2. Variation i behov av kalium (kg/ha) inom fält för alla skiften för en brukningsenhet
 161 presenterade i Google Earth. Utvecklat av Mats Söderström, SLU Skara. (Bild Lars Pettersson)
 162

163 Beräkningar av lönsamheten för anpassning av PK-tillförsel efter markkartan baseras som tidigare
 164 noterats på Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling. Lönsamheten beräknas med två komponenter i
 165 varje mätpunkt på skift (oftast 1st /ha). En komponent är den mängd som sparas för att rätt mängd
 166 tillförs jämfört med en enhetlig medelgiva för skiftet. Den andra delen är en skattning av skörd
 167 ökningen på grund av att "rätt mängd P tillförs" till delar som har låg P tillgång. Detta bestämt som
 168 låga P-AL-tal i matjorden. För exempelvis spannmål antas att om rådet är att vid en given skördenivå
 169 tillföra 10 kg P /ha så antas skördeökning för varje nu rätt tillför P kg var 30 kg/ kg P, dvs 300 kg
 170 spannmål vid ett platsspecifikt behov av 10 kg P. Motsvarande siffra för K är 15 kg spannmål, (pers
 171 kommunikation H Stadig). Värt att notera är att för att en beräkning skall visa lönsamheten för
 172 varierad anpassad till markstatus jämfört med en rak enhetlig giva skall givan som visas i "Summa
 173 medelgiva i P och K" vara lika med "normalbehov enligt jordproverna". Om tillfört i snitt är högre än

174 behov förbättras lönsamheten för varierad giva pga. den enhetliga givan är för hög och beräkning då
175 beräknar en intäkt från sparad P-gödsel.

176 I praktiken baseras bedömning av lönsamhetspotentialen för varierad gödsling med PK på färre
177 mätpunkter i fältet än vid exempelvis N-sensornvändning. Det råder en viss osäkerhet i
178 bedömningar som ligger bakom gödslingsrådgivningen både för PK och kalkning. Variationen är
179 relativt stor i försöksresultaten mellan platser och år. Men eftersom jämförelsen i kalkylen görs på
180 samma villkor så kan fält med största potentiella nyttan identifieras och om det används aktuella
181 priser på insatsmedel och på utrustning så kan lönsamhets potential skattas på ett adekvat sätt för
182 den enskilda brukningsenheten.

183 Under utvecklingsprocessen har den nya uppdaterade versionen testats i skarp rådgivnings-
184 situationer av agronom Lars Pettersson vid 5 tillfällen. Erfarenheterna från dessa praktiska
185 rådgivningar och dialogen med jordbruksverkets specialister i Greppa näringen har bidragit till
186 förbättringar av beslutsverktyget. Det finns idag flera rådgivningsverktyg som utifrån en markkarta
187 beräknar behov av gödsling och tar fram en så kallad styrfil för praktisk spridning av gödselmedel för
188 att täcka behovet. Det gäller Dataväxt, SOYL Sverige AB och Hushållningssällskapens
189 "Markkartering.se". Men dessa saknar en rutin för att enkelt beräkna potentiella lönsamheten i att
190 variera åtgärderna när det gäller både PK-gödsling och kalkning. Den utvecklade POS-kalkylen II är
191 därför unik i Sverige och den enda för oss kända internationella beslutstödet med denna möjlighet.
192 Den enda som till delar liknar är den sk PAMCOBA (<http://tool.pamcoba.eu/>) Den har fokus på teknik
193 och saknar hänsyn till inomfältvariation⁴.

