

Copyright © 2019 by
Norges Tekniske Vitenskapsakademi
All Rights Reserved
John Grieg Forlag

1. utgave / 1. opplag 2019

ISBN: 978-82-533-0374-1

Grafisk produksjon: John Grieg, Bergen
Grafisk design: Fagbokforlaget
Omslagsdesign: Fagbokforlaget
Omslagsillustrasjon: ©Shutterstock/pzAxe
Skrift: Proxima nova / Garamond 3 LT Std
Papir: 100 gr. Arctic Silk+

Spørsmål om denne boken kan rettes til:
Norges Tekniske Vitenskapsakademi
Lerchendal Gård
Strindvegen 2
7034 Trondheim
e-post: post@ntva.no
www.ntva.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.
Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarframstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

FORORD

Norges Tekniske Vitenskapsakademi ser det som en av sine hovedoppgaver å belyse hvordan teknologisk utvikling påvirker samfunnet. Teknologi har i hele menneskehetens historie vært en viktig drivkraft for utvikling som har tjent menneskeheten, og den har vært grunnlaget for utvikling av vår velstand og velferd. Vi er i en tid der den teknologiske utviklingen går raskere enn noensinne. Utviklingstrendene griper inn i hverandre og skaper en kompleksitet som gjør det svært krevende å danne seg et bilde av helheten.

Teknologi skaper muligheter, men også potensielle problemer. Det er en viktig oppgave å søke og forstå dette bildet, slik at man kan påvirke utviklingen i retninger som er til nytte for menneskeheten, og forhindre at ikke-ønskede virkninger blir resultatet.

NTVA ga i 2017 ut første bind i det vi planlegger skal bli en serie om temaet «Teknologien endrer samfunnet». Den omhandler en rekke muliggjørende teknologier enkeltvis.

Her foreligger bind II i serien, der vi har bedt mennesker med innsikt i noen utvalgte bransjer og samfunnsområder om å reflektere over hvordan de tror disse områdene samlet sett vil påvirkes av teknologienes endringskrefter. Det er ikke slik at det først og fremst er teknologer som besitter slik innsikt. Temaene krever innsikt fra samfunnsområdene og oftest fra personer med helt annen fagbakgrunn enn teknologi. Dette gjenspeiles i forfatterlisten.

Våre forfattere foregir ikke å ha en krystallkule som gjør at de kan lage en fremskriving i form av et presist varsel om hvordan utviklingen vil gå. Snarere deler de tanker med oss om hvilke muligheter teknologiene gir, og i hvilke retninger drivkreftene i teknologiene vil drive bransjene og samfunnsområdene.

Vi konstaterer at spørsmålet ikke er *om* endringene vil finne sted, men hvor raskt de kommer. Digitaliseringen av samfunnet handler om å bruke muliggjørende teknologier til å skape nye virksomheter og endre gamle.

Samtidig må vi ha et bevisst forhold til hva slags samfunn vi vil ha, og hvem som skal bestemme rammevilkårene. Vi står overfor politiske valg om hvem som skal eie infrastrukturene og styre tilgangen og bruken av data.

Jeg vil gjerne takke alle som har bidratt til at denne boken har blitt til. Først og fremst er det forfatterne som har delt sin innsikt og sine vurderinger med oss. En stor takk går også til redaksjonskomiteen, som har gjort utvalget av samfunnsområder, tatt ansvar for å finne innsiktsfulle forfatterne, jobbet sammen med dem i å utvikle temaene og sydd det hele sammen til den boken du nå har foran deg. Bidragsyterne har nedlagt en betydelig innsats.

NTVA håper at boken gir stoff til ettertanke og også til engasjement i å bidra til å belyse disse spørsmålene videre. Vårt akademi har til intensjon å fortsette arbeidet med å skape innsikt som gjør at vi får en opplyst diskusjon i samfunnet om hvilke muligheter og utfordringer den teknologiske utviklingen gir.

Trondheim, desember 2018

Torbjørn Digernes, president i NTVA

INNHOOLD

1.	DET NYE DIGITALE NORGE	15
	Muliggjørende teknologier	16
	En ny industriell revolusjon	17
	Fremtidens jobber	18
	Digital transformasjon	20
	Den digitale transformasjonen er et lederansvar	20
	Konklusjon	23
2	SMARTERE BYER – SMARTERE LIV	27
	Hvem vil ikke være «smart»?	28
	Smartbyens muligheter	29
	Den skjulte smartbyen	29
	Mot en felles forståelse av «smartbyer»?	30
	Smarterhet avhenger av kontekst	31
	Tre tilnærminger til smartby i EU	32
	Nøkler til et vellykket smartbyprosjekt	34
	Tilpasset teknologi – eller tilpassede mennesker?	34
	Smartby som bærekraftsstrategi	34
	Smartbyen oppsummert: muligheter og farer	35
3.	OPERASJONENE SOM FORSVANT	39
	Magesår	40
	Kikkhullskirurgi	41
	Roboter	42
	Digitaliseringen av helsevesenet	42
	Virtuell virkelighet inn på operasjonsstuen	43
	Genetikk	46
	Kunstig intelligens og stordata	47
	E-helse – helse på internett	48
	Sykehuset hjem til pasienten	48
	Medaljens bakside	48
4.	VELFERDSTEKNOLOGI I FOLKETS	51
	HELSETJENESTE	
	Samfunnsutfordringer og drivkrefter	52
	Velferdsteknologi og e-helse – hva er det, egentlig? ..	53
	Digital samhandling og beslutningstøtte for mer ..	54
	effektive arbeidsprosesser	
	Helsehjelp på nye måter	56
	Trygghetsskapende teknologi	56
	Mestringsteknologier med avstandsoppfølging	58
	Oppsummering og perspektiver for fremtiden	61

