

Rapport

Metoder for objektiv måling av marg i ull

Kortnavn: "Marg i ull"



Forprosjekt FFL/JA midler til utredning og forprosjekt

Theodor E.B. Skramstad

Jørgen Kongsro

Siv Heia Uldal

20. februar 2025

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	3
Bakgrunn.....	4
Materialer og metoder	8
Dyremateriale.....	8
Prøveuttak og forberedelse av prøven.....	9
Analyser foretatt i Wales og på New Zealand.....	12
Bildeanalyse og regelbasert KI	13
Resultater og diskusjon	13
Nær infrarød stråling (NIR).....	13
Mikroskopi – Synlig lys.....	17
Mulige feilkilder og diskusjon	22
Forskjellen på rå og vasket ull	22
Utfordring med overlappende ullhår.....	22
Forskjell på metoder utviklet og dagens metoder	22
Spælullprøvene ble håndtert på ulik måte	23
Utfordringer ved mikroskopering.....	23
Konklusjon og videre arbeid	23
Publisering av resultatene	24
Veien videre	24
Referanser.....	25
Vedlegg.....	26
Algoritmens trinn	26

Sammendrag

Målsettingen for forprosjektet var å gi en indikasjon på om en av de testede metodene opasitet og / eller NIRS kunne gi svar på følgende parametere (i prioritert rekkefølge):

1. Andelen marg i hvit ull
2. Gjennomsnittlig fiberdiameter
3. Andelen marg i pigmentert ull

Ideen ved å teste NIRS (Nær-InfraRød Spektroskopi) var om dette kunne gi informasjon om margandelen i pigmentert ull, noe man fra før av vet at ikke opasitet som metode ikke kan gi informasjon om. NIR som metode viste seg å ikke være effektiv med tanke på å måle marg i pigmentert ull. Det ble derfor bestemt å jobbe videre med opasitet som metode på hvit ull i resten av forprosjektperioden.

I det videre arbeidet jobbet vi derfor kun med prøver av hvit crossbredull og hvit spælull. Det ble valgt ut prøver med forventet lav, middels og høy margandel, og lav middels og høy fiberdiameter.

Det ble satt opp en algoritme som segmenterer ullfibre og marg ved å analysere gråtonene i bildet. Først fjernes støy med en filteroperasjon, før terskelverdier brukes for å binarisere bildet og skille ull fra bakgrunn. Margen, som er mørkere områder i fibre, isoleres ved å bruke lavere terskelverdier. Resultatet er et klart segmentert bilde der margprosenten kan beregnes.

Ved beregning av fiberdiameter brukes en teknikk som heter skjellettering. Man finner da fiberens senterlinje, hvor diameter beregnes ved å måle korteste avstanden til bakgrunn og gange med to. Median diameter gir et robust mål, som kompenserer for støy og variasjoner. Utfordringer oppstår ved overlappende fibre, som kan føre til overestimering av diameter. Støy og urenheter kan også påvirke nøyaktigheten, hvis segmenteringen av ull fra bakgrunn ikke har fungert. Algoritmen prøver å kompensere for dette gjennom filtrering og støyreduksjon, men videre optimalisering er nødvendig for komplekse data.

Kort oppsummert viser forprosjektet at det er mulig å finne gode metoder som objektivt måler marg i hvit ull, og til beregning av fiberdiameter. Dessverre har det ikke vært mulig å finne en metode hvor man også kan måle marg i pigmentert ull, på en objektiv måte.

Bakgrunn

Ull er en naturlig fiber som har vært brukt av mennesker i tusenvis av år. Det er kjent for sine unike egenskaper som varmeisolasjon, fukttransport og slitestyrke. Ull kommer fra sauer og andre dyr som geiter, alpakkaer og kaniner, og det finnes mange forskjellige typer ull, hver med sine egne karakteristika.