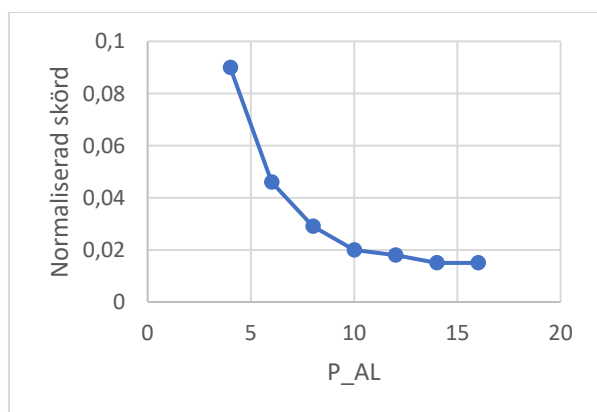
194

195 *Fosfortillstånd i mark och effekt av P-gödsling*

196 En central del i beräkning av lönsamhet för anpassning av P och K gödsling efter variationen i
197 markstatus är skattningen av skördeökning vid förlåganivåer i marken. Speciellt när det gäller P vars
198 prisnivå varierat under åren och som just nu 2021 är på en hög nivå. En viktig del i projektet har
199 därför varit att undersöka lönsamheten eg. skördeökning, av att tillföra fosfor vid varierande P-AL tal.
200 Detta med målet att belägga vid vilka markfosfornivåer (P-AL-tal) man inte kan räkna med någon
201 ytterligare skördeökning av P-tillförsel.

202 Fosfor är ett växtnäringsämne som fordrar långsiktig bedömning. Det beror på att gödslingen både
203 har en direkt skördepåverkan och samtidigt bygger upp markens fosforinnehåll. Det senare påverkar
204 grundskörden för respektive gröda när jordens innehåll av lättillgänglig fosfor (i detta fall P-AL) ökas.

205

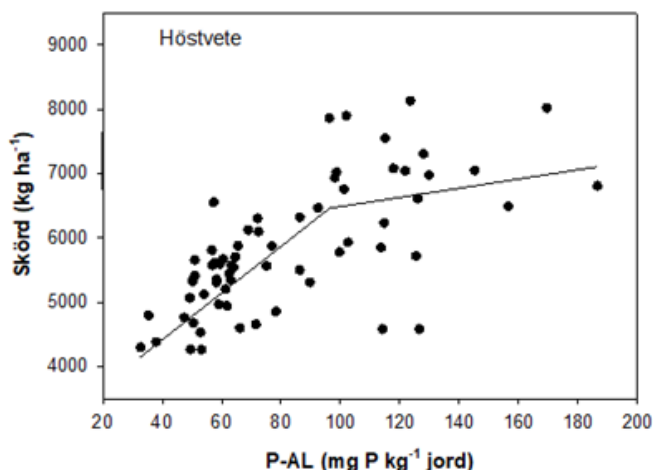


206
207 **Figur 3.** Varje punkt motsvarar en regressionskoefficient där alla observationer under det givna P-AL
208 talet är med. De är från estimerade regressioner med normaliserad skörd som beroende variabel och
209 P-AL som oberoende variabel. Exempelvis har i den första punkten till vänster (0,09 i normaliserad
210 skörd och 4 i P-AL) alla observationer under P-AL 4 används som datapunkter (dvs P-AL>4 exkluderas
211