5.	DEN BILLIGSTE KILOWATTIMEN.....63	Ingen korrupsjon – ingen risiko95
	Elementer som del av energieffektivisering65	Smarte kontrakter96
	Energieffektiv prosessering66	Energisløsning97
	Utnyttelse av overskuddsvarme67	PSD2 og «Open Banking»97
	Energilagring i et integrert energisystem.....68	IOT og M2M99
	Industriklynger – integrasjon av energikilder68	
	og -sluk på tvers av sektorer	
	Alternative energibærere og karbonfangst70	
	Perspektiver for fremtiden.....71	
6.	KLIMANØYTRALE BYGG OG NABOLAG73	9.
	Hva er et nullutslippsbygg?75	UTEN SJÅFØR.....101
	Varmeisolasjon og tetting76	Elektrifisering og brenselcelleteknologi.....103
	Klimatisering77	Pris og attraktivitet104
	Fra nullutslippsbygg til nullutslippsområder.....78	Automatisering/selvkjørende biler.....105
	Den mest miljøvennlige energien er den man	Jus og sikkerhet107
	ikke bruker	Digitalisering108
	Gode steder å være79	Handel109
7.	SMARTE HUS SOM SOLCELLEKRAFTVERK 83	Forretningsmodeller109
	Den globale utviklingen.....84	Den oppkoblede bilen110
	Utviklingen i Norge.....85	Begreper.....111
	Solceller i smarte hus.....87	Kilder111
	Konklusjon89	
8.	TRENGER VI BANKEN?91	10.
	Mobilt internett92	TOG SOM TENKER SELV113
	Konkurransesituasjonen endres.....93	Fra gammel til ny teknologi.....114
	Person til person (P2P).....94	Trafikklysene forsvinner.....115
	Bitcoin og blokkjede94	Trafikkstyring115
		Selvkjørende autonome tog.....116
		Automatisering116
		Batteri eller hydrogen?117
		Mobilitetsaktør117
		Kundetjenester.....118
		Jernbanens rolle blir utfordret118

11.**SJØTRANSPORT SLÅR TILBAKE121**

Sjøtransportens rolle i den globale økonomien	122
Hva betyr de globale megatrendene for fremtidens sjøtransport?	
Drivkraft 1: miljø- og klimapolitikk	123
Teknologiutviklingen	124
Teknologi for redusert utslipp	126
Operasjonelle tiltak for redusert energiforbruk og utslipp	127
Drivkraft 2: teknologirevolusjonen	128
– fra Industri 4.0 til Shipping 4.0	
Autonomi og robotikk	129
Internet of Services at Sea	129
Shipping 4.0s påvirkning på sjøtransporten	130
Autonomi	130
Internet of Services at Sea	132
Trender i forskningen	132
Hvor går vi nå?	133

12.**TEKNOLOGI SOM DET MULIGES KUNST...135**

Konkurranse og sikkerhet	136
Tradisjonelle fly – komposittmaterialer, digitalisering, og drivstofføkonomi	137
Den gjennomkoordinerte luftfarten	140
Fjernstyrte fly, selvkjørende fly, elektriske fly?	141
Trenger vi luftfart i det hele tatt?	143
Revolusjonen uteblir	144

13.**DIGITAL KONKURRANSEKRAFT147**

Hva er produksjonsvirksomhet?	148
Fra «verkstedet nede i gata» til en verdensledende nisjeindustri	149
Den neste epoken	150
Norsk vare- og tjenesteproduksjon i 2019	151
«Is this time different?»	152
Data og digitale plattformer	154
Teknologier som endringsdrivere	154
Betydning for norske produksjonsvirksomheter	155
Arbeidsoppgaver og sysselsetting	157
Betydningen av å forstå det nye i kundebegrepet	157
Innovasjon	158
Paradigmeskifte, revolusjon eller evolusjon?	159
Digitalisering innen olje- og gassnæringen, eksempel fra Aker BP	159
Hvordan digitale tvillinger endrer industrier – eksempel fra KONGSBERG	160
Industribedriften bygger nye tjenester til sluttkunden – eksempel fra Yara	162

14.**UBERØRT AV MENNESKEHENDER165**

Bærekraftig utvikling	166
Matindustri 4.0	167
Smarte sensorer måler maten	168
Biotechnologiske prosesser	169
Roboter lager maten	170
Små fleksible produksjonslinjer	171
Våre digitale spor styrer produktutviklingen	172
Forsvinner matbutikkene?	173
Utfordringer og barrierer	174

15.		
Å LYTTETIL PLANTENES BEHOV	177	
Teknologi i jordbruket	179	
Jordbruket i Norge i dag, ikke bare fordeler	180	
Sensorsystemer	181	
Sensorer for innsamling av data	182	
Kamerateknologi i jordbruket	183	
Presisjonslandbruk	185	
Automatiserte systemer i matproduksjon.....	185	
Oppsummering/perspektiver for fremtiden.....	187	
16.		
MATPRODUKSJON OG BÆREKRAFT	189	
Lakselus	191	
Fiskevelferd og skånsom håndtering	192	
Rømming.....	194	
Arbeidsmiljø, helse og sikkerhet.....	194	
Utviklingstrekk 1: digitalisering og mer kontroll ..	195	
i operasjoner		
Stordata og maskinsyn.....	196	
Autonomi og fjernstyring	196	
Utviklingstrekk 2: nye anleggskonsepser.....	197	
Mer eksponerte anlegg	198	
Hvor er vi på vei?	198	
17.		
BILLIGERE OG MER MILJØVENNLIG	201	
Dagens situasjon	202	
Bygningsinformasjonsmodeller og parametriske	203	
design		
Virtuell og utvidet virkelighet.....	204	
Industrialisert bygging og 3D-printing.....	205	
Robotisering	205	
Internet of Things	206	
Smarte bygg	206	
Droneteknologi	207	
Perspektivene videre.....	208	
18.		
FRA DIGITALE DRØMMER TIL	211	
DIGITALDOMINO?		
Kikke inn i krystallkulen	212	
Situasjonen i Norge.....	213	
Kort om netthandel i Norge i 2017.....	214	
Norske forbrukere og ny teknologi	214	
Norsk handelsnæring – et gullegg eller en	215	
samling Kodak-bedrifter?		
Et sprikende bilde	216	
Nye teknologier	216	
De digitale handelsplattformene utkonkurrerer	218	
tradisjonelle handelsnæringer		
Digitale transformasjoner – sporer ingen av dem av?.....	220	
Hvordan forberede seg på endringene?	220	
Hva norske handelsbedrifter kan gjøre.....	221	
Avslutning	222	
19.		
KAOS OG MULIGHETER	225	
Endringer i mediens teknologi.....	226	
Innovasjon i media	227	
Historisk utvikling for digital publisering	228	
av nyheter		
Kategori 1: Plattformer	229	
Kategori 2: Programvare	231	
Kategori 3: Gjenstander og datahøsting	234	
Kategori 4: Utvidet og virtuell virkelighet.....	236	
Journalistiske medier i fremtiden	238	
Papiravis i 2028?.....	239	