Oppbygging av ullfiberen

Ullfibre har en kompleks struktur som gir dem deres unike egenskaper. Her er en oversikt over de viktigste komponentene i ullfibrener anatomi:

- **Skjellag (Cuticle):** Ytterste laget av ullfiberen består av overlappende skjell, som ligner på takstein. Disse skjellene beskytter fiberen og gir ulla sin karakteristiske følelse og glans.
- **Bark (Cortex):** Under skjellaget ligger barken, som utgjør hoveddelen av fiberen. Barken består av to typer celler: ortokortikale og parakortikale celler. Disse cellene er ansvarlige for ullas krusning og elastisitet.
- **Marg (Medulla):** Noen ullfibre har en sentral kanal kalt marg. Margen består av luftlommer som kan være sammenhengende eller oppdelt i små segmenter. Det er sannsynlig at marg i ulla er positivt mtp. isolasjonsevnen til ulla for sauen, men denne strukturen kan gjøre fibre sprøere og mindre elastiske noe som er negativt for ullindstrien
- **Proteiner:** Ull består hovedsakelig av keratin, et protein som også finnes i menneskehår og negler. Keratin gir ullfibrene styrke og fleksibilitet.

Hvorfor velge ull framfor andre materialer?

- **Varmeisolasjon:** Ull er utmerket til å holde på varmen, noe som gjør det ideelt for vinterklær.
- **Fukttransport:** Ull kan absorbere fuktighet uten å føles våt, noe som bidrar til komfort ved å holde huden tørr.
- **Elastisitet:** Ullfibrene kan strekkes og bøyes uten å miste formen, noe som gir plaggene lang levetid.
- **Naturlig motstandsdyktig mot lukt:** Ull har antibakterielle egenskaper som gjør at det motstår lukt, selv etter lang tids bruk.
- **Holdbarhet:** Ull er et slitesterkt materiale som tåler mye bruk og vask.
- **Bærekraftig:** Ull er et fornybart og biologisk nedbrytbart materiale, noe som gjør det til et miljøvennlig valg.

Ullas unike anatomi og egenskaper gjør det til et allsidig og verdifullt materiale for en rekke bruksområder, fra klær til hjemmetekstiler.

Klassifisering av ull

Norsk ullstandard består av 16 klasser. Den er delt inn etter ulltype, hvit/pigmentert ull, samt kvaliteten på ulla. Marg er en av egenskapene som vurderes. Man skiller mellom flekkmarg (små hvite luftlommer i ullfiberen) og heltrukken marg (luftstreng som går gjennom mer eller mindre hele ullfiberens lengde. I førstesorterings ull skal det ikke være enn 0,3 % heltrukken marg og/eller 3 % flekkmarg. Marg kvantifiseres ved å telle antall fibre med marg i et gitt område.

Fiberdiameter, stapellengde, gulhet (gjelder hvit ull), spenst, innhold av vegetabiler, samt filting er også egenskaper som ullklassifisørene vurderer når de klassifiserer ull. Nøyaktig vurdering av ullas kvalitet er essensielt for å sikre rettferdig betaling til produsent. Dette er viktig for norsk ullproduksjon, da det bidrar til å opprettholde høy standard og konkurranseevne i markedet.

Avlsarbeid for bedre ullkvalitet.

Værlamkåring (utstilling) er første steg i utvalget av avlsværer. Kåringa danner grunnlaget for det videre utvalgsarbeidet på hanndyrsida.

Ullmengde og ullkvalitet er to av egenskapene som vurderes på kåringa. Skalaen er slik at 10 er høyeste karakter, mens 6 er laveste karakter værlammet kan ha for å kunne bli kåret på ordinær måte.

Kåringsdommeren vurderer ulike egenskaper ved ulla; fiberdiameter, spenst, glans, mengde, mm. For å kontrollere om det er marg i hvit ull tar dommeren en prøve fra dyrets kryss, og ser på den i lupe. Margen vises som hvite eller lyse områder. For de fleste sauerasene er regelen at dyr med marg i ulla ikke skal kåres.