212 Ett bra försöksunderlag för att belysa effekten av P-gödsling vid olika P-AL tillstånd och
213 uppgödslingseffekten är de så kallade bördighetsförsöken. För dem finns skörde-data för
214 fosforgödsling i olika växtföljder sedan 1957-1966¹² på 11 försöksplatser. I projektet har vi utnyttjat
215 skörde-data från dessa försök för att se på sambandet mellan fosforgödsling vid olika fosforstatus i
216 marken (eg P-AL-tal) och skördeökning. En central del av arbetet sammanfattas i figur 3.
217 Figur 3 visar att effekten av P-tillförsel är större vid låga PAL-tal än högre och att effekten på skörd
218 avtar vid P-AL-tal > 10 för spannmål. I POS-kalkylen räknas inte heller med en skördeeffekt över P-AL
219 10. I den SNV rapport "Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål" från 2005¹³
220 som bland annat ligger till grund för Jordbruksverkets rekommendationer räknas inte heller med
221 några skördeeffekter över P-AL-tal 10 eller under P-AL 3. I SNV 2005 användes ett antal gödslings
222 försök inklusive tillgängliga resultat från bördighetsförsöken. I våra beräkningar används
223 bördighetsförsöken fram till 2019. I SNV rapporten¹³ beräknas en ekonomisk gräns P-AL-värden för
224 när man skall sluta gödsla upp P-AL under givna kostnader för gödselmedel och avräkningspriser.
225 Slutsatserna om lönsamhet vid vissa P-AL för enskilda grödor beror, naturligtvis därför helt av
226 rådande priser. Detta understryker vikten att utveckla ett beräkningsätt såsom POS-kalkylen som
227 arbetar med gårdens aktuella priser. Om vi utifrån figur 4 beräknar en skördeökning för P-gödsling
228 vid $P-AL \leq 4$ för ett höstvetete på 6 ton/ha får vi 540 kg/ha ($6000 * 0,09$). Om vi går in i riktlinjer för
229 gödsling så är rekommendationen att i P-AL intervallet 2-4 lägga 20 kg/ha P, vilket ger en förväntad
230 skördeminskning på (540 kg/ 20 kg P) 27 kg/ha och kg P om P-gödslingen ej utfördes! I POS-kalkylen
231 antas skördesänkningen per Kg P ej tillfört, vara 30 kg skörd/ha. Det skiljer alltså 3 kg i förväntad
232 skördeminskning mellan POS-kalkylen och vår skattning ur figur 3. I POS-kalkylen antas också en
233 skördeeffekt av otillräcklig K-gödsling i relation till riktlinjerna. Intressant att notera är när det gäller
234 försöksunderlagen för P så tillskrivs den observerade skördeeffekten av PK-gödsling oftast helt till
235 effekt av P^{13,14}! Detta grundas på försöksresultat på 80-90-talet där man skilt på P o K och noterat att
236 PK effekten till övervägande del beror på P¹⁶. Det innebär i praktiken att den direkta skördeeffekten
237 av K är mindre känd men eftersom K är ett makronäringsämne med observerbara bristsymptom så
238 kan det anses rimligt att i beräkning av potentiell nytta inkludera K i kalkylen. Beräkningen utförs på
239 samma sätt som för P och med Jordbruksverkets riktlinjer som bas. Om det är rimligt med en
240 skördesänkning på 15 kg K för varje kg K som inte tillförs enligt riktlinjen kan naturligtvis diskuteras.

241
242 I ett SLF-projekt utförde Börjesson¹⁴ också ett omfattande arbete med att beräkna långsiktig
243 lönsamhet för fosforgödsling vid olika P-AL i matjorden. Arbetet baserat på resultat från
244 bördighetsförsöken men också under antagande av givna prisnivåer. Resultaten avseende
245 skördeökningen ansluter relativt väl till de resultat som presenteras i figur 4, inklusive observationen
246 att effekten av P-tillförsel är högre vid låga P-AL än vid högre.

247 En investeringsmodell utvecklades för att studera effekten av variabel giva av fosfor.
248 Investeringsmodellen förutsätter uppgödsling av fosfor som leder till ett ökat PAL bestånd som i sin
249 tur leder till en ökad skörd. Data hämtas från två olika källor. Dels användes data från
250 fältförsöken/långliggande försöken för att undersöka hur PAL påverkas av olika givor (0 giva,
251 behovsgödsling, behovsgödsling + 15kgP, behovsgödsling + 30kgp). Det andra datasetet är
252 Jordbruksverket nationella jordartskartering, användes för att studera hur skörden ökar när P-AL
253 ökar¹⁴. Data för de tre grödorna, höstvetete, korn och havre kunde anpassas via ekonometriska
254 metoder till två linjer med en brytpunkt (dvs två olika lutningar på linjen för och efter brytpunkten
255 som bilden nedan visar) Figur 4. Brytpunkten för höstvetete var 9,6 P-AL och för korn och havre 5,7 P-
256 AL.