20.**GODE RÅD BLIR DIGITALE.....243**

Hvordan en rådgiver løser et oppdrag	244
Problemerkaffelse – å få et oppdrag	245
Informasjonsinnhentning og analyse.....	246
Diagnose (løsningsforslag).....	248
Tiltak – å faktisk gjennomføre ting	249
Kontroll – problem løst eller ny runde?.....	249
Problemrepresenterende teknologi – fra digitale	250
tegninger til digitale tvillinger	
Ressursmobiliserende teknologi – fra faste linjer	251
til modulbaserte grensesnitt	
En rådgivers langsiktige strategiske utfordring.....	252

21.**SAMSTYRING, GJENBRUK OG DELING.....255**

Digitalisering.....	256
Interoperabilitet	257
Samstyring	258
Muliggjørende teknologier i offentlig sektor	260
Hvor er vi i 2030?.....	262
Samarbeid, gjenbruk og deling.....	263
Avslutning	264

22.**DIGITALE LÆRINGSARENAER269**

Hva trenger vi for å kunne lære?.....	271
Nysgjerrighet som drivkraft for læring.....	271
Skolen bryter med våre naturlige forutsetninger	272
for å lære	
Dataspill – arena for læring	273
Plattformer og stordata som grunnlag for	276
adaptiv læring	
Fra naturlig dumhet til kunstig intelligens	278

Virtuell og blandet virkelighet skaper nye	280
opplevelser og nye betingelser for læring	
Sosial samhandling og læring	281
Universiteter og voksnes læring.....	282
Hva trenger vi å lære?	284
Konklusjon: teknologi, organisasjon eller politikk?	285



Bruk av ny teknologi gir nye muligheter for et bærekraftig landbruk.

15.

Digitalisering og effektivisering av norsk jordbruk

Å LYTTE TIL PLANTENES BEHOV

Pål Johan From, Lars Grimstad, Ingunn Burud og Nils Bjugstad

Fremtidens landbruk vil behandle planter som enkeltindivider og gi dem nøyaktig de næringsstoffene, det vannet og den behandling de behøver. Dette vil resultere i et landbruk som ikke bare produserer sunnere og bedre mat, men som også tar vare på miljøet gjennom en drift som optimaliserer plantenes behov.



Pål Johan From er professor i landbruksrobotikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet der han leder robotikkgruppen. Han jobber med å utvikle roboter og annen avansert teknologi for bruk i landbruket og matproduksjon.



Ingunn Burud jobber med spektral bildeanalyse ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Hun jobber blant annet med applikasjoner rettet mot landbruket.



Lars Grimstad har PhD i landbruksrobotikk og jobber aktivt med å utvikle roboten Thorvald ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Dette er en lett og modulær robot som kan utføre flere oppgaver både på jordet og i drivhus.



Nils Bjugstad er professor i landbruks-teknologi på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet og har spesialisert seg innen presisjonslandbruk.

Digitalisering, robotisering og store mengder data kombinert med kunstig intelligens muliggjør store og fundamentale endringer i måten vi produserer mat på. Der som denne teknologien blir brukt på riktig måte, vil det føre til et jordbruk som produserer mer mat med mindre miljøpåvirkning og redusert bruk av kjemikalier og andre innsatsmidler.

På verdensbasis regner en med at det har eksistert landbruk, dog meget primitivt, helt siden menneskene ble bofaste for omtrent 12 000 år siden. Landbruksteknologien er derfor den eldste teknologien i verden. Dette la til rette for en økende befolkningsvekst og behov for større arealer og avlinger¹. Gjennom landbruksrevolusjonen på 1700-tallet og den påfølgende industrielle revolusjon økte befolkningen eksplosivt. I tillegg flyttet stadig flere fra bygdene til byene. I år 1800 var det 1 milliard mennesker i verden, mot 7,6 milliarder i dag. Mekaniseringen av landbruket sammen med en målrettet planteforedling har vært avgjørende for at det skal kunne være så mange mennesker på kloden.

Gjennom tidene har befolkningsøkningen vist seg å øke proporsjonalt med avlingene fra landbruket. Bedre agronomi har ført til over en dobling fra 1960 til 2010 på verdensbasis og enda mer dersom en ser på utviklingen i de industrielle landene². Gjennomsnittsstørrelsen på gårdene har økt, og antall personer som arbeider innen landbruket, har gått betydelig ned.

Dette har skjedd gjennom en sterk mekanisering og økt maskinkapasitet. I 2014 klarte en enkelt skurtresker å høste hvete med en gjennomsnittsavling på 995 kg/dekar og treskekapasitet på 90,7 tonn/time, det vil si nesten 100 dekar per time. Den enkelte bonde forsørger stadig flere mennesker. Tabellene 15.1 og 15.2 illustrerer utviklingen³.

År	Antall mennesker én bonde produserer mat til	Dyrket areal per person (dekar)
1900	2,5	Ikke oppgitt
1960	25	7 daa
2011	145	4,8 daa

Tabell 15.1 Mat til antall mennesker per den enkelte bonde på verdensbasis i i-land (Bodria 2015).

Arbeidsoppgave	Manuelt for hånd	Mekanisert per i dag	Økning i kapasitet
Jordarbeiding	10 m ² /time	10 000 m ² /time	1000 ganger
Høste hvete	10 kg/time	50 000 kg/time	5000 ganger

Tabell 15.2 Mat til antall mennesker per den enkelte bonde på verdensbasis i i-land (Bodria 2015).

1 Federico, G. (2005). *Feeding the World – An Economic History of World Agriculture*. Oxford: Princeton University Press.

