

7. Præcisionslandbrug

Simon Blackmore, Hans-Werner Griepentrog og Lene Krøl Christensen

Nuværende tendenser viser fremtidens retning

Forudsigelser af, hvad der vil ske i fremtiden, er notorisk svære at foretage; man vil uvægerligt komme til at begå fejl. Selv en visionær skikkelse som Bill Gates har gjort det – han er citeret for at have sagt: “Hvem behøver mere end 640 kilobyte hukommelse?” Dagens pc’ere har som bekendt mere en 100 megabyte hukommelse!

Men en velprøvet metode, hvis man

alligevel skal prøve at lave forudsigelser, er at se på, hvad der er sket førhen, overveje nutidens drivkræfter, og så projicere de større trends ud i fremtiden, så vi kan overveje deres konsekvenser. Selvom denne metode ikke kan tage højde for pludselige teknologiske gennembrud eller politiske kovendinger, giver den os alligevel nogle rammer, hvori vi kan udforske en mulig udvikling.

Drivkræfterne

Hvad er det så for kræfter, som driver forandring i landbruget i dag? Bortset fra politiske initiativer og teknologiske nyskabelser ser det ud til, at der er to stærke kræfter: økonomi og miljø.

I takt med at verdensmarkedspriserne på fødevarer falder, og subsidierne gradvist er på vej ud, vil mange landmænd komme under øget økonomisk pres for at opretholde et levedygtigt erhverv. Landmændene forsøger på forskellige måder at reducere produktionsomkostningerne. Mange landmænd prøver at opnå en eller anden form for stordrifts-

fordel på deres bedrifter, fx større bedrift i det hele taget, større marker og større traktorer. Dette leder til et mere industrialiseret landbrug, som ofte strider med miljømæssige hensyn.

Intensivt landbrug har også benyttet agrokemikalier såsom kunstgødning og sprøjtemidler til at øge og beskytte produktionen. Nye “fødevareskandaler” (PCB i Belgien og kogalskab i mange lande) har forstærket befolkningens bekymring for fødevarerens sikkerhed. Supermarkeder er nu villige til at betale en merpris for fødevarerprodukter, der har



Figur 7-1. Økonomien er den primære drivkraft bag mange mindre brugs forsvinden. Foto E.S. Jensen.

dokumentation for, hvorledes de er produceret.

Befolkningens behov for fødevarer, der fremtræder rene og sunde, kommer også til udtryk i efterspørgslen efter økologiske fødevarer, der er steget så meget, at produktionen ikke længere kan følge med. På samme måde er offentlighedens mening om pesticider så kritisk, at lovgivningen i Danmark har været nødsaget til at be-

grænse og beskatte brugen af agrokemikalier for at minimere forbruget.

Både de økonomiske og de miljømæssige kræfter driver landbruget i retning af at være såvel effektivt som bæredygtigt på kort og langt sigt. Produktionen skal være økonomisk levedygtig såvel som miljømæssig sund. Man vil kunne opfylde begge kravene igennem præcisionslandbrug.

Præcisionslandbrug

Præcisionslandbrug (PL) er et system af metoder, der gør det muligt at håndtere eller behandle afgrøderne og arealerne selektivt. PL defineres her som "behandlingen af rumlig og tidsmæssig variation med henblik på at opnå større økonomisk gevinst og mindske miljøpåvirkningen". Denne behandlingsform udnyt-

ter mange typer informationsteknologi for at få data om den rumlige og tidsmæssige variation, som eksisterer på alle bedrifter. PL udnytter også ledelse systematisk.

Ledelse er en essentiel faktor, når man vil opnå et bestemt givet resultat på en bedrift. Der er blevet udviklet et antal

driftledelsesstrategier, der kan forbedre den overordnede effektivitet, hvor specifikke afgrøder, jord, økonomiske og miljømæssige risikofaktorer er inddraget. Det er nødvendigt, at driftlederne finder deres egne strategier og metoder, så de effektivt kan arbejde med variationen på deres egen bedrift ud fra egne forudsætninger.

Man kan tale om tre forskellige typer variation. Den første type er *rumlig variation*, som kan ses i form af fysiske forandringer i marken. Et eksempel kunne være situationen, hvor ét område af marken giver et højere udbytte end et andet område. Den anden type er *tidsmæssig variation*, hvor faktorer forandrer sig over tid. Den ses, når en afgrøde til at begynde med vokser godt, men ender med at give et ringe udbytte. Den tredje type er *forudsigelighedsvariationen*. Det drejer sig ikke om et fysisk fænomen

som de andre to, men forskellen mellem det, driftlederen forudsiger, og det, der rent faktisk sker. Det klassiske eksempel på forudsigelighedsvariation er det, hvor driftlederen forventer et vist udbytte såfremt en vis mængde gødning bliver tildelt, men afgrøden opnår ikke udbyttet fordi vejret driller. Hver type variation skal måles og vurderes, og om muligt skal der foretages indgreb i den, hvis den er særlig afgørende.

