



AP1: RODVÆKST UNDERSØGT I VINTERHVEDE I FORSKELLIGE JORDBEARBEJDNINGSSYSTEMER I 2019

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Rodintensiteten er undersøgt i vinterhvede etableret ved hhv. pløjning og direkte såning og viste større tæthed i det øvre jordlag af pløjet jord, 0-25cm, mens direkte sået vinterhvede har størst rodintensitet i jordlaget 25-100cm.

Planters rodnetværk er kilden til vand- og næringsstofoptag for afgrøden. Roddybden kan være en væsentlig faktor for afgrødens udnyttelse af kvælstoffet i jorden, og med et dybere og mere udbredt rodnetværk vil afgrøden kunne sondere en større jordpulje for vand og kvælstof. Et større og dybere rodnetværk øger endvidere kulstofindholdet i jorden.

Denne planteavlsorientering beskriver metoder og resultater af afprøvning af minirhizotroner i de langvarige jordbearbejdningsforsøg samt resultater af droneoverflyvning med måling af biomassen i forsøgsparcerne.

MINIRHIZOTRONER

Rødder er en svær størrelse at observere og undersøge, da de udvikler sig under jordoverfladen. Der findes metoder til at undersøge rødder og deres udvikling, men de er ofte destruktive for planten. De destruktive metoder er en ulempe, hvis man efterfølgende vil undersøge andre faktorer, følge røddernes udvikling uden at forstyrre planten, eller måle udbytte. Her er brugen af minirhizotroner meget relevant da det er en ikke-destruktiv metode til at undersøge en plantes rødder.

Minirhizotroner er 2-3 m lange transparente plastikrør som bores ned i jorden. På denne måde kan man ved at fotografere plantens rødder gennem røret undersøge rodudviklingen gennem

sæsonen. For at rørene kan komme i jorden, bliver der boret et 30 graders vinklet hul ind under planterne. Rørene skal etableres inden rodudviklingen for alvor begynder, hvor det forstyrrer rødderne mindst muligt. Et specialbygget kamera påhæftet en kæde, bruges til at tage billeder i de aktuelle vækststadier. Det gøres ved at sænke kameraet ned gennem røret, og tage et billede for hver 5 cm indtil bunden af røret er nået.

MINIRHIZOTRONKAMERAET

Kameraet, der blev brugt, er et specialbygget RGB-kamera, der kan filme i minirhizotronrør. Det blev leveret af Videometer A/S. Ved at bruge et RGB-kamera, bliver minirhizotron metoden mere tilgængelig for flere, der ønsker at undersøge rødder, da det er knap så dyrt som et multispektralt kamera, som også bliver brugt til minirhizotroener.

TOLKNING AF BILLEDERNE VED CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Deep learning arkitekturer er en machine learning tilgang, betinget af træningsprocedurerne hvor et program fodret med rådata, automatisk opdager et mønster, som kan bruges til detekterings- eller klassificeringsopgaver. Convolutional Neural Network (CNN) er en klasse af deep learning, hvor aflæsningsmekanismen er indkodet i parametrene i netværket, som kan opdateres uden brug af manuel programmering, men i stedet opdateres med eksempler for det ønskede output. Outputtet er derfor yderst afhængigt af kvaliteten af input.

CNN er en nyere metode, der kan bruges i kombination med minirhizotronrør, til at detektere rødder på billeder taget under jorden. Den kan bruges til almindelige RGB-billeder (RØD-Grøn-Blå), som er væsentlig mere udbredt, end dyre multispektralekameraer, som tidligere er brugt til roddetektion. CNN erstatter line-intersect-metoden, som tit ender i en flaskehals når ønsket data skal aflæses fra billederne, da billederne manuelt skal aflæses med et cellegrid lagt hen over billederne. Det er tidskrævende, når billedantallet stiger, og kan tage 20 minutter pr. meter grid linje, hvilket kan hæmme brugen af minirhizotronrør til observering af rødder under jorden.