257
 258 Figur 4. En bild med nationella data från Jordbruksverket som visar relationen mellan hektarskörd
 259 för höstvete och P-AL statusen i marken. Källa: Presentation av Kirchman (2020¹⁵).

260
 261 Information rörande PAL-förändring i relation till fosforgivor och hur skörden påverkas av ett ökat P-
 262 AL användes för att börja beräkningen för investeringsmodellen (Figur 4). Data från Bjertorp med P-
 263 AL-tal enligt markkartering) användes sedan för att göra beräkningar med hjälp av
 264 investeringsmodellen för att studera effekten av variabel giva av fosfor. Vi antar en planeringsperiod
 265 om 40 år där beslutet rörande investeringen sker år 0 och baseras endast på informationen vid den
 266 tidpunkten. Lantbrukaren antas initialt betrakta fältet som homogent där medeltalet av P-AL på
 267 skiftet används för att besluta om gödsling av fosfor bör ske. I skede två antas lantbrukaren ha
 268 platspecifik information och beslutar om gödsling av fosfor i varje provpunkt. I beräkningen
 269 tillämpas reala produkt – och faktorpriser avseende november 2020 enligt Jordbruksverket.
 270 Den lantbrukare som betraktar fältet som homogent beslutar utifrån P-AL-talet på sitt skifte (och
 271 baserat på kostnader för investering) om det är lönsamt att gödsla eller inte. Lantbrukaren som
 272 betraktar fältet som heterogent fattar samma beslut men för varje provplats. Dvs kan flera scenarion
 273 uppstå, båda lantbrukarna kan välja att inte gödsla fosfor för att P-AL talet är högt och att det inte
 274 finns en stor variation mellan P-AL-talen på alla punkter. Det kan också vara så att lantbrukaren som
 275 betraktar fältet som homogent inte väljer att gödsla fosfor eftersom genomsnittet för P-AL talet är
 276 tillräckligt högt varför det inte blir lönsamt att gödsla. Lantbrukaren som betraktar skiftet som
 277 heterogent vet att det finns en variation på skiftet och väljer att gödsla efter provpunkter.
 278 Kostnaderna och intäkterna beräknas sedan för båda lantbrukare per skifte och resultaten
 279 presenteras i tabell 1. Beräkning gjordes för behovsgödsling + 15kgP och behovsgödsling + 30kgP,
 280 men valet för lantbrukarna var inte mellan tre alternativ, utan två separata uträkningar gjordes (en
 281 för behov + 15kgP och en för behov + 30kgP) där lantbrukarna hade som alternativ att gödsla eller
 282 inte gödsla. Resultaten sammanfattas i en tabell baserad på data från Bjertorp. Följande information
 283 är av speciellt intresse: Kritisk gräns för P-AL (*Cutoff P-AL*) där brytpunkten beräknas från Kirchmans
 284 dat¹⁵. *Var*: avser variansen i P-AL på skiftet. *Kr/ha* – anger den årliga skillnaden i ekonomiskt resultat
 285 mellan en homogen jämn respektive heterogen varierad strategi.