Før dampmaskinen og dieselmotoren blev landbrug drevet i små enheder. I takt med mekaniseringen blev bedrifterne større, og i dag har vi økonomiske kræfter, der presser bedriftsstørrelserne endnu højere samtidig med at antallet af beskæftigede falder. Det betyder at fra at skulle drive nogle få tønder land (det areal, en hest kan pløje på en enkelt dag) skal driftlederen i dag klare tusinder af hektarer. Når landbrugsbedrifter når op



Figur 7-2. Selvom der umiddelbart ser meget ensartet ud, kan der sagtens være store forskelle i tekstur, næringsindhold, fugtighed og meget andet på en mark som denne. Foto E.S. Jensen.

på dette niveau, er det svært at have en indgående viden om alle jordtyper og andre markforhold.

Men netop præcisionslandbrugs-teknologien gør det muligt for driftslederen at have både en stor bedrift og detaljeret viden om markforholdene. Eftersom store bedrifter i forvejen er højt mekaniseret, er det relativt simpelt at tilføje ekstra instrumenter til måling af variation (f.eks. udbyttekortlægning) og kontrolapparater til styring af indsatsfaktorerne (fx gradueret gødsugning).

Variationsmåling

Det første stadium i PL-processen er at måle vigtige faktorer, som kan påvirke eller som påvirker afgrødens vækst. Der er to meget anvendte metoder. Den ene er at lave et udbyttekort som viser udbytets størrelse inden for få kvadratmeter på hele marken. Dette gøres ved, at der på mejetærskeren monteres et udstyr som løbende registrerer udbyttet, når mejetærskeren kører hen over marken samtidigt med, at mejetærskerens nøjagtige position registreres. Den anden metode er at udtage jordprøver og derved bestemme vigtige jordparametre.

De to metoder giver information om forskellige dele af dyrkningssystemet. Udbyttekortlægning registrerer historiske data og kan ikke benyttes, mens afgrøden endnu vokser. Jordprøveudtagning kan være dyr, men mange jordparametre såsom tekstur og horisontdybde forandrer sig ikke over tid, så det vil være en god investering at få dem registreret. Målinger af jordens næringsstofstatus skal behandles varsomt og gentages for at opnå et pålideligt resultat. Prøveudtagningsstrategier baseret på et simpelt net placeret over marken har tendens til at blive dyre, og bedre udtagningsmetoder er under udvikling.

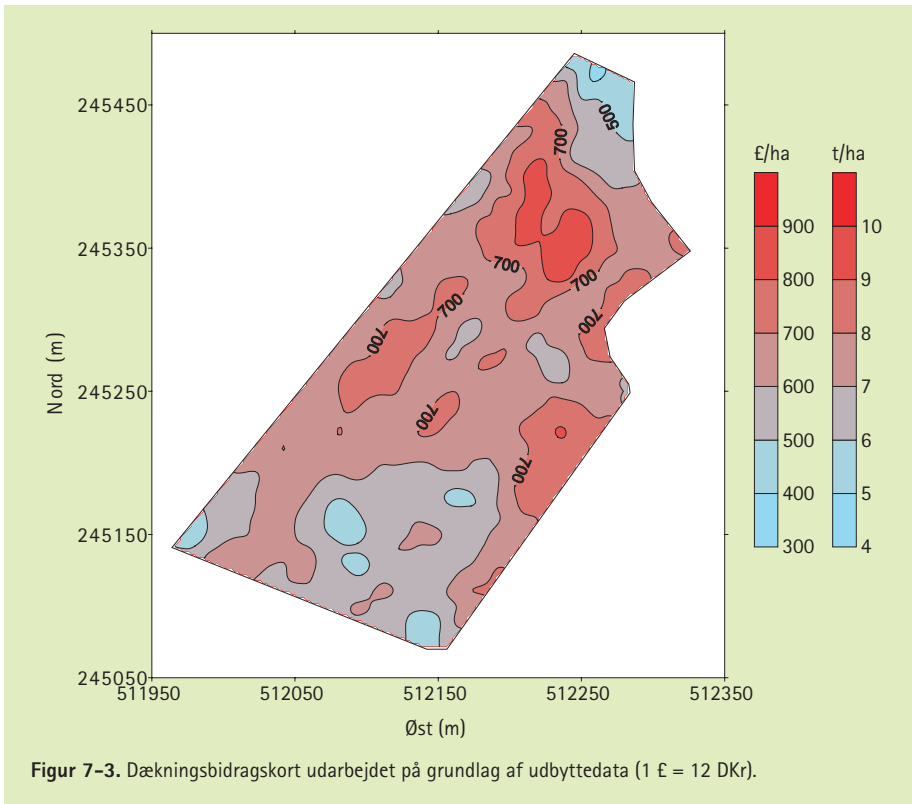
Måleteknikker, som kan registrere afgrødeegenskaber i vækstperioden, giver mulighed for, at driftslederen kan variere tildeling af gødning eller kemikalier. Afgrødebehandlingen kan derved reagere direkte på den specifikke situation afhængigt af fx vækststadiets følsomhed over for vejforhold.