DRONEFLYVNING MED MULTISPEKTRALT KAMERA

Brug af droner monteret med multispektrale kamera, giver data i fem forskellige bånd, Rød, Grøn, Blå. Nær-infrarød og Infrarød, de kan bruges til at producere biomasseindekserne NDVI og NDRE, som kan bruges til at korrelere med f.eks. udbytte eller kvælstofoptag. En mere teoretisk beskrivelse af multispektrale kameraer, og hvordan det kan bruges, kan findes her:

[Oversigt for Landsforsøg, 2019, s. 186-189](#)

FORSØG

Der er i to langvarige forsøg med hhv. direkte såning og reduceret jordbearbejdning, 080069919-001 (i Jerslev ved Kalundborg) og 081040219-001 (Aulum), blevet etableret minirhizotroener, til observering og bestemmelse af rodudviklingen af rødder, samt planlagt

overflyvning med multispektralt kamera monteret på drone. I forsøg 080069919-001 afprøves i 2019 to etableringsmetoder af vinterhvede, hhv. traditionel jordbehandling med pløjning og direkte såning. I forsøg 081040219-001 er der tre etableringsmetoder af vårbyg, hhv. traditionel etablering med pløjning, reduceret jordbearbejdning og traditionel etablering med pløjning hvert andet år. I forsøget ved Jerslev er der opnået resultater for en enkelt rodmåling, mens forsøget i Aulum har resultater af en droneoverflyvning med måling af NDVI og NDRE.

Forsøgene er beskrevet i Oversigt over Landsforsøgene 2019.

STATISTIK OG ANALYSER

Optælling af rodbillederne er foregået ved hjælp af et convolutional neuralt netværk (CNN) (Smith et al., 2019). CNN arbejder i pixels, og derfor er de værdier CNN returnerer antal pixel rødder pr. antal pixel i billedet. Det kan oversættes til cm rødder pr. billede ved at kende billedets fysiske dimensioner, længde og bredde. Se funktionen nedenfor for.

$$\frac{\text{cm i billedets bredde}}{\text{pixel i billedets bredde}} * \text{Antal rod pixel i billedet} = \text{cm rod i billedet}$$

Billedværdierne er herefter inddelt i 25 cm intervaller, hvor middelværdien er fundet for hver behandling ved de forskellige filmningsdatoer. De er indsat i diagrammer med centerværdien for de 25 cm intervaller, 12,5 cm, 37,5 cm osv. Derudover er middelværdien og $\pm 95\%$ -konfidansinterval for maksimumsdybden for rødderne også fundet for hver behandling ved de forskellige filmningsdatoer. Det præsenterede data, er transformeret fra billederne taget i minirhizotronrør med 30° vinkel fra vertikal retning til faktisk jorddybde i vertikalretning.

Billederne, produceret med droneoverflyvningen, er blevet uploadet til Solvi.nu, hvor billederne er blevet flettet sammen. For parceludklippene, er der blevet indtegnet parcelgrænser i Solvi.nu. parcelgrænsen er tegnet et stykke inde i den faktiske parcel, for at undgå fejlkilder ved de faktiske parcelgrænser. Værdierne er blevet eksporteret med en middelværdi og standardafvigelse for biomasseindekserne, NDVI og NDRE.

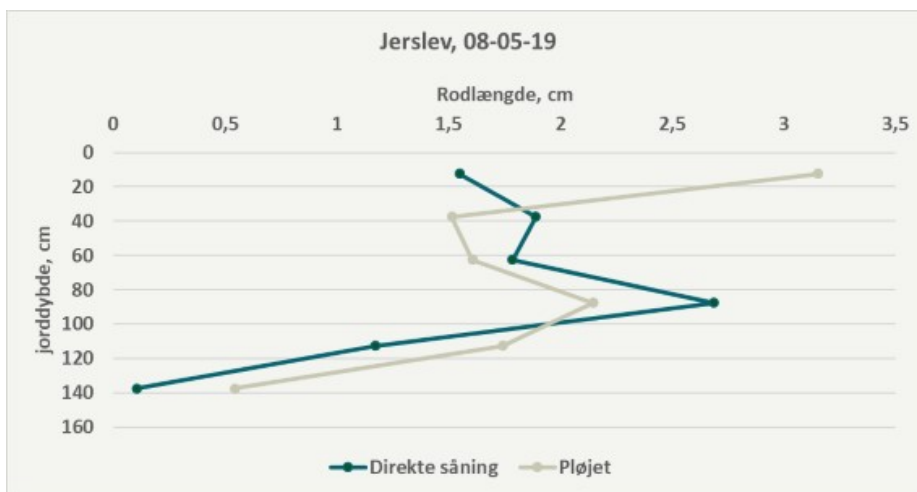
Det forventes, at jordbearbejdning har en indflydelse på rodudviklingen i jorden. Ofte ses et kompakt jordlag lige under pløjedybde, som kan hæmme udviklingen af rødder i dybden. Det forventes at machine learning værktøjet CNN er et alternativ til manuelt gridcounting af rødder.

