

Notat om erfaringer albedomålinger med radiometer

Projekt: Reflektér lyset

Rekvirent

Innovationscenter for Økologisk Landbrug P/S
Agro Food Park 26
8200 Aarhus N

Udarbejdet af

Teknologisk Institut, Skejby - Agro Food Park 15 8200 Aarhus N
Fødevarer og Produktion – Landbrug og Digitalisering
Andrés Villa-Henriksen

Sagsansvarlig

Andrés Villa-Henriksen

18. august 2025

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

1 Indledning

Formålet med dette notat er at opsummere og reflektere over erfaringerne fra både håndholdte og stationære albedomålinger, der er udført som led i projektet "Reflektér lyset" ved Innovationscenter for Økologisk Landbrug (ICOEL). Projektet undersøger, hvordan efterafgrøder kan understøtte klimaindsatsen via albedoeffekten. Til dette formål anvendes "ground truth"-målinger med radiometre som reference for analyser, der er baseret på Sentinel-2 satellitdata.

2 Udstyr og kronologiske måleaktiviteter

2.1 Radiometer

Til projektet blev der anvendt et SN-500 radiometer fra Apogee Instruments. Instrumentet består af to pyranometre, der måler indkommende og reflekteret kortbølget solstråling, samt to pyrgeometre, der måler langbølget infrarød stråling i nedadgående og opadgående retninger. Det er pyranometrene, der benyttes til beregning af albedo.

Link til brugermanualen: <https://www.apogeeinstruments.com/content/SN-500-manual.pdf>

2.2 Håndholdte målinger

- **Periode:** 16. september til 17. december 2024 (14 måledage, ca. hver anden uge).
- **Målesteder:** Tre marker på Stenalt Gods – én med bar jord og to med hver sin efterafgrødeblanding (se Figur 1).
- **Opsætning:** På hver mark blev der målt i fire faste punkter pr. gang, med mindst seks målinger per punkt, taget med ét minuts mellemrum. Radiometeret blev monteret på en to meter lang stang, 0,5 meter over overfladen. Data blev logget med en Acclima DataSnap SDI-12 datalogger og efterfølgende analyseret manuelt, før de blev videresendt til SEGES.



Figur 1. Håndholdte albedomålinger udført på de tre marker på Stenalt Gods.

2.3 Stationær målestation

- **Periode:** 23. marts til 1. juli 2025 (med afbrydelser på grund af markarbejde).
- **Målested:** Frøgræsmark på Stenalt Gods (se Figur 2).
- **Opsætning:** Radiometeret blev monteret på et stativ med en to meter lang stang, placeret 1,5 meter over overfladen. Udstyret blev styret af en soldrevet ZL6 data-logger med telemetri fra Meter Group, hvilket muliggjorde automatisk dataoverførsel til Zentra Cloud med realtidsadgang for SEGES.
- **Bemærkninger:**
 - Radiometeret blev af- og genmonteret, blandt andet i perioden 27. marts til 8. april 2025.
 - Der var desuden mindst én ukendt flytning, sandsynligvis udført af landmanden i juni måned.
 - Disse flytninger har sandsynligvis påvirket datakvaliteten, særligt hvis genmonteringen ikke blev udført korrekt.



Figur 2. Stationær albedomålestation opstillet på frøgræsmark ved Stenalt Gods.

3 Overvejelser og metodevalg i radiometer-setup:

- **Field of View (FoV) for sensorerne:** Sensorernes Field of View (FoV) på 150° for de nedadvendte sensorer udgør en praktisk udfordring ved valg af både stanglængde og højde over markoverfladen. Det er afgørende at undgå, at operatøren, stativet eller andet udstyr befinder sig indenfor sensorens synsfelt, da dette kan påvirke måleresultaterne.
 - **Valg af højde:** Faglige retningslinjer anbefaler en minimumshøjde på 1,5 meter for nedadvendte sensorer for at sikre, at målefeltet dækker et tilstrækkeligt stort og repræsentativt areal. Ved de håndholdte målinger var denne højde dog ikke praktisk mulig på grund af sensorernes brede FoV. Derfor blev der valgt en lavere højde på ca. 0,5 meter ved

håndholdte målinger. For at kompensere for det mindre dækningsareal blev der udtaget fire målepunkter, og resultaterne blev udregnet som et gennemsnit af disse målinger (se Figur 1). Den stationære målestation blev placeret i 1,5 meters højde i overensstemmelse med retningslinjerne, selvom stativets fod uundgåeligt indgik i sensorernes FoV. Da stativets dækning udgjorde en meget lille del af det samlede måleareal, vurderes indflydelsen på målingerne som minimal. For yderligere at minimere effekten blev stativets fod dækket med en jutemåtte, så refleksionen blev så lig den omgivende jord som muligt (se Figur 2).