Det er ikke mulig å påvise marg ved bruk av lupe for dyr med mørk pigmentert ull. I lys pigmentert ull kan man se marg.

Poengene for ullmengde og ullkvalitet brukes ved utvelgelse av avlsdyr. Arvbarheten på disse egenskapene er høy. Dersom man benytter dyr med god score på ull, øker man sjansene for avkom som også har god ullkvalitet. Det er viktig å huske at man også bør velge søyer med gode ullegenskaper, for å sikre best mulig ullkvalitet hos avkommene.

For dyr av rasene norsk kvit sau, kvit spælsau og sjeviot, som får beregnet en avlsverdi, inngår egenskapene ullmengde og ullkvalitet. Beregning skjer med utgangspunkt i informasjon om dyret selv, samt informasjon om slektninger. I slaktesesongen på

høsten har man informasjon om hvilke feller som tilhører hvilke slaktedyr. Informasjon om disse slektningsenes ullvekt og kvalitetsklasse brukes for å få best mulig sikkerhet rundt avlsdyrets avlsverdi.

Svakheten ved disse dataene er at ullklassen bestemmes ut ifra både genetiske og miljømessige faktorer. En ullfell kan for eksempel klasseres ned i 2. sortering fordi det er for mye vegetabiler i fellen. Dette sier da lite om de genetiske egenskapene ved selve ulla. Blir derimot fellen klassert ned fordi ulla er for grov, eller for margholdig, sier det mye om kvaliteten på selve ulla. En avlsvær hvor mange av avkommene har gått i skogsterreng, og fått nedklassifisert ulla grunnet mye vegetabiler, kan få en ufortjent lav indeks for ullkvalitet.

Industriens behov

Det siste tiåret har bruken av norsk ull økt betydelig. Rauma Ullvarefabrikk har brukt mye norsk ull i mange år, og de etterspør stadig mer. 2015 begynte Gudbrandsdalens Ullvarefabrik igjen å lage bunadstoffer av norsk ull. Etterspørselen etter strikkegarn av norsk ull øker, og det produseres stadig nye produkter av norsk ull, som for eksempel sko. Hvert år etableres det nye mikrosponnerier, og de store industriaktørene melder nå om mangel på førstesortering norsk ull.

Fiberdiameter og margprosent er viktige egenskaper for ullindustrien. Hvert år tas det prøver av den ulla som blir klassifisert på ullstasjonene rundt omkring i landet. Disse sendes i dag til Wales for analysering. Statistikk fra 2007 viser at margandelen i ulla er bortimot doblet siden 2007 og frem til i dag. Dette bekymrer både ullstasjonene og den norske ullindustrien. Margholdig ull tar farge dårligere enn margfri ull. Margholdig ull er også mindre slitesterk.

Ulike metoder for å måle ullkvalitet

Moderne metoder for måling av ullkvalitet har utviklet seg betydelig og inkluderer flere avanserte teknikker for å sikre nøyaktighet og pålitelighet.

En av de mest fremtredende metodene er mikroskopisk analyse av bilder ved bruk av lys i synlig spektrum. Metoden brukes for å undersøke ullfibrenes struktur, inkludert diameter og tilstedeværelse av marg. Dette gir en detaljert forståelse av fibrenes kvalitet og egenskaper. OFDA (Optical Fibre Diameter Analyser) er en metode som brukes til å måle diameteren på fibre, spesielt ull, på en rask og presis måte. OFDA

bruker bildeanalyse av mikroskopi-bilder for å bestemme fiberdiameterfordelingen i ullprøver¹

NIR-spektroskopi (Nær-infrarød spektroskopi), eller NIRS, er en ikke-destruktiv metode som bruker nær-infrarødt lys for å analysere ullas kjemiske sammensetning. Denne teknikken kan gi informasjon om fuktighetsinnhold, fettinnhold og andre viktige egenskaper. Nær-infrarødt lys, er lys med en bølgelengde mellom 800 og 2,500 nanometer. I det elektromagnetiske spekteret ligger det nær-infrarøde området mellom synlig og infrarødt lys.