2 Bodria, L. & Renius, K.T. (2014). *Agricultural Mechanization: Its Role in the Development of Civilization*.

Bologna: 25th meeting of the Club of Bologna.

3 Bodria, L. (2015). *Farm Machinery to Feed the World*.

Gjennom bedre dyrkingsteknikker, planteforedling og optimalisert bruk av gjødsel, kan vi i dag produsere samme mengde mat som i 1961 på kun 32 prosent av samme areal. I tillegg har dyrket areal gått ned. Det er forventet at befolkningen vil øke til over 9 milliarder i 2050. I tillegg vil store deler av verdens befolkning legge om til et kosthold av matprodukter som er mer kraftfôrkrevende å produsere og dermed trenger større arealer. Det betyr at produksjonen må øke med ytterligere 60–70 prosent. Samtidig skal det produseres på en bærekraftig måte, det vil si med mindre bruk av innsatsstoffer, mindre jordpakking og tilpasset de økende klimautfordringene.

TEKNOLOGI I JORDBRUKET

Gjennom avansert matproduksjon har dagens befolkningsvekst vært mulig. En regner at den første såmaskinen (trukket av hest) ble utviklet av Jethro Tull i England i 1701, noe som revolusjonerte landbruksproduksjonen. Et nytt skifte kom i begynnelsen av 1900-tallet, da traktoren gjorde sitt inntog og hesten som trekkmiddel gradvis måtte vike. Traktoren ble videreutviklet fra jernhjul til gummihjul og med kraftuttaksmulighet for roterende utstyr. Videre kom trepunktshydraulikk både bakmontert og etter hvert frontmontert. Over tid ble det utviklet bedre ergonomiske løsninger og kjørekomfort. Det ble også utviklet løsninger for hurtigkobling av redskap, slik at man ikke trengte å gå av og på traktoren hver gang man måtte skifte arbeidsutstyr.

Gjennom de siste femti årene har man i stor grad vært opptatt av dekkutrustning og marktrykk, da vi vet at jordpakking vil redusere avlingen dramatisk.

Blant annet ved bruk av bredere dekk, radialdekk, tvillinghjul, belter eller lavere dekktrykk for å øke kontaktflaten og dermed redusere overflatetrykket. Det er også sett på løsninger med redusert jordarbeiding, direkte såing og faste kjørespor. Sammen er disse løsningene med på å redusere skader fra jordpakking, men redusert jordarbeiding og direkte såing gir også en reduksjon i avlingene og ofte økt forekomst av ugras.

I Norge har nesten alle nyere traktorer firehjulstrekk, som øker trekraften ved samme motorstørrelse. I tillegg har det kommet mye differensiert arbeidsredskap som både kan øke arbeidskapasitet, avlinger og forbedre kvaliteten på ferdigprodukt. Tidligere ble tresking av korn gjort på stasjonære anlegg. Dagens avanserte mobile skurtreskere har stor høstekapasitet som sikrer bedre kvalitet. Spesielt i Norge er tiden som er tilgjengelig for høsting av korn, meget kort, fordi det tar lang tid på sene høstdager før kornåkeren tørker opp tilstrekkelig til at høstingen kan starte. Det finnes også automatiske potetopptakere og opptak av grønnsaker nesten uten behov for personressurser.

Innen landbruket har automatiseringen kommet lengst innen husdyrhold og da spesielt innen melkeproduksjon. Først kom melkemaskiner som erstatning for håndmelking. Men fortsatt måtte operatørene opp tidlig om morgenen og sent på kvelden for å melke to ganger i døgnet. Dette er tungt arbeid, og melken ble transportert i en rørgate rundt i fjøset. Dette ble for de fleste erstattet av en melkegrop og løsdrift, der operatøren hadde god oversikt, kunne stå i en mer riktig ergonomisk stilling, og det var mindre behov for å transportere melken i lange rør. Fortsatt var tidspunkt for melking like ugunstig.

Dette førte til utvikling av melkeroboter. Her melkes kyrne fullautomatisk og tre ganger i døgnet. Det førte til både økt melkeproduksjon, bedre helse for kua og for brukerne. I dag regner vi at det er over 1000 slike melkeroboter i Norge. De har som regel et delingstall på 60 kyr, det vil si at du må ha to roboter dersom du har mellom 70 og 120 kyr. Har du 30 kyr, er det lite hensiktsmessig å bruke robot. Dagens melkebønder har derfor større besetninger eller går sammen med andre bønder for å oppnå fordelene med melkerobot. En annen fordel er at kyrne får individuell føring som blant annet står i relasjon til melkeytelse. I tillegg til melkeroboter finnes det i dagens husdyrproduksjon også føringsroboter som automatisk legger ut fôr tilpasset de enkelte dyrene, samt rengjøringsroboter som soper bort møkk og annen forurensning og sikrer bedre renhold og hygiene.

Innen store veksthusanlegg finnes det i dag en god del automasjon. Det kan være alt fra klimastyring, vanning, gjødselvanning og belysning til sprøyteroboter. Det siste er også med på å sikre et bedre arbeidsmiljø for operatøren som da ikke trenger å være i nærheten av dysene og væskedusjen og bli utsatt for kjemikalier. I tillegg finnes det en del transportroboter, sorteringsanlegg og pakkeanlegg.

Eksemplene ovenfor er automasjon i lukkede anlegg. Mesteparten av maten produseres utendørs på jorder. Det største markedet og utfordringene er automasjon på friland og bruk av feltroboter. Gjennom de siste tjue årene har bruk av mer avansert teknologi gjort det mulig å drive presisjonslandbruk. Posisjoneringsystemer som GPS sammen med avanserte sensorer og regnekraft har startet sitt inntog i landbruket.

JORDBRUKET I NORGE I DAG, IKKE BARE FORDELER

Selv om vi i dag har effektive maskiner, har utviklingen ført til en del utfordringer som vi nå ser konsekvensene av i norsk og internasjonalt jordbruk.