RESULTATER OG DISKUSSION

RODINTENSITET

Ved Jerslev blev der filmet d. 08-05-2019. Her er rodintensiteten i de pløjede parceller højest i pløjelaget, 0-25cm. I pløjelaget giver den løse jord et bedre miljø for rodudvikling. I dybere jordlag har parceller uden jordbearbejdning den højeste rodintensitet fra 25 cm og ned til 100

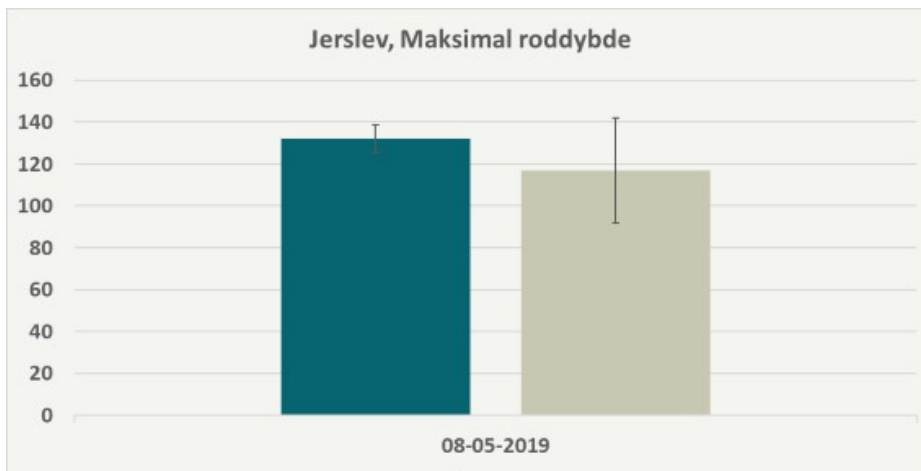
cm, hvorefter det igen skifter. Idet jorden er urørt, bliver tidligere luftkanaler fra bl.a. regnorme og gamle rødder mere sammenhængende (Sharma et al., 2017), hvilket nye rødder kan gøre nytte af. Regnormetællinger fra 2017 og 2018 viste endvidere en betydelig større forekomst af regnorme i parceller uden jordbearbejdning (Oversigt over Landsforsøgene 2018, s 243-244), som således skulle give gode muligheder for rodudvikling i dybden. Figur 1 viser rodmængden, som cm rod per billede, og dermed bliver rødderne ikke udtrykt som biomasse.



Figur 1. Udviklingen af rødderne i vinterhvede for hver behandling, direkte såning og traditionel etablering med pløjning, ved Jerslev, 08-05-2019, ned gennem jordsøjlen. Data er udtrykt, som gennemsnit cm rod per billede i 25 cm intervaller.

MAKSIMUM RODDYBDE

Der er ikke forskel på den maksimale roddybde med og uden jordbearbejdning, figur 2. Variationen mellem de to er dog forskellige. Konfidensintervallet $\pm 95\%$ ved den pløjede jord er på 25,1, mens den uden jordbearbejdning er på 6,4. det vil sige, at der ikke er forskel mellem behandlingerne, men at sandsynligheden for at dyb maksimal roddybde er større ved direkte såning end i pløjet jord. Det kan vurderes, at de etablerede minirhizotronrør ikke var tilstrækkeligt lange, til at følge den fulde rodudvikling af vinterhveden, hvilket kan ses i figur 1.