286
 287
 288
 289

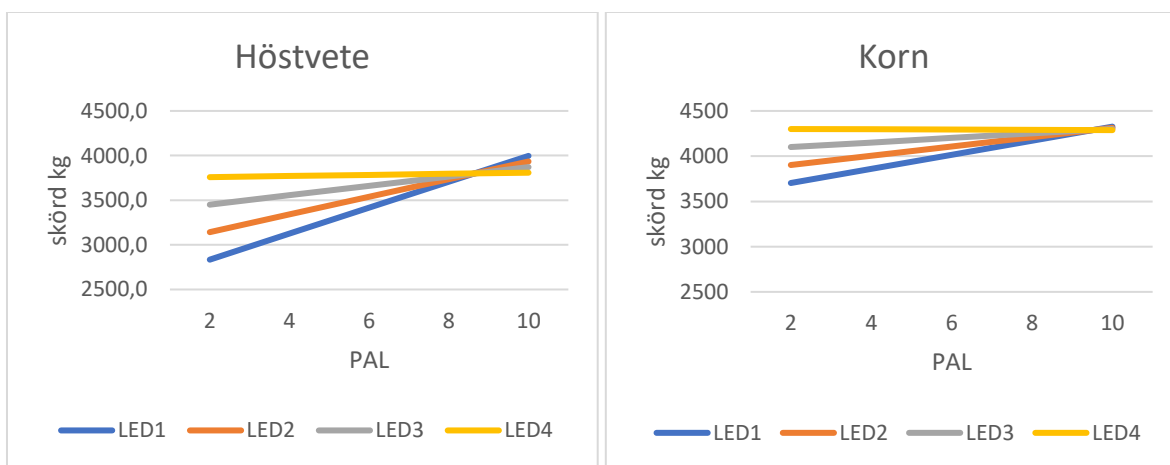
290 Tabell 1. Beräkning av platsspecifik information i kr/ha för att beräkna vinsten av homogen jämn
 291 kontra heterogen anpassad fosforgiva. Beräkningen grundas på Kirchmann¹⁵, data från
 292 bördighetsförsöken samt detaljerad markkarta för skiften på Bjertorp.
 293

Skifte	Gröda	Uppgödsling	Cutoff PA	Avg PA	Var	HA	P.gröda	P.fosfor	f.v.homo	r.v.homo	r.v.hetro	diff kr/år	diff tot (40år)	kr/ha
3 havre	15kg		5,7	5,5	6,1	10	1,26	15	39	2304	2501	197	7880	20
3 havre	30kg		5,7	5,5	6,1	10	1,26	15	0	0	2088	2088	83520	209
9 höstvete	15kg		9,6	3,9	1,7	9	1,86	15	4428	4424	4424	0	0	0
9 höstvete	30kg		9,6	3,9	1,7	9	1,87	15	6710	6556	6556	0	0	0
11 havre	15kg		5,7	6,1	12,6	7	1,26	15	0	0	1720	1720	68800	246
11 havre	30kg		5,7	6,1	12,6	7	1,26	15	0	0	1875	1875	75000	268
15 höstvete	15kg		9,6	5,7	7,7	17	1,86	15	8365	6252	6367	115	4600	7
15 höstvete	30kg		9,6	5,7	7,7	17	1,86	15	12069	8566	9031	465	18600	27
18 korn	15kg		5,7	6,3	4,3	14	1,56	15	0	0	3055	3055	122200	218
18 korn	30kg		5,7	6,3	4,3	14	1,56	15	0	0	3076	3076	123040	220
20 höstvete	15kg		9,6	2,5	0,1	18	1,86	15	8857	8857	8857	0	0	0
20 höstvete	30kg		9,6	2,5	0,1	18	1,86	15	13419	13419	13419	0	0	0
31 höstvete	15kg		9,6	3,5	0,7	12	1,86	15	5904	5904	5904	0	0	0
31 höstvete	30kg		9,6	3,5	0,7	12	1,86	15	8946	8918	8918	0	0	0

294
 295
 296 Variabeln kr/ha lönsamhet visar på en betydande variation mellan 0-268kr/ha i vinst vid en variabel
 297 P-giva. Som förväntat är det de fält som uppvisar en stor varians i P-AL som visar på de största
 298 fördelarna av precisionsanpassad gödsling av fosfor.

