

Sammanfattning

Kerstin Berglund, SLU, Jens Blomquist, SBU, Bertil Christensson, Berndt Gerhardson, Olof Hellgren, Hans Larsson och Tomas Rydberg, SLU, Thomas Wildt-Persson, SBU

Bakgrund

Bakom starten av projekt 4T låg signalerna hösten 1996 om att den svenska sockerskörden halkar efter vid jämförelse med andra sockerbetsodlande länder i Europa. Skördeeftersläpning bekräftas i den regressionsanalys (kapitel 1.1) som visar att Sverige under perioden 1980-2000 hade den lägsta årliga skördeökningen per hektar av elva länder i Europa. Skördevariation i den svenska betodlingen beskrivs i kapitel 1.2. Den skördevariation som existerar mellan de 34 olika skördeområdena som den svenska betodlingen indelas i, är mindre än skördevariationen mellan odlare inom ett och samma skördeområde. Med andra ord är skillnaderna i sockerskörd större mellan lantbrukare inom en och samma trakt, än den är mellan olika trakter. Den låga skördeutvecklingen tillsammans med den höga skördevariationen utgjorde sammantaget fundamentet för projektstarten av 4T.

Inledningsvis genomfördes dessutom under hösten 1997 ett antal studieresor till betodlande grannländer. Målsättningen med dessa resor var att inhämta kunskap inom de ämnesområden som behandlades i projekt 4T, samt att få synpunkter och perspektiv på det pilotarbete som hade genomförts, men som skulle projektstartas i full skala 1998. Den samlade bilden av åsikterna och diskussionerna i de olika länderna gav vid handen att:

1. etableringsfasen
2. markens bördighet och struktur
3. växtskyddet
4. odlarens skicklighet och förmåga
5. växttillgängligt vatten

till stor del kan förklara skillnaden i sockerskörd mellan olika odlare med liknande förutsättningar. I kapitel 1.4 ges en översikt över hela projekt 4T och i kapitel 2 förklaras vilka som var engagerade i projektet samt hur det finansierades.

Projekt 4T bedrevs på tre fronter: inom parstudien, genom fältförsök och i växtfysiologiska undersökningar i klimatkammare (Biotronen).

Parstudien

Skördeskillnaden mellan gårdar med liknande förutsättningar i jord och klimat, men med olika skördenivåer var incitamentet för parstudien som hela kapitel 3 ägnas åt. I parstudien var gårdarna indelade parvis i sammanlagt sju par. En av gårdarna hade historiskt höga skördenivåer och kallades plusgård. Granngården hade normala skörderesultat kring sockerbrukets medelskörd och kallades därför medelgård. Urvalet skedde med utgångspunkt i skördestatistik, diskussioner med betinspektörer samt framför allt djupintervjuer med de odlare som blev tillfrågade och visade intresse för att delta.

På varje sockerbetsfält lades varje år tre provytor ut om cirka 20 x 20 meter. Inom och runt dessa provytor gjordes samtliga provtagningar och mätningar. Sammanlagt behandlades cirka

250 variabler statistiskt. Korrelationer, multipla regressioner samt diskriminantanalys kördes på varje beroende variabel.

Efter sådd undersöktes såbäddarna och uppkomsten följdes genom planträkning (kapitel 3.4.1). Från mitten till slutet av maj fram till och med juli månad mättes marktäckningen med digitalkamera. I korrelationstesterna framkom sju variabler som utslagsgivande för sockerskörden. Dessa var sådatum, plantantal, daggrader från sådd till 45 000 plantor per hektar, dagar från sådd till 20 procents marktäckning, beståndets marktäckning i mitten av juni, beståndets slutmarktäckning samt fröplaceringen under torra förhållanden efter sådd. Test av skillnader mellan grupperna plus- och medelgårdar visade att plusgårdarna sådde tidigare, hade snabbare beståndsutveckling samt högre marktäckning både i mitten av juni samt vid full blastutveckling.

De markfysikaliska undersökningarna (kapitel 3.4.2) innefattade torr skrymdensitet, porositet, vattenhalter vid olika vattenavförande tryck samt vattengenomsläpplighet i matjord, plogsula och alv. Ur vattengenomsläpplighetsmätningarna beräknades den vertikala infiltrationsförmågan i hela profilen 0-50 cm. Variablerna jämfördes mellan paren, i grupperna av plus- och medelgårdar samt också i en hög- och lågskördegruppsindelning oberoende av plus- eller medeltyp. Resultaten visade att skrymdensiteten oftast var lägre på plusgården samt lägre i matjorden i högskördegruppen med sockerskörd över 9,67 ton per hektar. Också vattengenomsläppligheten i matjorden var högre i högskördegruppen, liksom den beräknade vertikala infiltrationsförmågan i hela profilen.