■ Direkte såning ■ Pløjet

Figur 2. Maksimal roddybde i vinterhvede for hver behandling, direkte såning og traditionel etablering med pløjning, ved Jerslev, 08-05-2019. Fejllinjerne er $\pm 95\%$ konfidensintervaller.

Der viste sig en del problemer med det brugte minirhizotronkamera, da det var til reparation flere gange i løbet af foråret og sommer. Det var i denne periode, at der skulle filmes i forsøgene med minirhizotroner. Problemet var at det bl.a. blev udsat for vand, hvilket systemet ikke kunne håndtere, og derfor enten kortsluttede eller fik fugt på linsen, så filmning i rørene blev forhindret. Det har gjort, at der ikke er blevet filmet i forsøget ved Aulum, og at der kun er blevet filmet en gang i Kalundborg. Systemet virkede meget som et indendørs setup taget med udenfor. De problemer, som setup'et har givet, gør, at brugen af minirhizotroner og kameraet ikke fortsætter i forsøg i 2020, da omkostningerne contra billedeudbytte er for dårligt. Det er forventeligt at brugen af minirhizotroner kan genoptages, når setup'et er væsentlig forbedret, og tilpasset forskellige forhold i marken.

DRONEOVERFLYVNING

Den 19. juli 2019, blev forsøget i Aulum overfløjet med et multispektralt kamera monteret på en drone. Der er ikke forskel på resultaterne for pløjet, direkte såning, eller pløjet hvert andet år for hverken NDVI, på henholdsvis 0,77, 0,76 og 0,71, eller NDRE, på henholdsvis 0,40, 0,42 og 0,38, tabel 1. Standardafvigelseerne er heller ikke forskellige fra hinanden, som ligger indenfor 0,01 for både NDVI og NDRE. Udbytteerne for Pløjet, direkte såning og pløjet hvert andet år var på henholdsvis, for udbytte, hkg kerne 67,2, 63,6 og 72, og for udbytte, kg N i kerne 105,9, 109,9 og 118,5. Sammenholdes det med NDVI eller NDRE, findes der ikke umiddelbart en sammenhæng for det ved hverken kerne udbyttet eller N udbyttet i kerne. I det nordøstlige hjørne af overflyvningsarealet, figur 3 og 4, kan modning af vårbyggen ses, da filmning skete ultimo juli. Dette virker ikke til at komme til udtryk i resultaterne, da standardafvigelsen ikke er større ved pløjning hvert andet år, som har den tætteste parcel til det mest modnet område, holdt op imod de andre to behandlinger. Modningen varierer henover marken.

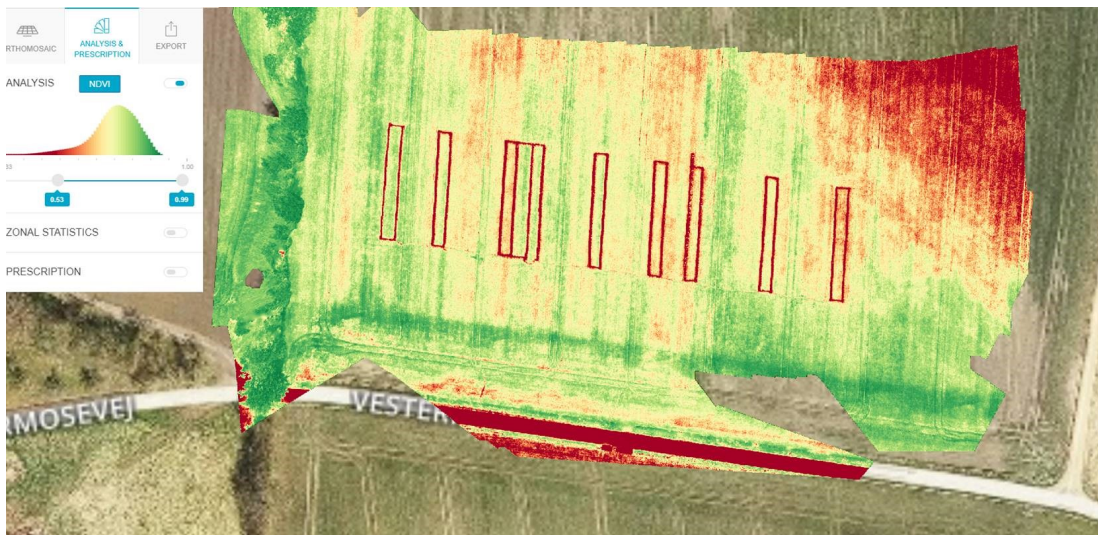
Tabel 1. Gennemsnit for NDVI- og NDRE-værdierne og standardafvigelseerne i de tre behandlinger, pløjet, direkte såning og pløjning hvert andet år. D. 19. juli 2019 med multispektralt kamera monteret på en drone.