299 I praktiken verkar en rimlig slutsats från våra beräkningar och med hänsyn till tidigare resultat vara
 300 att inte räkna med någon skördeökning för P-AL >10, när man vill skatta den potentiella lönsamheten
 301 av anpassad P-fosforgödsling. I POS-kalkylen antas en skördesänkning med 30kg spannmål/kg P för
 302 platser där gödslingen inte når upp till Jordbruksverkets rekommendation av P-gödsel enligt platsens
 303 P-AL-tal. Dvs om man vid enhetlig giva på fältet tillför 15 kg P/ha och en plats har ett behov av 25 så
 304 fattas det 10 kg vilket ger en intäkt för anpassad giva på 300 kr för den delen inom fältet. I praktiken
 305 innebär det också att vid P-AL 10 upphör extra behov av P eftersom riktlinjerna baseras på resultaten
 306 presenterade i SNV-rapporten¹³.

307 Även i figurer 5 och 6 baserat på ekonometriska estimat framgår relativt tydligt att vid P-AL > 8,0-10
 308 så är effekterna av fosfortillförsel relativt begränsade (Figurer 5 och 6). Vid analys av skördeökning till
 309 följd av stigande P-tillförsel är det möjligt att studera skillnader i respons för P-gödsling nivåer för H-
 310 vete och korn vid olika P-AL. Den något lägre skördeökningen för korn indikerar en något lägre
 311 skördesänkande effekt av lågt P-AL för korn i jämförelse med vete vilken avviker från resultaten i
 312 SNV-studien.



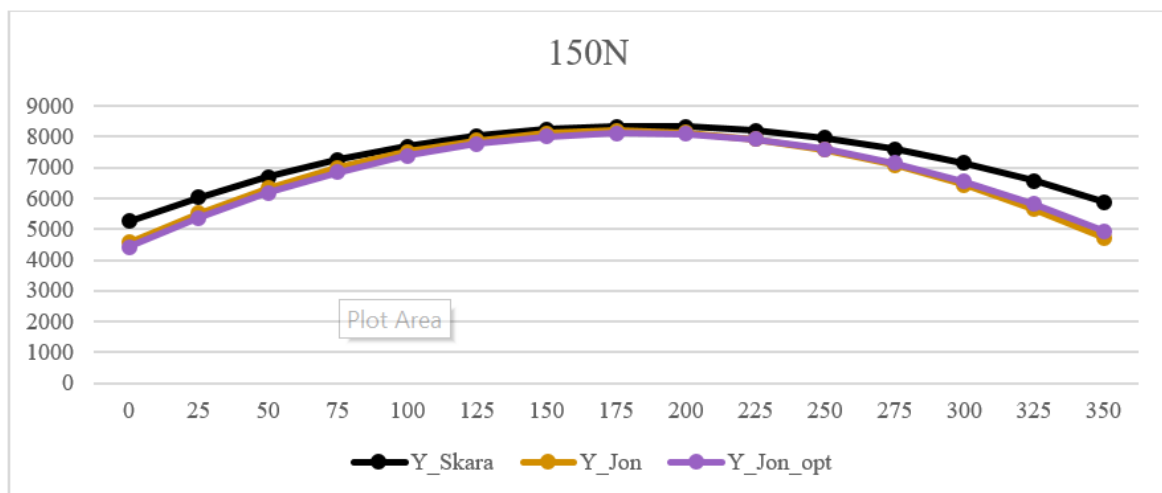
313
 314 Figur 5 och 6. Den ekonometriska skattade relationen mellan skörd och P-AL vete och korn (inklusive
 315 interaktionseffekter) givet olika försöksled. LED 1 avser ingen tillförsel av fosfor och respektive LED
 316 2-3-4 avser fosforgivorna 15-30-45kg P/ha och år.
 317

318

319 Skördeskattning

320 Tillgång till information om variationen i skörderespons på ett fält öppnar flera analysmöjligheter av
321 orsaken till skördedepressioner och höga skördar på vissa delar av fält. Detta liksom en möjlighet att
322 studera effekten av olika odlingsåtgärder som bekämpning, jordbearbetning sortval etc. Teknik finns
323 för mätning i tröskan men det förutsätter motiverade tröskoperatörer och uppföljande utvärdering
324 av intresserade rådgivare etc. för att få genomslag!!