Tyngre maskiner og jordpakking er den største ulempen med dagens løsninger. For å øke kapasiteten, eksempelvis arbeidsbredde, kreves det tyngre maskiner for å kunne øke trekkraften. Trekkraften er direkte proporsjonal med tyngden på maskinen, men den er også proporsjonal med friksjonen og kan økes med bedre markgrep (dekk og mønster), vektfordeling og firehjuls-trekk. Ved å bruke utstyr som drives av kraftuttaket, kan en også benytte lettere maskiner. Jordpakking vil uansett være et problem med dagens maskiner.

Mer fuktig klima og regnfulle somre gjør jorda mer fuktig og mer utsatt for strukturskade. Spesielt gjelder dette leirjord, men også andre finkornede jordarter. Dette fører til at jordaggregatene ødelegges og mikrolivet i jorda reduseres. Selv om det brukes tvillinghjul eller andre løsninger, reduserer det kun overflatetrykket, mens trykket lenger ned i jordprofilen forblir det samme. Over tid bygges det opp en uheldig plogsåle som kan være vanskelig å reparere. Uansett fører bruk av tunge maskiner med seg et større behov for pløying for å reparere trykkskadene. Dette fører til høyere energibehov (brenselforbruk). Forskning har vist at opptil 90 prosent av energiforbruket brukes i forbindelse med pløying og jordarbeiding.

Forsinket våronn og skuronn kan bli resultatet når maskinene er for tunge. Spesielt i Norge med begrenset vekstsesong, kan dette være et problem. I tillegg har vi en topografi som gjør at feltene sjelden er klare på samme tid, eksempelvis gjelder dette for nordvendte områder eller over tørre bakketopper. Med lettere maskiner kan en starte tidligere og sikre en lengre vekstsesong som gjør at avlingen blir bedre selv under vanskelige vekstforhold. Autonome og mindre maskiner muliggjør også at en kan starte tidligere på deler av jor-det som allerede er klare.

SENSORSYSTEMER

Stedsspesifikk og høyoppløselig data vil øke presisjonen i landbruket betraktelig. Dette krever at vi kan samle inn nøyaktige data av høy kvalitet ute i felt, og samtidig merke disse dataene med nøyaktig sted og tid. Det er derfor skjedd mye de siste årene når det kommer til avanserte sensorer og nøyaktig posisjonering av utstyr i felt.

Global Positioning System (GPS) gir maskinenes nøyaktige posisjon på jordet og er derfor en viktig komponent i moderne jordbruk. GNSS-systemer (Global Navigation Satellite System), som for eksempel GPS, kan nå med en presisjon ned til 2 cm si hvor maskinen er i feltet. GNSS-mottakeren kan enkelt flyttes mellom ulike arbeidsmaskiner. Ved bruk av tilpassede sensorer kan en dermed få kart over viktige data. Dette kan være data over status i feltet før behandling og ikke minst fasisvaret gjennom en registrert stedsspesifikk bedre avling og kvalitet. Denne type kart, ofte kalt GIS-kart (Geographic Information System), gir oss interpolerte verdier i digital form. En kan få flere lag av GIS-kart

for samme område, eksempelvis et for pH, biomasse, tildelt gjødsel- eller plantevernmiddelemenge og ikke minst avlingsmengde. Det utvikles stadig flere og bedre sensorer for bruk i landbruket. Disse kombineres ofte med GPS-mottakere som produserer GIS-kart som kan brukes til å styre maskiner og utstyr, og gjør at eksempelvis tildelt mengde plantevernmiddel og mineralgjødsel kan tilpasses over tid og sted.

En annen nytte av et nøyaktig GNSS-system er parallelle kjørespor og automatisk vending av maskinen. Med andre ord styrer traktoren seg selv, slik at overlapp mellom arbeidsdragene blir tilnærmet lik null. Det blir rettere rader, lettere innhøsting, og operatøren kan bedre følge med på andre ting som er avgjørende for avlingskvaliteten. Et eksempel her er brede, selvstyrende skurtreskere. Da kan operatøren passe på korrekt innføring av kornstrå og innstilling av skjærebordet uten å måtte anstrenge seg til å følge med på skjærebordets ytterkant. Et videre skritt er autonome traktorer.

En mellomting er det vi kaller master og slave. Her kjøres en traktor manuelt, mens andre traktorer følger etter og repeterer i nabosporet. Det siste er ikke så vanlig i Norge i dag, men bruk av parallelle kjørespor, automatisk vending og bruk av GIS-kart, spesielt av avlingsmengde, er meget vanlig. En annen løsning som brukes mye, er det vi kaller automatisk seksjonsavstengning. Det betyr at såmaskiner, gjødselspredere og åkersprøyter er utrustet med en GPS-styrt kontroll som gjør at maskinen automatisk stenger for dosering ved overlapp eksempelvis i endene eller ved trekantformede jorder. Dette fører til bedre kvalitet og innsparing av innsatsstoffer.

SENSORER FOR INNSAMLING AV DATA

Vi skiller vanligvis mellom to ulike former for innsamling av data; fjern- og forhåndsdata (remote data) og online data (data som innsamles mens en kjører). Mye data kan samles inn remote via satellitter og droner. Deretter må dette behandles og sendes ut til arbeidsmaskinen i felt. Per i dag tar dette tid og gjør at operasjoner som er avhengig av nøyaktig tidspunkt eller vær og vind, eksempelvis sprøyting, ikke kan skreddersys så godt som ved bruk av online data. Derfor er online data å foretrekke dersom de er like nøyaktige.

Et godt eksempel på online data er bruk av Yara N-sensor og sentrifugalspreder. Her sitter fire sensorer øverst på traktorhytten og skanner biomasse ut til sidene. Dette gjøres ved å observere passivt reflektert sollys fra plantene. Spesielt i det nærinfrarøde (NIR) bølgelengdeområdet kan en skille mellom ulike mengder biomasse. Ut fra disse dataene beregnes tildeling av nitrogen gjødsel. Gjødselsprederen tar inn dataene og kan under fart tilpasse mengde gjødsel etter biomasse. Samtidig lages det kart over gjødselforbruket. Ved høsting kan man på nytt registrere forbedringer i avling. Yara N-sensor kan også brukes ved doseregulering for soppsprøyting i korn. Det er også utviklet en N-sensor med aktivt lys (Xenon-blitz) som gjør det mulig å kjøre om natta og er uavhengig av endringer i sollys.