Kortlægning af fysiske faktorer, såsom mark- og afgrødegrænser, høje skyggende træer, jordpakninger osv. kan også udføres. Andre højteknologiske teknikker vinder gradvist indpas, f.eks. *fjernregistrering* og digital luftfotografering eller ikke-destruktive målemetoder som elektromagnetisk induktion. Digitale luftfotos kan give en nu-og-her information om afgrøden og gør det muligt at ændre behandling, mens afgrøden stadig er i vækst.

Vurdering af variationens betydning

Når variationen en gang er målt, er det op til driftslederen at vurdere, hvor meget den betyder. Normalt gør man det ved at se på spredningen i datamaterialet, eller ved at undersøge, om de ekstreme værdier ligger uden for de acceptable grænser.

En metode går ud på at omsætte sine udbyttedata til dækningsbidragskort som vist i figur 7-3. Denne teknik udregner de variable omkostninger på baggrund af indkomsten, som varierer fra sted til sted på marken, og resulterer i et dækningsbidragskort, som viser de enkelte områders evne til at skabe indkomst. Nogle dækningsbidragskort har vist områder, hvor der faktisk tabes penge. Hvis der er nok detaljer, kan denne korttype også vise betydningen af miljøpåvirkninger, fx virkningen af kvælstofgødsugning i et nitratfølsomt område.



Figur 7-3. Dækningsbidragskort udarbejdet på grundlag af udbyttedata (1 € = 12 DKR).

Styring af indsatsfaktorer

De fleste traditionelle systemer overtildeler indsatsfaktorer, frø, sprøjtemidler og gødning for at reducere risikoen for afgrødefiasko. Med bedre bestemmelsesteknikker kan faktorerne blive reduceret og fordelingen kan optimeres. Herved bliver hele systemet mere effektivt.

Uanset nationalitet og afgrøde er effektiv behandling af et landbrug en kompleks sag. Derfor skal de computerbaserede ledelsesredskaber (MIS: Management Information Systems) være sofistikerede nok til at kunne tage højde for driftslederens strategier og arbejdsmetoder. Styringsinputtene og computerhjælpen er ens i alle lande og for alle af-

grøder. For nogle afgrøders vedkommende er der dog særlige forhold at tage i betragtning under konstruktion af MIS-systemerne; fx planlægning af høstlogistikken ved levering af den høstede vare til aftageren.

Nuværende positionssystemer (normalt baseret på Global Position System, GPS) kan angive en position med en nøjagtighed på mindre end 1 meter. Selvom man kan måle markvariationen med denne præcision, er det stadig ikke praktisk muligt at behandle med samme præcision. Behandlingsenhedernes størrelse afhænger af evnen til at måle, forstå og håndtere. Det mindste behandlingsareal kan fx være begrænset af maskinens bredde.

Nuværende mekaniseringstendenser

I takt med at landmændene øger driftstørrelsen for at sænke omkostningerne, bliver også traktorer og mejetærskere større og større. De store traktorfabrikker forudser, at denne tendens vil fortsætte længe endnu. Det skyldes dels de stadig større opgaver, men mest traktorførerens løn.

Med en stor moderne traktor, fx en larvefodstype (figur 7-4), bruger en enkelt traktorfører mindre end 0,8 timer per hektar vinterhvede gennem en hel vækstsæson. Dette er en meget høj arbejds effektivitet, som vil være svær at opnå med mindre maskiner. Disse store traktorer giver imidlertid store ulemper i form af strukturskader på jorden, som kan hæmme rodvæksten. Sådanne strukturskader vil variere alt efter jord-

bundsforholdene (jordtekstur og vandindhold) og køretøjets vægt (hjul og spor). På langt sigt kan dybe jordpakkninger blive et alvorligt problem, fordi det er svært at løsne jorden i dybden.