I slutet av sommaren grävdes i varje provyta en ca 2 m djup grop för att både bedöma och mäta egenskaper i markprofilerna (kapitel 3.4.3). Matjordsdjup, rotutveckling, maskgångar och aggregatstruktur fanns bland de variabler som studerades. I två par av de sju fanns skillnader som var betydande. I ett par hade plusgården en ur växtsynpunkt bättre markprofil, medan förhållandet var det omvända i ett annat par där medelgården hade en bättre markprofil. Mellan grupperna av plus- och medelgårdar fanns små skillnader.

Växtnäringsanalyser (kapitel 3.4.4) gjordes ca 60 dagar efter groningen, men resultaten tyder inte på att något enskilt av de analyserade växtnäringsämnen begränsade tillväxten i denna studie. Således fanns inte heller någon förklaring till skördeskillnad på parnivå att finna här.

Undersökningarna av skadedjur (kapitel 3.4.5) och deras angrepp på de unga sockerbetsplantorna ägnades stor uppmärksamhet. Dessa innefattade både undersökningar av sockerbetsplantorna på laboratorium genom flotation ca två veckor efter sådd och undersökningar i fält genom fältbedömning vid två tillfällen. I dessa undersökningar graderades också svampangreppen på plantorna. Totalt avlästes 180 plantor per fält som tillsammans gav ett index för andelen friska plantor och ett för skadebedömning (damage score). Under 1999 och 2000 användes dessutom fallfällor för att studera djur som är rörliga och inte kommer med vid flotation och fältbedömning. Resultaten visade att andelen friska plantor var den enskilt viktigaste variabeln för sockerskörden och att andelen friska plantor påverkades positivt av bland annat en hög porositet och vattengenomsläpplighet i matjorden. I sammanställningarna över samtliga år hade plusgårdarna flest friska plantor och minst svampangrepp. Resultaten visade också att betbagge och hoppstjärtsläktet *Onychiurus* var de mest betydande skadedjuret.

I klimatkammare odlades sockerbeter i jordprov från de sju olika gårdsparen för att mäta infektionsgraden av rotbrandssvampar (kapitel 3.4.6). Ett rotbrandsindex beräknades efter hur

många plantor som angreps och som också tar hänsyn till att ett tidigt angrepp är allvarigare än ett senare. Resultaten visade att medelgården hade större potentiell smitta än plusgården i sex av de sju gårdsparen. Korrelationstesterna visade att rotbrandsindexet ökade när pH i matjorden och vattengenomsläppligheten i plogsulan minskade.

I kapitel 3.4.7 redovisas ytterligare fyra undersökningar som behandlar jordburna svamp-sjukdomar på sockerbeter. De isoleringar, patogenbestämningar och patogenitetstester som genomfördes visade att det framför allt var de tidiga angreppen av patogener av svampsläk-tena *Pythium* och *Aphanomyces* som orsakade problem i de sju gårdsparen. Plusgårdarna hade sammantaget något lägre rotbrandsangrepp än medelgårdarna. Experiment utfördes också för att klarlägga om det fanns jordar med sjukdomshämning mot svampen *Aphanomyces cochlioides* och om en sådan hämning följde indelningen i plus- och medelgårdar. Någon entydig koppling gick inte att finna. Testerna pekade i stället mot att sockerbeter vart tredje år sannolikt kan sätta sjukdomshämningen ur spel. De mekanismer som ligger bakom sjukdomshämningen undersöktes också. Resultaten ger vid handen att jordar med hög andel av vissa lermineral, uttryckt som högt smektit/vermikulitindex, oftare är sjukdomshämmande mot rotbrand och att denna hämning till en del orsakas av mikroorganismer. Kalkens inverkan på svampen *Aphanomyces cochlioides* undersöktes i ett uppföljande växthusexperiment efter rapporter från ett fältförsök om ett samband mellan dessa. Resultaten visade att kalkning med en blandprodukt av kalciumhydroxid och kalciumkarbonat signifikant minskade infektionen av svampen.

I kapitel 3.4.8 redovisas de ogräsinventeringar som gjordes i fält 1999 och 2000 samt den fröbanksundersökning som genomfördes 1999. Undersökningarna visade att plusgårdarna generellt hade betydligt färre ogräs än medelgårdarna. Ett herbicidindex konstruerades utifrån en hektardos enligt Miljöledning Betodling och med en skattning av herbicidernas skadliga effekt på betplantorna på de 14 pargårdarna. Medelgårdarnas högre herbicidindex på 5,8 var signifikant skilt från plusgårdarnas 4,4. Detta herbicidindex var positivt korrelerat med ogräs-antalet och negativt korrelerat med sockerhalten.