Ugras i åker vokser ofte flekkvis. Derfor er det mye å hente på å tilpasse dosen der ugraset finnes. Slikt utstyr er nå på markedet. En sensor ser områder med grønn masse utenom kulturveksten. Så åpnes det automatisk for sprøytevæske gjennom dysene over disse flekkene. Dette kan være med på å redusere forbruket

av plantevernmidler over 60 prosent, og samtidig opprettholde eller i mange tilfeller øke avlingene, alt avhengig av mengde ugras. Nye sensorer klarer også å skille mellom ulike typer ugras ved bildegjenkjenning. Det gjør at en ytterligere kan spare plantevernmidler ved å tilpasse dose og type middel etter type ugras. Den siste løsningen er i dag lite brukt, men sensor for å se grønn masse brukes en god del på større maskiner. Presisjonskart og GIS-kart er også viktige for å kunne dokumentere alt som skjer i produksjonen. Det gir en god kvalitetssikring.

Tidligere kunne en ta en del prøver, for eksempel manuelle jordprøver. Dette ga ikke alltid så mye informasjon, da det var vanskelig å vite nøyaktig hvor prøven ble tatt. Det var også ressurskrevende. Slike prøver bør tas over flere år i samme posisjon for å følge utviklingen. Med planmessig og rask innsamling med GPS-koordinater og tilpassede analyseprogrammer kan en derimot få langt mer skreddersydde og nyttbare løsninger.

I tabell 15.3 er det vist en oversikt over aktuelle sensorer, nytteverdi og omfang.

Alle sensorene ovenfor finnes stort sett i både enkle og mer avanserte varianter. Ved bruk av RTK GPS kan en samle inn mange målinger med nøyaktige posisjoner og oppnå mer korrekte GIS-kart. Men fortsatt er tilfredsstillende korrekt fortolkning (programvare og foreslåtte algoritmer) en utfordring.

Bruk av kamera for navigasjon og føring av radrenseutstyr mellom kulturplanteradene gjør det mulig å bruke mer mekaniske metoder i kampen mot ugras i stedet for kun bruk av plantevernmidler. Dagens landbruk drives derfor på en langt mer avansert og presis

Type sensor	Hva måles	Remote/online	Bruk/aktualitet
GPS/RTK/mobil GPS	Posisjon ned til ± 2 cm	Online og remote	Meget stor
Kamera for navigasjon	Føre radrenseutstyr	Online	Økende
JordprøverpH/gjødsel/kalk-	behov	Remote	Meget stor
Konduktivitet	Jordtype/fuktighet	Remote	Liten i dag
Georadar	Jordtype, sjikt, drenering	Remote	Liten i dag
N-sensor	Biomasse/gjødselbehov	Online	Økende
Ugrassensor	Grønn masse ugras	Online og remote	Økende
Ugrassensor	Typespesifikk	Online og remote	Liten per i dag
Sopp-/skadedyrsensor	Omfang på planter	Remote per i dag	Liten per i dag
Avlingssensor	Måler mengde avling	Online	Meget stor
Vindsensor	Måler vind	Online	Liten per i dag
Helningssensor	Måler helling på maskin	Online	Liten per i dag
Penetrometer	Jordpakking	Online og remote	Lite per i dag
RH- og temperatursensor	Både i luft og jord	Online og remote	Lite per i dag
Nedbørsensor	Mikroklima	Remote	Meget stor

Tabell 15.3 Eksempler på aktuelle sensorer i landbruket. (Remote: Data innsamlles og behandles før behandling skjer, ofte overført fra droner eller satellitter. Online: Data innsamlles og styrer maskinen umiddelbart. Sensorer sitter ofte på traktor eller arbeidsmaskin).

måte enn tidligere. Dette gjør at en sparer mye på bruk av plantevernmidler og gjødselstoffer og samtidig oppnår større avlinger.

KAMERATEKNOLOGI I JORDBRUKET

De siste årene har vært preget av økt bruk av sensorer i landbruket, og da spesielt bildesensorer av ulike slag. Vanlige RGB-kameraer fanger lys i 3 bølgelengdebånd – blått, grønt og rødt. Disse settes sammen til et fargebilde som simulerer fargene mennesker kan se. Mye informasjon om plantenes tilstand kan allerede hentes ut

fra et slikt bilde, slik som plantedekke ved tidlige vekststadier, modningsgrad i forhold til gul- versus grønnfarge, tørkeskader osv.

Det som har vist seg å gi enda bedre informasjon om en plantes tilstand, er å inkludere et nærinfrarødt (NIR) fargebånd, som ligger utenfor det synlige bølgelengdeområdet som menneskets øye kan se. Grønne, friske planter har den egenskapen at de reflekterer det meste av solinnstrålingen i det nærinfrarøde området. Plantene kan ikke bruke dette lyset til å produsere klorofyll, så derfor reflekterer de strålingen for ikke å bli overopp-

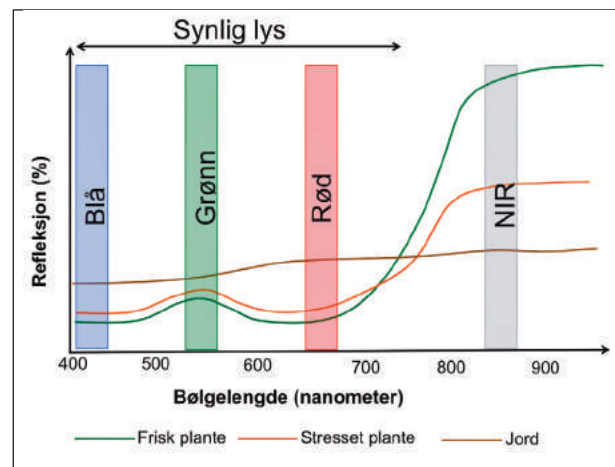
hetet. Planter som ikke er helt friske eller stresset på en eller annen måte, klarer ikke å reflektere så mye av NIR-lyset, så derfor kan man bruke forholdet mellom NIR og synlig lys som en indikator på plantens helsetilstand. Dette er illustrert i figur 15.1. Det er vanlig å se på det som kalles NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) som matematisk kan formuleres slik:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{rød}) / (\text{NIR} + \text{rød})$$

der NIR er nær-infrarødt bånd og rød er det røde fargebåndet. Denne indeksen har verdier mellom -1 og 1 , der alt som er over $0,5$ regnes som vegetasjon. Det finnes også en rekke andre vegetasjonsindekser som regnes ut fra ulike forhold mellom de blå, grønne, røde og NIR-spektralbåndene. Kameraer som har NIR i tillegg til RGB-fargebånd, og ofte også enda flere bånd, kalles multispektrale kameraer.