Man kan spare helt op til 70 % af brændstoffet ved at gå fra almindelige maskiner, der kører hen over jorden, til maskiner, der kører på en form for skinner. Denne besparelse er opnået ved overfladisk pløjning uden dybdeløsninger. På denne baggrund kan man konkludere, at 80-90% af den energi, der bruges med traditionelle maskiner, går til at genoprette skader forårsaget af maskinerne selv. Hvis vi kan finde metoder til at ned sætte strukturskaderne på jorden, vil en betragtelig del af energiforbruget falde væk.



Figur 7-4. Larvefodstraktor, her Claas Challenger, der vejer 15 tons.

Fremtidens informationsteknologi

Enhver forudsigelse af landbrugets fremtid rummer informationsteknologi i store mængder. Moore's lov siger, at proceskraften fordobles hver 18. måned, så inden vi når 2025, har computerne for-

modentlig nået en uanet kapacitet.

Hvad gør vi med den computerkraft, vi har i dag? I praksis er det sådan, at jo mere computerkraft vi har, desto mere komplekse problemer kan vi løse. Pro-

cessorhastigheden har lige passeret 1 GHz-grænsen (i 2001), så hvilken kompleksitet kan vi ikke behandle, når vi har 65 terraHz (65 terrahertz = 65000 gigahertz) til rådighed?

Formodentlig vil vi også have både hukommelse, display og lagringsfaciliteter, der matcher denne enorme processorkapacitet. Vi vil måske til den tid have udviklet programmer, som kan efterligne den virkelige verden langt bedre, end vi kan i dag. De fleste computerprogrammer er stadig deterministiske i overensstemmelse med programmørernes tankebaner, men med den ekstra kraft burde vi få mere sofistikerede og selv-lærende software, som både kan tilpasse sig den individuelle brugers behov og eftergøre den virkelige verden mere præcist.

De rudimentære ledelsessystemer, vi har i dag, er ikke stort andet end databa-

ser. Når vi virkelig får fjernet nutidens processorbegrænsninger, lagt internettets enorme datamængder ind og integreret detaljerede målinger af markforholdene, har vi mulighed for at udvikle et ideelt informationssystem, som kan give os et helt personligt styringsværktøj.

Vi vil kunne besvare spørgsmål som: Hvad er den optimale gødningstildeling for denne mark afhængig af de aktuelle vejrforhold, nuværende afgrødepriser, den aktuelle nærringstofstatus i jorden, skadedyrsangreb osv.?

Selvom computerne ikke kan, og heller ikke vil kunne fremover, forudsige fremtiden uden en vis usikkerhed, kan de alligevel hjælpe os med at håndtere disse komplekse problemer. Ved siden af hardwareudviklingen bliver vi nødt til at udvikle evne til at håndtere kompleksitet uden at lade os overvælde af den.

Fremtidens maskinsystemer

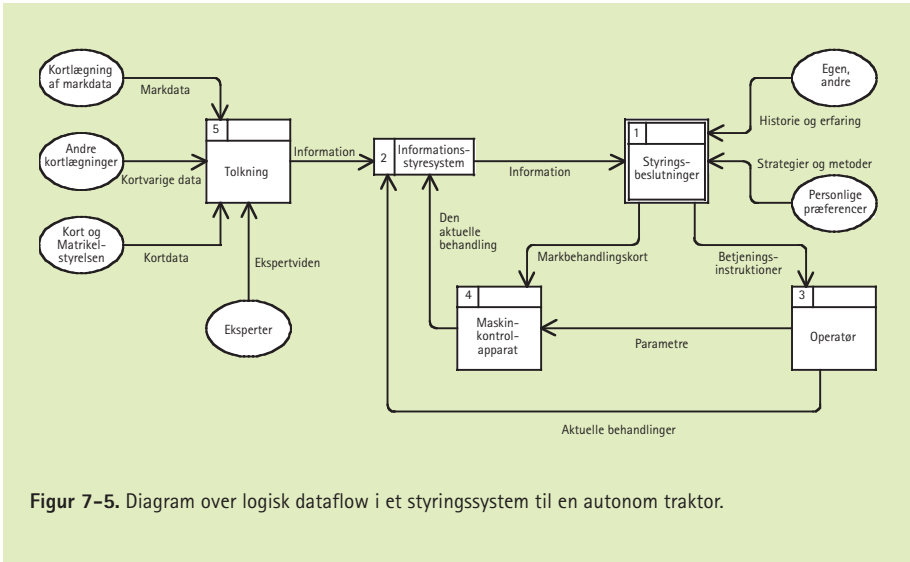
For fortsat at forbedre effektiviteten inden for land-, have- og skovbrug er man ved at udvikle et nyt maskinkoncept, som består af flere små, autonome maskiner i stedet for den store, traditionelle traktor. Disse køretøjer kræver intelligent styring og vil være i stand til at arbejde i flere timer ved en lavere hastighed end de konventionelle maskiner, men alligevel opnå det samme eller måske endda et bedre resultat.