Daggmaskpopulationerna på pargårdarna (kapitel 3.4.9) uppskattades i sockerbetsgrödan i september-oktober genom att en formalinlösning hälldes i en stålcyllinder och trängde ner i jorden. Maskarna kröp då upp till ytan och samlades in för att senare räknas, vägas och artbestämmas. Undersökningarna visade att djurgårdarna hade fler daggmaskar än växtodlingsgårdarna. Den statistiska analysen visade att förekomsten av daggmaskarna framförallt bestämdes av mullhalten i matjorden. På vissa gårdar var mullhalten kritiskt låg med därav följande låga daggmaskpopulationer. Daggmaskarna ökade tillgängligheten av kalium i matjorden, samt ökade den vertikala infiltrationen och porositeten. Resultaten visar att daggmaskarnas aktiviteter höjer jordens bördighet, men också gynnar övrig markfauna inkluderande skadedjuren. Trots det senare visar analysen i kapitlet att antalet daggmaskgångar från profilundersökningarna var positivt korrelerade med betskörd, sockerskörd och renhet.

Vid betupptagningen 1999 och 2000 undersöktes på de enskilda pargårdarna skördespillet i fält samt skador på betorna i stukan (kapitel 3.4.10). Plus- och medelgårdar anlitate maskinstation i lika stor utsträckning de båda åren. Resultaten tydde på att upptagningen var skon-sammare och spillet lägre – ca 1 ton betor per hektar – på plusgårdarna.

Sommaren 1999 genomfördes en intervjuundersökning med brukarna på pargårdarna (kapitel 3.4.11). Dessa intervjuer var grunden i ett examensarbete som syftade till att få en bild av hur

besluten fattades, hur de påverkade skörderesultaten och om det fanns några systematiska skillnader mellan grupperna av gårdar som kunde förklara skillnader i skörd. Resultaten visade att lantbrukarna hade lärt sig sockerbetsodlandet främst genom att praktiskt arbeta med odlingen. Intresse och engagemang för odlingen var viktiga drivkrafter för lärandet. Kunskapen manifesterades i handlingar. Denna typ av kunskap benämns förtrogenhetskunskap eller tyst kunskap. I medeltal hade odlarna på plusgårdarna brukat sina gårdar något längre, vilket kan tyda på en större erfarenhet av gårdarnas förutsättningar.

Sammanfattningsvis visade parstudiens undersökningar att en plusgård karaktäriserades jämfört med en medelgård av:

- tidigare sådd
- fröplacering närmare bearbetningsbotten
- snabbare uppkomst
- högre marktäckning i mitten av juni
- lägre skrymdensitet i matjord, plogsula och alv
- högre vertikal infiltrationsförmåga i markprofilen
- högre luftfylld porvolym i markprofilen
- högre andel friska plantor
- lägre riskindex och potentiell smitta för svampangrepp
- lägre andel svampangripna plantor vid tidiga avläsningar
- lägre rotbransangrepp vid sena avläsningar
- lägre ogräsförekomst
- lägre herbicidindex (skattad påverkan på sockerbetorna)
- lägre ytskador och spill vid upptagningen
- fler erfarenhetsår i sockerbetsodlingen

Om man i stället bortser från gruppstillhörigheten i medel- och plusgårdar, kan datamaterialet användas för att söka generella samband mellan sockerskörd och alla undersökta variabler. En modell för detta (kapitel 3.6) visar att sockerskörden inom intervallet 8-11 ton per hektar, kunde förklaras till 85 procent genom kombinationen av fyra variabler. Dessa var (giltighetsområdet inom parentes):

1. vertikal infiltration (0,1-0,9 cm/h)
2. pH i matjorden (6,4-7,6)
3. sådatum (april)
4. medelsvamp (0,1-3,5 %)

Enligt modellen ökar sockerskörden med 150 kg per hektar för varje 0,1 cm som den vertikala infiltrationsförmågan i jordprofilen ökar. Denna var i sin tur starkt kopplad till dagmaskantalet. Med en enhets höjning av pH-värdet i matjorden ökar enligt modellen sockerskörden med ca 1 100 kg per hektar. Detta bekräftar känd kunskap att sockerbetorna trivs med neutral eller svagt basisk markreaktion. Sådatum påverkar också skörden enligt modellen genom att varje dags försenad sådd i april medför en sänkning av sockerskörden med 70 kg per hektar och dag. Emellertid är det lika väsentligt att trycka på vikten av tidig sådd som "rätt" sådd, i betydelsen att välja lämplig väderlek under sådagen och de efterföljande dagarna. Slutligen visar modellens sista variabel, medelsvamp, att varje procents angrepp av svamp patogener minskar sockerskörden med 400 kg per hektar. I variabeln medelsvamp samlas dock mer än

angreppen av svampar, eftersom också bakomliggande skadedjursförekomster tydligt speglas i variabeln.