Vegetasjonsindekser som NDVI har blitt brukt med suksess i flere forskningsprosjekter både i laboratorier og utendørs. Montert i drone kan for eksempel et multispektralt kamera gi et kart over vegetasjonsindekser over store områder. Multispektralt kamera fra drone brukes også av mange bønder som en indikasjon på avling og for å se hvor vekstforholdene er dårlige på grunn av for eksempel sykdommer eller manglende gjødsel.

Etter hvert som sensorteknologien utvikler seg, vil også hyperspektrale kameraer være tilgjengelige for jordbruket. Et hyperspektralt kamera gir full spektral oppløsning for hver piksel i bildet, dvs. at man har hundre eller flere fargebånd. Denne typen teknologi er mye brukt i matindustrien og farmasøytindustrien for å



Figur 15.1 Skisse av spekteret til en frisk plante, en stresset plante og jord. De ulike bølgelengdebåndene er tegnet inn, og det er også området for synlig lys.

kvantifisere fettinnhold i kjøtt, vanninnhold i tørrfisk, aktivt virkestoff i Paracet-tabletter og lignende. Hyperspektrale bilder kan brukes til å definere spesifikke sykdommer på plantene og modningsgrad på frukt og korn. Selv om teknologien foreløpig i stor grad er forbeholdt forskningsinstitusjoner er dette noe som om kort tid vil bli tilgjengelig for alle, kanskje til og med via mobiltelefonen.

En annen type kamera som også brukes i landbruket, er termografikameraer, som måler varmestråling fra et objekt i infrarøde bølgelengder. Dette er altså varmestråling med lengre bølgelengde enn i NIR-området. Termografikameraer brukes ofte for å sjekke hvor det lekker ut varme fra bygninger. I jordbruket kan kameraet brukes til å detektere sykdommer på planter som gjør at plantene blir overopphetet og derfor er varmere

enn de friske plantene. Til dette trenger en et kamera med god følsomhet. Termografikamera kan også brukes til å oppdage levende dyr i en åker ettersom de er varmere enn omgivelsene.

PRESISJONSLANDBRUK

Med presisjonslandbruk menes en mer spesifikk og presis behandling av kulturen og arealet det vokser på over tid og sted. Dette kan for eksempel brukes til å optimalisere bruken av plantevernmidler og gjødselstoffer. Dermed kan vi spare på innsatsvarene og samtidig opprettholde og også øke avlingene. I lys av ny teknologi og de mulighetene den gir, definerer noen i dag presisjonslandbruk som en spesifikk behandling av hver enkelt plante og blad over tid og sted. Dette kan være realiteten i fremtiden.

Presisjonslandbruk baserer seg på følgende trinn:

- 1 Samle inn data (eksempelvis avlingskart, pH-kart, gjødselkart, biomassekart). Bedre og billigere sensorer og kameraløsninger vil være viktige for å kunne samle inn store mengder data.
- 2 Bearbeide data (eksempelvis ut fra biomassekart, avlede gjødselbehov). Gjennomtenkt programvare basert på agronomisk forståelse er avgjørende for å oppnå optimale algoritmer for påfølgende styring og fordeling av innsatsstoffer.
- 3 Ha utstyr som kan tilpasse dose etter forholdene, for eksempel VRA-teknologi (*variable rate application* – variabel og tilpasset dosering).
- 4 Høste avlingene og samle inn GIS avlingskart som viser forbedringene.

5 Deretter gjenta 1–4 påfølgende år og stadig gjøre produksjonen mer presis.

Presisjonslandbruk er et komplekst område som krever at ulike teknologier jobber parallelt. Billigere og bedre sensorer som kan hente inn store mengder data har muliggjort starten på det som kommer til å bli en revolusjon i landbruket. Videre har maskinlæring og kunstig intelligens gjort enorme fremskritt de siste årene og kan nå behandle mengder av data i sanntid. Kombinasjonen av avanserte sensorer og kunstig intelligens har vist seg å ha et stort potensial, og det er ingen tvil om at dette vil forandre landbruket de neste årene.

AUTOMATISERTE SYSTEMER I MATPRODUKSJON

En moderne traktor er fullt i stand til å kjøre selv ved hjelp av GPS og andre sensorer. Flere av de store produsentene har allerede utviklet selvkjørende traktorer uten førerhus. Vi vet samtidig at tunge traktorer skader jordstrukturen og forårsaker det vi kaller jordpakking. Jordpakking reduserer avling og forhindrer vann fra å trekke ned i jorden. Vann kan da føre næringsstoffer bort fra jordet. Anaerobe forhold i jorden fører også med seg bakterier som forårsaker denitrifisering, altså at nitrogen unnslipper jordet i gassform.

Om tunge traktorer er så skadelige for jordet, hvorfor er ikke traktorene da mindre? Om traktorene er mindre, går også kapasiteten per maskin ned. I jordbruket er man ofte avhengig av små tidsvinduer for å få inn avlingene. Vinduene er gjerne styrt av været. Man trenger å kunne rekke over hele jordet på kort tid, noe som er lettere å få

til med en stor traktor. En traktor med en 20 meter bred sprøyte dekker jordet ved færre passeringer enn en med 12 meter. Om man bruker mindre traktorer, vil man behøve flere maskiner for å få jobben unna fort nok. Å ha en egen fører for hver av maskinene blir for kostbart.