Køretøjet vil være i stand til at arbejde 24 timer i døgnet hele året rundt, under de fleste vejrforhold. Der er en computer ombord, som sætter maskinen i stand til at "opføre sig fornuftigt" i havebrug, landbrug, parker og skovbrug, samtidig med at den udfører et godt stykke arbejde. Endvidere vil det gennem præcis do-

sering af kemikalier og gennem reduceret brændstofforbrug minimere miljøbelastningen. Desuden vil det kræve færre investeringer og mindre arbejdskraft. Sidst men ikke mindst vil det give mindre jordkomprimering.

Kravet om en mere integreret tilgang til de forskellige landbrugsopgaver, lige fra såning til høst, kan illustreres med en analyse af de processer, der indgår i behandlingen af rumlig variation (figur 7-5). Beslutningsprocessen er kompleks, men resulterer i markkort, som indeholder de informationer, der kræves for at kunne udføre en specifik behandling. Et antal specifikke processer er inkluderet.

Driftledere bruger deres personlige præferencer og tidligere erfaringer (1 i figuren), såvel som landbrugsmæssigt



Figur 7-5. Diagram over logisk dataflow i et styringssystem til en autonom traktor.

sunde tolkninger (5) af data fra gårdens informationssystem (FIS: Farm Information System). I marken skal traktorføreren (3) justere på forskellige parametre på hhv. maskinen og kontrolapparatet (4). Disse parametre bør registreres ligesom andre relevante faktorer vedrørende den aktuelle brug af maskinen, såsom uoverensstemmelser, fejl og blokader. Kontrolapparatet burde også registrere den aktuelle behandling, som evt. vil afvige fra den ønskede behandling, da dette måske kunne forekomme som værdifuld information ved næste markbehandling eller i forsøget på at forstå årsagen til evt. senere variation.

Hvis et passende intelligent styringssystem til langvarig og førerløs aktivitet i et semi-naturligt miljø kan udvikles, vil et helt nyt maskinkoncept ligge for vore fødder.

De vigtigste designparametre for sådan et køretøj er følgende (de med * markerede parametre vil ikke blive omtalt nærmere):

- Lille størrelse (og derfor ubemandet)
- Lille vægt
- Udvide langvarig, "fornuftig" opførsel
- I stand til at modtage instruktioner og give tilbagemeldinger
- I stand til at kunne blive koordineret fra andre maskiner*
- I stand til at kunne samspille med andre maskiner*
- Sikker drift, også selvom fejl på dele af systemet kunne forekomme*
- Udføre en række brugbare opgaver*

Størrelse

Køretøjets ringe størrelse er en meget vigtig faktor, idet den sikrer højere behandlingspræcision, giver mindre investeringer, opnår større offentlig accept og er relativt sikker ved systemfejl.

Det mest almindelige køretøj vil sandsynligvis være 1-2 meter langt og have i størrelsesorden 10-20 hestekræfter, men selv denne ringe størrelse kan være for stor og forårsage jordpakning. Det skal forsynes med en forbrændingsmotor,

med mindre brændselceller eller lignede teknologi er blevet udviklet til den tid (den nuværende batteriteknologi er ikke god nok).

Køretøjer på mindre end en meter, der besidder omkring 5-10 hestekræfter, kan udvikles til specialiserede, "ikke-destruktive" registreringer. Meget mindre systemer kan udvikles, når højdensitetsenergikilder bliver tilgængelige.

Investeringen ved førstegangsanskaffelsen og prisen for en erstatningsmaskine samt høj produktivitet kan opnås ved at anvende standard bilkomponenter. De små maskiner må nødvendigvis have en mindre arbejdsrate, men da de er ubemandede og kan arbejde i flere timer vil der blive kompenseret rigeligt herfor. Ved at gøre stedsbestemt gødskning og sprøjtning mulig, kan man desuden reducere indsatsfaktorerne, hvis der kombineres med passende sensorer.