325 I projekt har en studie utförts på dataset som innehöll både markkartering och skörderesponser från
326 fält. Målsättningen var försök upptäcka skördedepressioner och samband med variationer i
327 kvävetillförsel. Studien grundas på en metod utarbetad av Jonasson 1996 kan användas för att skatta
328 skörden platsspecifikt och värdera nyttan av varierad anpassad N-gödsling. Tillgången på skördedata
329 från ett sk schackrute-försök utanför Skara gjorde det också möjligt att utvärdera potentialen i
330 Jonasson ansats. Detta innebär att en unik produktionsfunktion kan estimeras för varje del av fältet.
331 Detta eftersom en stor del av fältet delats in i rutor som har 8 närmste grannrutor med en annan N-
332 gödsling. Likande försök har gjorts i UK och visat hur den optimal N-givan varierar inom fält (ref). I
333 projektet kunde därför ansatsen enligt Jonasson jämföras med faktisk skörd givet tillämpade N-givor
334 och med en beräknad skörd för optimal-N inom en ruta med de 4 N-nivåerna (24x24 m).



335

336 Figur 7. Jämförelse mellan produktionsfunktionerna vid kvävegiva 150kg. Jämförelsen sker mellan
337 skattade produktionsfunktioner enligt **Pilkki mfl** samt härledda produktionsfunktioner med ansats
338 enligt Jonasson (1996).

339

340 Slutsatsen av analysen är att Jonasson's approximation av produktionsfunktionens parametrar
341 fungerar relativt väl om kvävegivan återfinns i intervallet 100-200 kg/hektar (Figur 7). Förklaringen är
342 att den ekonomiskt optimala kvävegivan i flertalet av de olika fältdelarna ligger i detta intervall vilket
343 är ett grundläggande antagande i Jonasson's modell. Vi kan således konstatera att om vi har tillgång
344 till fältspecifik a priori information rörande sitespecifika kvävegivor så kan vi med god precision
345 härleda parametrarna i produktionsfunktionens samtidigt som dessa parametrar visar relativt god
346 överensstämmelse med de skattningar som genomfördes inom ramen för schackrute-försöket. Detta
347 förhållande ger en möjlighet att utnyttja information från en N-sensorbehandling (givet att metoden
348 förväntas ge optimal N-giva) till att identifiera de platsspecifika parametrarna i produktions-
349 funktionen och med kunskap från fältförsök och växtföljdspecifik historisk information om framtiden
350 om samband mellan dessa och fältets miljöfaktorer samt skörd skulle övertid precisionen i
351 prognosticerade värden liksom i parametrarna kunna förbättras.

352

353 **Bilagor (tillgänglia från författarna)**

- 354 Jonsson A och Pettersson L 2021. Manual för POS-kalkylen I Greppa kalkylen. Verision SLF 2021-10-29.
355 Arbetsdokument i SLF-projekt ” Beslutstöd.....
356 Jonsson A 2020. Skördekartera mera! Artikel i Lantmannen nr 1
357 Gustafsson K, Nissen K, Stadig H, Wetterlind J. Pettersson L och Jonsson A. 2021 The POS-model - a decision
358 support tool for variable rate application of nutrients. Abstract ECPA 2021.
359 Pettersson L. 2021. Dokumentation av rådgivning med precisionsodlingsmodul och POS-kalkylen.
360