Fältförsöken

Fältförsöken inom projekt 4T redovisas i kapitel 4.2.1-4.2.5.

I serien Strukturkalkning till sockerbetor (kapitel 4.2.1) undersöktes effekten på sockerskörd och markstruktur av olika kalkningsmedel på jordar med höga pH-värden. I medeltal var pH-värdet i matjorden 7,7 i de tolv försöken. Trots höga pH-värden ökade sockerskörden med samtliga kalkningsmedel, men bara med släckt kalk ökade sockerskörden signifikant. De markfysikaliska mätningarna av aggregatens strukturstabilitet visade att en låg strukturstabilitet, mätt som andel dispergerbart ler, var starkt kopplad till en lägre sockerskörd.

I serien Halmhantering och tillväxt (kapitel 4.2.2) undersöktes hur höstvetehalmens mängd, stubbhöjd och finfördelning i kombination med och utan stubbearbetning påverkade sockerskörden. Resultaten visade att halmstrategin hög stubb, knycklad halm och ingen stubbearbetning ökade sockerskörden signifikant jämfört med halmstrategin låg stubb, hackad halm och stubbearbetning. Stubbearbetningen var generellt negativ för sockerskörden förutom vid dubbel mängd halm. Dessutom kunde en ökning av både vikt och antal av daggmaskar mätas när stubbearbetningen utelämnades. På stubbearbetningens pluskonto stod emellertid en ökning av renheten som i försöken var speciellt tydlig vid dubbel mängd halm.

I serien Förfrukter till sockerbetor (kapitel 4.2.3) undersöktes värdet av tio olika förfrukter till sockerbetor. Sockerskörden ökade efter samtliga förfrukter förutom efter åkerböna jämfört med efter höstvete. Efter både vårkorn med rödklöver som mellangröda och efter en grönträda med rödklöver och gräs ökade sockerskörden signifikant. Den positiva förfruktseffekten var med all sannolikhet inte en kväveeffekt. I stället verkar sockerbetorna klara av växtföljdssjukdomar bättre om klöver finns med i växtföljden. Efter grönträdan var skördeökningen stabilt högre varje år. Förutom den positiva effekten på sockerskörden ökade bördigheten efter den ettåriga trädan. Antalet daggmaskar dubbletades och vikten ökade med 50 procent efter grönträda jämfört med efter höstvete. Också markens genomsläpplighet för vatten ökade markant efter grönträda jämfört med höstvete – i matjorden dubbletades infiltrationen och i alven ökade den 20-30 procent.

I kapitel 4.2.4 redovisas resultat med olika mellangrödor före sockerbetor från två olika försöksserier och en demonstration. Av undersökta baljväxter verkar rödklöver vara bäst lämpad som mellangröda före sockerbetor. Ökningen av sockerskörd var 2-6 procent efter rödklöver som mellangröda i olika försöksserier. Med italienskt rajgräs som mellangröda minskade å andra sidan sockerskörden med fyra procent. Med mellangrödorna ökade andelen friska plantor beroende på mindre antal skadedjur kring sockerbetorna. Både rödklöver och rajgräs som mellangrödor ökade antalet och vikten av daggmaskar, men speciellt tydlig var effekten av rödklöver.

I kapitel 4.2.5 redovisas effekten av djuprotade grödor före sockerbetor med resultat från en försöksserie och en demonstration. I demonstrationen jämfördes höstvete som förfrukt till sockerbetor med rödklöver/ängssvingel respektive lusern/ängssvingel. De båda senare leden uppvisade markant ökade daggmaskpopulationer och förbättrad infiltrationskapacitet i både matjord och alv. Försöksvärdarnas kommentarer om skillnader i plöjningsmotstånd vittnade

också om att markstrukturen hade tagit ett kliv framåt med de ettåriga grönträderna med baljväxter. Serien som undersökte flerårseffekten av djuprotade grödor före sockerbeter bekräftade den positiva daggmaseffekten av en flerårig vall. Efter det andra vallåret ökade daggmaskpopulationerna explosionsartat genom att jorden fick vila och organiskt material tillfördes. Under treårsperioden ökade sockerskördarna successivt med i medeltal 10 procent per år.