Disse små maskiner vil være i stand til at udføre selektive og mere præcise behandlinger og kan potentielt blive udviklet, så de kan registrere forholdene ved den enkelte plante – og derefter foretage den nødvendige behandling ved planten, fx udtynding, beskæring, høst osv.

Lille vægt

Den lille vægt er en vigtig egenskab, fordi den giver mindre jordpakning og mindre brændstofforbrug. Som tidligere nævnt kan hele 80-90% af den energi, som forbruges ved traditionel jordbehandling, i virkeligheden tilskrives genopretning af de skader, de tunge maskiner forårsager.

Hvis vi kan acceptere et let, intelligent køretøj i stedet for store traktorer, er der mulighed for at udvikle et fuldstændig nyt landbrugsmaskine-system. Vi vil dermed have muligheden for meget beskedne jordpakning og mekanisk

ukrudtslugning; vi kan undgå pløjning og i stedet anvende mikrobehandling – noget som ville være af afgørende betydning for landbrugserhvervets bevarelse.

Da det naturlige, levende jordsystem selv gør jordstrukturen noget nær ideel for planternes rodudvikling, kunne det ikke-jordpakkende landbrug se dagens lys vha. de små maskiner.

Selvkørende adfærd

Det største adfærdskrav til dette køretøj er, at det kan manøvrere rundt i et seminaturligt miljø som fx havebrug, landbrug, parker og skovbrug uden fører. Det skal også være i stand til – stadig uden fører – at udføre længerevarende opgaver. Når der er behov for optankning af brændstof eller supplering af forbrugsvarer (fx gødning), skal det være i stand til at returnere til basen og foretage påfyldningen. For det tredje er sikkerhedsforanstaltningerne vigtige. Maskinens operativsystem skal være sikkert for maskinen selv og over for andre, og det skal være i stand til at stoppe maskinen, hvis dele af systemet er ude af drift eller fejler. Katastrofale fejl skal undgås, og der skal indbygges betydelig systemredundance i køretøjet. For det fjerde skal køretøjet under sit samspil med det komplekse, seminaturlige miljø benytte sofistikerede registrerings- og kontrolsystemer for at kunne reagere rigtigt i komplekse situationer.

Kort fortalt er adfærd et sæt reaktioner på nogle givne påvirkninger. Adfærdsbaserede styresystemer giver køretøjet de nødvendige redskaber til at reagere fornuftigt på en række enkelt-situationer – og til at koordinere disse enkeltreaktioner. Man opererer med fire store adfærdsmønstre: navigation, eksploration, selv-overvågning og styring af arbejdsredskab.



Figur 7-6. Den japanske rismarkstraktor.

- 1) Køretøjet skal være i stand til at navigere sikkert til en ønsket position. Vi forventer, at køretøjet vil bruge ca. 80-90 % af tiden med at navigere, eftersom det at anbringe sig selv og arbejdsredskaberne korrekt er køretøjets vigtigste opgave. Køretøjet skal kunne lægge en effektiv rute til målet, mens det undervejs registrerer kendte objekter som spor, stier, veje osv. Det skal også være i stand til at reagere på ukendte objekter eller situationer. Denne overordnede adfærdsmåde rummer flere underordnede adfærdsmåder som fx ruteplanlægning og undgåelse af genstande.
- 2) Køretøjet vil blive udstyret med sensorer, som kan kontrollere alle væsentlige parametre i det omgivende miljø. Hvis køretøjet befinder sig i et ukendt område uden informationer i sit GIS, skal det begynde med at udfylde et GIS med data, det indsamler i området. I ensartede områder behøves færre data end i mere uensartede områder.
- 3) Køretøjet skulle også udstyres med et system til selvkontrol, så det kan holde styr på alle væsentlige parametre. Det kunne være brændstofniveauet, motortemperaturen, hældningsvinklen og udendørstemperaturen. Det ville være nyttigt at have en lille vejrstation, som så kunne give besked, hvis en igangværende opgave skulle afsluttes på grund af dårligt vejr. Denne funktion udelukker ikke de andre funktioner, så den kan udføres adskilt fra dem.
- 4) Hver opgave vil stille sine helt specielle krav til kalibrering og fejlcheck. Det forventes, at en given arbejdsopgave vil bestå af flere underfunktioner, som skal koordineres – herunder et periodisk koordineringstjek. Hvis det ved en sådant tjek konstateres, at fx en lugetand er ødelagt eller en kameralinse er utydelig, skal systemet enten kunne foretage reparationer på stedet eller vende tilbage til basen.