- **Stanglængde:** Stangen var lidt over to meter lang ved både håndholdte og stationære målinger, hvilket sikrede, at operatøren ved håndholdte målinger ikke indgik i målefeltet. Det viste sig dog ikke muligt at konstruere et stativ for stationær måling, som både kunne placere sensoren i anbefalet højde og holde alt andet udenfor FoV. For eksempel ville en stang på omkring 8 meter have været nødvendig for en højde på 1,5 meter, hvilket ikke var praktisk realiserbart. Derfor blev den stationære målestation opsat med vægt på praktisk anvendelighed og minimering af utilsigtet påvirkning.
- **Placering:** Måleudstyret blev placeret frit for at undgå skygge og sikre, at arealet under sensoren var repræsentativt for det større område, hvor albedo skulle måles.
- **Sensororientering:** Radiometeret blev orienteret mod syd for at minimere azimut-fejl og undgå skygger fra stativ eller operatør i målefeltet. Det er desuden vigtigt, at radiometeret monteres helt vandret på stativet, eller så tæt på vandret som muligt ved håndholdte målinger, for at sikre korrekte og sammenlignelige data.
- **Albedomålinger:** I måledataene kunne der fra minut til minut observeres mærkbare forskelle i albedo for samme punkt, primært som følge af variationer i indkommende solstråling ved skiftende skydække. Disse kortvarige forskelle var dog mindre end de forskelle, der blev set mellem marktyper (f.eks. bar jord og efterafgrøder). På trods af vejrpåvirkninger viser resultaterne, at radiometeret stadig er velegnet til at belyse forskelle i albedoeffekt mellem afgrøder, bar jord og forskellige forvaltningspraksisser. Disse forskelle kunne ligeledes genfindes i satellitmålingerne.
- **Sensorværdier:** Det er væsentligt at forstå de forskellige sensors output og deres anvendelse. Albedo beregnes ved hjælp af data fra pyranometre

(kortbølget stråling) som forholdet mellem reflekteret og indkommende kortbølget stråling. Pyrgeometre måler derimod langbølget stråling (termisk/varmestråling) og benyttes til vurdering af energibalance og temperaturforhold, men ikke til albedoberegning.

- **Målingstidspunkt og satellitdata:** Det var næsten umuligt at matche tidspunktet for de håndholdte målinger med Sentinel-2-satellittens overflyvning, især på grund af hyppigt skydække. Dette forhindrer præcise, direkte sammenligninger. Til gengæld muliggør de kontinuerlige målinger fra den stationære målestation, at data nemt kan udvælges til at matche satellittens overflyvningstidspunkt. Dog var de målte værdier ofte for variable og upræcise til meningsfulde sammenligninger med satellitbaserede estimer.
- **Re-kalibrering:** Det anbefales at kontrollere pyranometrenes målinger af indkommende stråling mindst hvert andet år for at vurdere behovet for re-kalibrering. Kontrolmålingerne bør sammenlignes med teoretiske værdier fra f.eks. [Clear Sky Calculator](#) for at sikre instrumenternes nøjagtighed over tid.

4 Diskussion og konklusioner

Hovedformålet med opgaven var at indsamle "ground-truth"-data med henblik på at validere satellitbaserede albedoberegninger. Imidlertid viste både resultaterne fra SEGES og diskussioner med forskere, at denne validering i praksis er mere kompleks end først antaget. Det blev tydeligt, at satellitbaserede beregninger i mange tilfælde kan danne et tilstrækkeligt grundlag for at vurdere albedoeffekten mellem forskellige marker, hvis formålet blot er at sammenligne forskelle mellem arealer.

Undervejs i projektet opstod der dog usikkerhed om radiometermålingernes rigtighed, da der til tider blev registreret mere reflekteret stråling end indkommende. Sådanne resultater indikerer målefejl eller fejlkalibrering, da det fysisk set ikke er muligt at reflektere mere kortbølget stråling, end der modtages. Rutinemæssig kontrol og korrekt opsætning er derfor afgørende. Det er også vigtigt, at landmænd eller andre uden kendskab til udstyret ikke flytter på den stationære målestation, da utilsigtede ændringer kan føre til fejlmålinger. Hvis måleudstyret skal være permanent opsat, bør det integreres på en måde, så det ikke forstyrres af markarbejdet.

Radiometeret er et brugbart værktøj til at måle forskelle i albedo mellem afgrøder, jordtyper og under forskellige vejrforhold, for eksempel ved tåge, sne eller vandmættet jord (se f.eks. Figur 3). Det har dog begrænsninger, som skal tages i betragtning for at sikre, at opsætning og data er egnede til formålet.



Figur 3. Albedomålinger udført under forskellige vejrforhold.

Projektet har vist, at en stationær målestation over længere perioder kan levere værdifuld indsigt i, hvordan albedo varierer i løbet af dagen og gennem vækstsæsonen. Håndholdte målinger kan derimod give et øjebliksbillede af variationen mellem forskellige afgrøder og forvaltningspraksisser på markniveau.