361 **Referenser**

- 362 1.Karlsson A och Nessvi C. 2018. Precision Agriculture- A study of the profitability in a Swedish context. Exarbete.
363 Advanced level Agricultural Programme- Economics and management. Degree thesis No 1155. ISSN 1401-4084. Uppsala.
364 2. Pedersen M.F och Pedersen SM 2018. Erhvervsøkonomiske gevinster ved anvendelse af praecisionslandbrug. IFRO
365 Udrening 2018/2. Institut for Fødevarer-og Ressourceøkonomi. Københavns Universitet.
366 www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/udredninger/
367 3.Bahr C., Forristal D., Fountas S., Gil E., Grenier G., Hoerfarter R., **Jonsson A.**, KempenaarC., Lokhorst K., Mazur P., Mertens
368 K. Mottram T., Nacke E. Parea P., Pastell M., Pickel P., Sikeilytè E., van den Borne J., Vangeyte J., ZarcoTejada P. **2015** EIP
369 AGRI Focus Group Precision Farming - technical report. EIP-AGRI.
370 (https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agrieip/files/eipagri_focus_group_on_precision_farming_final_report_2015.pdf)
371
372 4. Medici M. Pedersen S.M. Canavari M, Anken T., Stamatelopoulos P., Tsiropoulos Z., Zotos A., Tohidloo G. 2021. A web-
373 tool for calculating the economic performance of precision agriculture technology.Computer and Electronics in agriculture.
374 181, 1-7 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105930>
375 5.Saiz-Rubio V and Rovira-MáFrom F. Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management.
376 Agronomy 2020, 10, 207; doi:10.3390/agronomy10020207
377 6. Söderström M, Piikki K and Stadig H 2021. Yield maps for everyone – scaling drone models for satellite-based
378 decision support. ECPA 2021, Abstracts p 911-918. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9_109
379 7. Jonasson, L., 1996. Mathematical programming for sector analysis— some applications, evaluations and
380 methodological proposals. Doctoral Thesis, Dissertations 18, Department of Economics, Swedish University of
381 Agricultural Sciences, Uppsala.
382 8. Brady, M., 2003. The relative cost-efficiency of arable nitrogen management in Sweden. *Ecological*
383 *Economics*, 47(1), pp.53-70.
384 9. Nissen K., Gustafsson k. and Söderström M. 2003. Assessment of economical benefit of variable rate
385 application of nitrogen, phosorus, potassium and lime.DIAS Report, Plant Protection No 100 Dec. 163-169
386 10. Jordbruksverket 2021. Riktlinjer för Gödsling och Kalkning. [Rekommendationer för gödsling och kalkning](#)
387 [2021 - Jordbruksverket](#)
388 11. Piikki K och Söderström M.2020. Schackrute-försök i höstvetete. Personlig kommunikation. Institutionen för
389 mark och miljö, SLU. Skara.
390 12. Carlgren, K. & Mattsson, L. 2001 Swedish soil fertility experiments. Acta Agricultura Scandinavica 51, 49- 78
391 13. Bertilsson, G., Rosenqvist, H. & Mattsson, L., 2005. Fosforgödsling med perspektiv på miljömål. Rapport
392 5518, Naturvårdsverket, Stockholm.
393 <http://www.naturvardsverket.se/OmNaturvardsverket/Publikationer/ISBN/5500/91-620-5518-6/>
394 14.Börjesson 2015. Ekonomiska beräkningar för långsiktig fosfor gödsling. SLF-projekt: Interaktioner mellan P
395 och N-gödsling. Slutrapport. s 10. https://www.lantbruksforskning.se/projektbanken/interaktioner-mellan-p-och-n-godsling/?search=B%C3%B6rjesson+fosfor&app_year=&category=&page=1&pub_year=
396
397 15. Kirchmann, H., Börjesson, G., Bolinder, M.A., Kätterer, T. and Djodjic, F., 2020. Soil properties currently
398 limiting crop yields in Swedish agriculture—An analysis of 90 yield survey districts and 10 long-term field
399 experiments. *European Journal of Agronomy*, 120, p.126132.
400 16.Gesslein, S., 2001. Odlingssystem, växtnäring och markbördighet – 18 års resultat från en tidigare ej
401 uppgödsad jord. Kungliga Skogs- och lantbruksakademins Tidskrift 140:9.
402 <http://www.ksla.se/publikationer/kslat/kslat-9-2001/>

403

404 **2021-11-02 Anders Jonsson**

405