Autonome traktorer

En autonom traktor kan antage forskellige former varierende fra de små traktorer, vi kender i dag, til højt specialiserede køretøjer, som kun er tilpasset til et bestemt formål. Man kan skelne imellem fire forskellige udformninger:

- 1) En konventionel lille traktor er et multi-formåls køretøj, der drives med elektrisk kraft og er udstyret med kommunikationskontaktflader, så en række redskaber kan påsættes til varetagelse af specifikke opgaver som fx mekanisk ukrudtslugning og afgrøde-registrering.
- 2) En lille, højbenet traktor har stor fri-gang over jorden og kan derfor bevæge sig hen over forskellige afgrøderækker. Det vil være et enkelt-formåls køretøj med fastmonteret redskab.
- 3) En højbenet traktor af mellemhøjde, ligner meget ovenstående, men er større. Den kan have et standard forbindelsessystem, der meget ligner den japanske rismarkstraktors (figur 7-6).
- 4) Et eksempel på et højt specialiseret meget lille køretøj er en autonom græsslåmaskine

Autonom dyrkning og såning

Pløjning er den klassiske måde at vende jorden på og har været praktiseret siden mekaniseringen startede i landbruget. Formålet med pløjning er at løsne jordens struktur, så afgrøden kan få mekanisk støtte samt adgang til jordens fugtighed og næring. Samtidig dækkes overfladens ukrudtsplanter, således at deres konkurrenceevne reduceres.

Hvis jorden ligger urørt hen med en sund bestand af flora og fauna, behøver strukturen kun den påvirkning, de levende organismer forsyner den med. Det betyder, at den bedste måde at behandle

jorden på er at lade den være i fred. Når vi kører med vores store maskiner, forårsager vi strukturskader i jorden, og derfor bliver vi nødt til at behandle den for at oprette disse skader.

Hvis vi i år 2025 benytter små, lette maskiner med intelligente styringssystemer, vil pløjning kunne erstattes af mikrobearbejdning (få kubikcentimeter) på lige netop det sted, hvor frøet skal placeres. Samtidig kunne man registrere det enkelte frøes position, således at væksten kunne følges og evt. lugeaktivitet iværksættes.

Autonom lugemaskine

Kemisk ukrudtsbekæmpelse vil med tiden blive erstattet af en mere intelligent mekanisk ukrudtslugning. Dette er et godt eksempel på, hvordan herbicider kan erstattes med en mere intelligent proces (figur 7-7).

Der er mange mekaniske lugeværktøjer på markedet, men alle har de en begrænset evne til at skelne mellem afgrøde- og ukrudtsplanter. Artsgenkendelse vha. multi-spektrale "maskinøjne" kunne være en løsning, hvor hvert enkelt frøes position blev registreret ved udsåningen. Hvis en ukrudtsplante så blev registreret, kunne en passende lugningsmekanisme sættes ind for at fjerne ukrudtet, selvom det stod tæt op ad afgrøden. Fx kunne man bruge en kraftig laserstråle til at udrydde eller beskadige den enkelte ukrudtsplante.

Autonom inspektionsplatform

Jord- og afgrødeinspektion kunne foretages med et meget let og højt køretøj udstyret med mange sensorer til kontinuerlig registrering af jord- og afgrødeforhold forskellige steder i marken. Disse data kunne derefter indgå i et GIS og være et af de grundlæggende MIS-input.



Figur 7-7. Prototype af en autonom lugemaskine.

Oplysninger om ukrudtets vækst – eller et skadedyrs udvikling – kunne opsamles, således at MIS-systemet kunne udsende en advarsel, når en skadetærskel evt. blev overskredet. Et sådan projekt er allerede under udvikling i Danmark.

Autonom tildelingsplatform

Når det er nødvendigt at tilføre en eller anden form for indsatsfaktor, fx gødning eller pesticid, vil det sandsynligvis kunne gøres meget målrettet. Information om det potentielle mål kunne registreres fra inspektionsplatformen og sammen med anden information, fx om korrekt dosis, styre tildelingen meget præcist. Dette køretøj kunne have en mobil vejrstation påmonteret, så det kun udførte en given opgave under passende vejrforhold.

Autonom vandingsrobot

Et autonomt vandingsssystem vil være udstyret med en præcisionstildeler (figur 7-8) kombineret med en vanddeficitmo-



Figur 7-8. Prototype af en autonom vandingsrobot.

del og en række sensorer. Vandingsmaskinen har påmonteret målere af vindretning og -hastighed, så tildelerhovedets retning kan indstilles under hensyntagen hertil. Dette giver vandtildelingen maksimal præcision under alle forhold. Hvis vindhastigheden bliver for høj, vil vandingsystemet stoppe.