19. juli 2019	Multispektralt droneoverflyvning			
	NDVI		NDRE	
	Gennemsnit	Standardafvigelse	Gennemsnit	Standardafvigelse
Pløjet	0,77	0,04	0,40	0,03
Direkte såning	0,76	0,04	0,42	0,02
Pløjet, 2. år	0,71	0,04	0,38	0,02





Figur 3. Oversigt over de sammenflettede RGB-billeder fra droneoverflyvningen d. 19. juli 2019 med multispektralt kamera monteret på drone. Det er muligt at se parcellerne. Fra højre mod venstre, 1: Pløjet, 2: Direkte såning, 3: Pløjet 2. år, 4: Pløjet, 5: Direkte såning, 6: Pløjet 2. år, 7: Pløjet, 8: Direkte såning, 9: Pløjet 2. år.



Figur 4. Oversigt over de sammenflettede NDVI-billeder fra droneoverflyvningen d. 19. juli 2019 med multispektralt kamera monteret på drone. Det er muligt at se parcellerne. Fra højre mod venstre, 1: Pløjet, 2: Direkte såning, 3: Pløjet 2. år, 4: Pløjet, 5: Direkte såning, 6: Pløjet 2. år, 7: Pløjet, 8: Direkte såning, 9: Pløjet 2. år.

Konklusion

Rodintensiteten i vinterhveden var større i det øverste jordlag ved pløjning, 0-25cm, mens direkte såning havde større rodintensitet i de næste jordlag, 25-100cm, og derefter havde pløjning en større rodintensitet. CNN kan ikke bruges til bestemmelse af øget rodbiomasse, da den aflæser pixel per billede, og ikke har inkluderet en masse-parameter, men den bruges til at genkende rødder udtrykt som pixel per billede pixel, og kan transformeres til cm rod med viden om billedets fysiske dimensioner. Der var ingen forskel for rodedybden for direkte såning og pløjning, men konfidensintervallet var lavere ved direkte såning dyrkning. Minirhizotronrørene var ikke tilstrækkeligt dybt nede, for at kunne følge den fulde udvikling af rødderne.

NDVI og NDRE viser ikke en forskel mellem direkte såning, pløjning hvert år og pløjning hvert andet år, ved filmning medio juli.

Litteraturliste

- Dai, X., Xiao, L., Jia, D., Kong, H., Wang, Y., Li, C. and Zhang, Y. 2014. Increased plant density of winter wheat can enhance nitrogen-uptake from deep soil. *Plant Soil* 384: 141-152.
- Rasmussen, I. S. 2015. Winter wheat root growth and nitrogen relations. PhD thesis. University of Copenhagen.
- Rasmussen, I. S. Dresbøll, D. B. and Thorup-Kristensen, K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – effects on rooth growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *Europ. J. Agronomy* 68:38-49
- Rasmussen, I. S. and Thorup-Kristensen, K. 2016. Does earlier sowing of winter wheat improve rooth growth and N uptake? *Field Crops Research* 196:10-21
- Ågren, G. and Andersson, F. (2012). *Terrestrial ecosystem ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SHARMA, D. K., TOMAR, S. & CHAKRABORTY, D. 2017. Role of earthworm in improving soil structure and functioning. *Current Science*, 113, 1064-1071.
- SMITH, A. G., PETERSEN, J., SELVAN, R. & RASMUSSEN, C. R. 2019. Segmentation of Roots in Soil with U-Net.