Flere universiteter og selskaper jobber derfor med mindre selvkjørende roboter for landbruket⁴. Særlig er det mange som jobber med ugressbekjemping. Tanken er da at en robot skal gå av seg selv, og sakte men sikkert jobbe seg gjennom jordet og ta knekken på ugresset. Enkelte satser på presisjonssprøyting. Ved å kun sprøyte der det er behov for det vil man behøve en liten brøkdel av mengden plantevernmidler vi bruker i dag. Andre jobber med mekanisk ugressbekjemping ved hjelp av ugressjern eller lignende, mens andre igjen jobber med termiske metoder og tar knekken på ugress med varme eller ved bruk av laser. Felles for alle er at de baserer seg på avanserte sensorer og algoritmer for å oppnå høy presisjon.

En av robotene som har dukket opp de siste årene, og som brukes i forskning i flere land i Europa, er Thorvald, utviklet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på Ås⁵. Thorvald er designet for å være en lett, smidig og rimelig robot til bruk i ulike landbruksoppgaver. Roboten er bygd opp av moduler som kan settes sammen på ulike måter, tilpasset ulike miljøer. Slik kan roboten brukes både ute på jordet og inne i drivhus. Thorvald-roboter deltar i en lang rekke forskningsprosjekter, hvor



Figur 15.2 Et utvalg Thorvald-roboter for ulike operasjoner i landbruket.

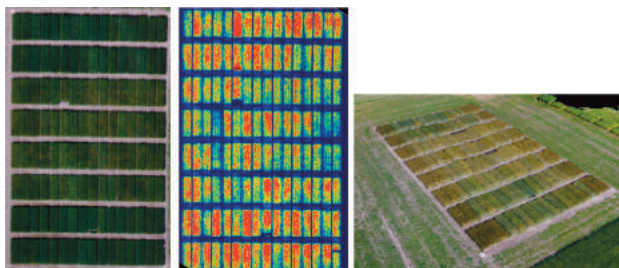
de blant annet tar jordprøver, jobber i fôrproduksjon og plukker jordbær med påmonterte robotarmer.

Droner, også kalt ubemannede luftfartøy (UAV), anvendes i mange sammenhenger, også i landbruket⁶. En kan nå få kjøpt droner som er lette å håndtere, med lav risikofaktor og til en rimelig pris. En drone kan programmeres via en mobiltelefon eller nettbrett til å kjøre en bestemt rute i en viss høyde, basert på GPS-koordinater. Disse kan plottes direkte inn på et kart. Kameraet på dronen tar bilder kontinuerlig under hele flyturen, og en ender opp med mange hundre bilder etter en flygning. Disse bildene settes så sammen ved hjelp av GPS-koordinater kombinert med bildeanalyse, til geografisk

4 Bechar, A. (2010). Robotics in horticultural field production. *Stewart Postharvest Review*, 6(3), 1–11.

5 Grimstad, L. & From, P.J. (2017). The Thorvald II Agricultural Robotic System. *Robotics*, 6(4).

6 Tripicchio, Paolo, Massimo Satler, Giacomo Dabisias, Emanuele Dufaldi & Carlo Alberto Acizzano. (2015). *Towards Smart Farming and Sustainable Agriculture with Drones*. International Conference on Intelligent Environments. Praha.



Figur 15.3 Fra venstre til høyre: RGB-bilde av et forsøksfelt med hvetekorn på Ås, NDVI-bilde av den samme åkeren, 3D-modell åkeren.

refererte kart over området. Man får et kart for hvert bølglengdebånd (eller fargebånd) som man kan lage indekser med. En vegetasjonsindeks over et jorde er vist i figur 15.3.

De fleste droner i dag kommer med et ferdig montert RGB-kamera. Det finnes mange multispektrale kameraer som man ganske lett kan montere selv på en standard drone. Med et slikt kamera kan en bonde lett få et oversiktsbilde over åkeren, enten i vanlige farger (RGB-kamera) eller med en vegetasjonsindeks. Bonden kan på den måten identifisere hvor det gror dårlig, gå ut til dette stedet og ta en jordprøve for å finne ut hva som er galt.

I tillegg til et 2-dimensjonalt oversiktskart kan en også få en 3-dimensjonal modell over området ved hjelp av en teknikk som kalles fotogrammetri. Denne metoden bruker tilgjengelig informasjon ved at objektene i området er avbildet fra forskjellige vinkler, og på den måten kan en konstruere en 3D-modell av objektene. Denne teknikken kan for eksempel brukes til å estimere høyden på kornet i en åker.

OPPSUMMERING/PERSPEKTIVER FOR FREMTIDEN

Det finnes mye avansert teknologi i jordbruket, men vi har ennå ikke sett det store inntoget i sektoren. I løpet av få år vil vi se en komplett transformasjon som vil muliggjøre nye og mer effektive produksjonsmetoder. Dette vil føre til et landbruk der vi bruker mindre innsatsmidler som kunstgjødsel og sprøytemidler. Samtidig vil produksjonen øke, noe som er nødvendig med en økende befolkning i verden. Maten vi produserer vil være både sunnere og bedre.

I Norge er det mange særforhold som gjør at ny teknologi blir ekstra interessant. Vi har mange små åkerlapper med særdeles ulendt terreng. Dette tilsier at små og lette roboter med god fremkommelighet vil være godt egnet. Disse robotene kan muliggjøre drift på arealer som i dag ikke er egnet for store traktorer. Vi tror dette kan øke arealene som vil benyttes til jordbruk i årene fremover. Autonome maskiner vil også muliggjøre landbruk i et høykostland som Norge og er bedre egnet til de små åkerlappene.

Når maskinene blir autonome og selvgående kan de også bli mindre. Dette er en fordel fordi man kan operere på jorden også når det er fuktig uten å ødelegge jorden. Dette reduserer tap av avling.

Vi tror med andre ord at vi går en lysere fremtid i møte. Grunnen til det er i stor grad ny teknologi som digitalisering, robotisering og avanserte sensorer. Dette er teknologier som vil gi oss sunnere og bedre mat, redusere de negative effektene av landbruk på miljøet, og samtidig legge til rette for økt matproduksjon i land som Norge.