Robotten kan rumme et vandingskort og dermed variere tildelingen alt efter jordtype. Eftersom der er komplet kontrol over tildelingshovedet, kan det justeres til uregelmæssige grænser som fx. markhjørner og hegn.

Robotten kan også lede kemikalier til vandingsvandet i varierende mængde efter behovet forskellige steder i marken. Dette kunne fx sikres vha. et ekstra kort i robotten, som indeholdt information om markens behov for det aktuelle kemikalie.

Autonom selektiv høst

Nuværende mejetærskere er store, meget dyre maskiner. De har en høj arbejdska-

pacitet og sorterer kerner og halm under høsten. Derfor skal de "bære rundt på" store tærskværksmekanismer.

Et alternativt system ville i år 2025 være en lille maskine udstyret med fx et 1 meter bredt skærebord. Maskinen ville klippe aksene af strået, hvorefter de kunne blive transporteret tilbage til gården for at blive tærsket på en stationær tærskmaskine – noget lignende gamle dag-systemer. Store afstande mellem marken og gården vil dog gøre, at store køretøjer til transport, fx traktorer med trailere eller lastbiler, stadig ville være nødvendige.

Der skal måske tredive af disse små autonome mejetærskere til at erstatte én moderne mejetærsker, men så har man også mulighed for at udføre selektiv høst. Det kunne fx dreje sig om steder, hvor kun dele af marken er klar til høst. De har også de samme fordele som andre små autonome maskiner: lave investeringer, risikospredning ved nedbrud eller fejl og lav jordkomprimering.

Afslutning

Effektiv og billig produktion af afgrøder kombineret med minimal miljøpåvirkning er allerede i dag landmandens mål, men de muligheder, avancerede IT-systemer giver, vil fremover gøre det realistisk at overveje nye, alternative veje. I lyset af udsigten til bedre computerteknologi er vi desuden nødt til at designe nye systemer og kontrolarkitekturer, der kan drage bedre nytte af de mekaniske, hydrauliske og elektriske systemer, der er tilgængelige i dag.

Det er nu muligt at udtale sig mere præcist om disse nye maskinkoncepter. De største fordele vil ligge inden for ud-

viklingen af software og informationsarkitektur. De hermed forbundne omkostninger vil være relative lave, eftersom eksisterende hardware kan anvendes. Hvis dette er en gyldig antagelse, vil en ny generation af landbrugsudstyr blive designet med et integreret styringssystem, som vil give en større forståelse af den enkelte arbejdsopgaves økonomiske og miljømæssige indflydelse.

Små virksomheder vil få en enestående mulighed for at tilbyde disse maskinsystemer i direkte konkurrence med de eksisterende, store maskinforhandlere. De første systemer vil uden tvivl vise sig

inden for nicheområder med dyre produkter, og når de nye maskiner først har vist deres levedygtighed på disse områder, vil der opstå en masseproduktion af mange konkurrerende produkter. Det er uundgåeligt, at de første, succesrige produkter vil give deres firmaer et godt ry og mulighed for store markedsandele.

Selvom de nævnte koncepter er udviklet for landbrugssystemer, kan nogle af ideerne lige så godt tilpasses andre områder, som har arbejdskraftproblemer, fx højtærchiafgrøder eller områder, som vil reducere brugen af kemikalier. Hvis de kan blive tilstrækkelig pålidelige, vil de også kunne anvendes i mindre udviklede lande.

Hvis det lykkes at udstyre maskinerne med den ønskede adfærd og dermed gøre

det muligt at behandle på enkeltplante-niveau, vil produktionsomkostningerne falde dramatisk. Med tiden vil vi få mere detaljeret information om afgrøden, og vi vil derved være i stand til at justere behandlingen efter lige præcis de behov, som det enkelte område i marken har. Eftersom disse behandlinger vil blive automatiseret, vil de indhentede data kunne bruges til både styring og marketing. Dele af afgrøden vil kunne høstes på forskellige tidspunkter i stedet for at høste alt på én gang (som det bliver gjort nu). Viden om afgrødens kvantitet og kvalitet i marken før høst vil blive et gode for landmanden, idet han dermed bedre kan planlægge salget af afgrøden. Det er vigtigt at finde veje til at tillægge sine produkter værdier, mens de stadig er i hus.