Biotronundersökningarna

Resultaten från de växtfysiologiska undersökningarna i Biotronen redovisas i kapitel 5. För att kunna maximera sockerbetsplantans initiala tillväxt måste dess upptagning av näringsämnen optimeras. Detta betyder att alla näringsämnen som växten behöver för sin tillväxt måste kontinuerligt vara i optimerade mängder. Dessa mängders inbördes relationer kan beskrivas som näringsproportioner. Olika arter (kanske sorter) har olika krav på näringsproportioner även om både ämnen och mängder i grunden är lika för alla växter. Dock kan skillnaderna, även om de är små, vara avgörande för växtens möjlighet att utnyttja sin förmåga till tillväxt. I laboratorieexperiment fastställdes optimala näringsproportioner för sockerbeter. För att växten ska kunna tillgodogöra sig tillförda ämnen i optimala proportioner måste dessa vara tillgängliga för upptagning. Flera faktorer kan hindra växtens möjligheter att ta upp ämnen i omgivningen. En faktor är pH. Sockerbetsplantans krav på pH visade sig i experimenten vara så speciella att fortsatta undersökningar är att rekommendera. Det man redan vet är att sockerbetsplantans tillväxt begränsas av låga pH i jorden. Det man inte vet är den dynamik som sockerbetsplantan kräver mellan rotyta och omgivande jord för att bästa näringsupptagning ska uppnås.

I klimatkammare genomfördes dels experiment med fasta temperaturer, dels med varierande. I fasta temperaturer registrerades en optimumtemperatur vid 24°C och en minimitemperatur kring 10°C. I varierande temperaturer visade sig sockerbetsplantan ha en stor förmåga att snabbt aklimatisera sig till nya temperaturförhållanden. Detta indikerar en förmåga hos plantan att kunna utnyttja perioder av tillväxtbefrämjande temperaturer under i övrigt för låga. Denna förmåga behöver bättre kartläggas för att kunna både förädla temperaturtoleranta sorter och för att kunna beräkna tillväxt under den tidiga våren då låga temperaturer förmodligen är det som mest begränsar sockerbetsplantans initiala tillväxt. Kunskapen är viktig för att kunna bedöma tidig sådd och dess konsekvenser för groningen, uppkomst och tillväxt.

I ett antal försök i klimatkammare, med odling i jord från pargårdarna i 4T-projektet, kunde inga systematiska skillnader mellan hög- och medelproducerande gårdar registreras. Snarare tydde resultaten på att jordarna inte skilde sig åt i producerande förmåga, utan att skillnaderna skulle kunna tänkas ligga i jordbearbetning och odlingsplanering, t ex såtidpunkt.

Allmän diskussion och slutsatser

I kapitel 6 diskuteras den modell med fyra för sockerskördens begränsande variabler som tidigare presenterats. Historiska tillbakablickar på var och en av de fyra variablerna indikerar att de var för sig inte representerar någon revolutionärt ny kunskap, men att samspelet mellan dem och kvantifieringen i modellen utgör det unika med 4T-projektets parstudie, genom att hela 85 procent av skördevariationen kan förklaras. I kapitlet vävs också den kunskap samman som 4T-projektets övriga delar har gett i en metafor kallad "den höga sockerskördens goda cirkel". I denna utgör ett gott kalktillstånd och god dränering grundbultar som tillåter tidig sådd vilket i sin tur leder till friska plantor, djupt rotsystem och hög sockerskörd.

Beslutsunderlag

I kapitel 7 finns avslutningsvis reflexioner och beräkningar som kretsar kring frågorna vad 4T-resultaten betyder för sockerbetsodlaren, hur 4T-resultaten kan genomföras på gårdsnivå och vad 4T-resultaten kostar att genomföra. I kapitlet fastslås att resultaten av projekt 4T ger anvisningar om direkt resultathöjande åtgärder i betodlingen (såtid, kalkning, stubbearbetning, växtföljd och förfrukt) men också pekar på mer komplicerade orsakssamband (tillväxt, friska plantor, infiltrationskapacitet, porositet, svampangrepp). Här poängteras också vikten av intresse och engagemang på odlarnivå, för att en förändring ska komma till stånd i betodlingen om resultaten av 4T ska omsättas i praktiken. Som en tydlig och lönsam åtgärd lyfts grönträdan i växtföljden fram. Använd på uttagen areal visar beräkningarna i kapitel 7 på ett netto på ca 1 000 kronor per hektar vid jämförelse med etanolvete.