NIRS er en nyttig analyseteknikk fordi ulike molekyler absorberer og reflekterer nær-infrarødt lys i ulik grad. Når molekyler absorberer energi fra nær-infrarødt lys, blir denne energien omdannet til kinetisk energi. Som et resultat beveger atomene i molekylene seg raskere, bøyer, strekker seg eller roterer ved siden av hverandre. Jo mer lys som absorberes av molekyler, jo mindre lys blir igjen for å bli reflektert. Den nær-infrarøde delen av lysspekteret absorberes primært av bindinger mellom hydrogen, karbon, oksygen, nitrogen og svovel. Slike kjemiske elementer finnes i vann og forbindelser som fett, proteiner og cellevegger. (Kilde: Eurofins)

Nær-infrarød spektroskopi (NIRS) kan være en effektiv metode for å måle kvaliteten på ull. Denne teknologien bruker nær-infrarødt lys for å analysere ullas kjemiske sammensetning og fysiske egenskaper. Cozzolino et al. viste at NIRS sammen med synlig lys kan gi en nøyaktig måling av fiberdiameter i ren ull, men er noe mer krevende for ull med mye fett, for eksempel uvasket ull som i dag er det man analyserer på kåringer. Spørsmålet er om kvalitet på ull knyttet til marginnold kan måles nøyaktig ved bruk av NIR. Gishen & Cozzolino (2007) viste potensialet til NIR-spektroskopi som en rask, ikke-destruktiv metode for å vurdere ullkvalitet til alpakka. Mangelen på fett i alpakkaull kan gjøre denne teknikken egnet for rask måling i av ull fra alpakka. Chen et al. konkluderte med at NIRS er effektiv for kvalitativ påvisning av forskjellige typer ull og kashmirfibre og gir fordeler i forhold til tradisjonelle metoder ved å være raskere, ikke-destruktiv og kreve mindre prøveforberedelse. Dette gjorde at vi ønsket å undersøke potensiale til NIRS og ullkvalitet vurdert etter marginnold i norsk ull.

Disse metodene representerer “state of the art” innen måling av ullkvalitet og bidrar til å sikre at ullprodukter oppfyller høye standarder for både produsenter og forbrukere. I dette forprosjektet ønsker vi å teste de teknologiene vi har tilgjengelig i dag, som er synlig-lys-mikroskopi og NIRS.

For å sikre nøyaktighet i målingene, brukes både manuelle metoder og bildeanalyseprogramvare. Resultatene uttrykkes som en prosentandel av fibre som inneholder marg. I dette arbeidet ble det benyttet en regelbasert tilnærming innen

¹ Baxter, Brims, og Taylor, «Description and Performance of the Optical Fibre Diameter Analyser (OFDA)».

kunstig intelligens (KI). Regelbasert KI bruker forhåndsdefinerte regler og logikk for å ta beslutninger og utføre oppgaver. Denne tilnærmingen er spesielt nyttig i analyser av biologiske strukturer, som marg i ullfibre. Ved å kombinere domeneekspertise med automatiserte prosesser, kan regelbasert KI tilby presise og reproduserbare analyser som er forståelige for ikke-tekniske brukere.

Hensikt og mål med forprosjektet er å gi en indikasjon på om en av de tilgjengelige metodene rundt mikroskopi og / eller NIRS kan gi svar på følgende parametere: (i prioritert rekkefølge):

1. Andelen marg i hvit ull
2. Gjennomsnittlig fiberdiameter
3. Andelen marg i pigmentert ull

Materialer og metoder

Dyremateriale

I Norge deles ulla inn i tre ulltyper; ull fra crossbred, spæl og pelssau. De to førstnevnte deles inn hvit og pigmentert ull, mens pelssauull finnes i ulike nyanser av grått.

Crossbredull: Langhala sauer betegnes som crossbredraser. Ull fra disse rasene utgjør omtrent 80 % av mengde innlevert ull. Disse rasene har ikke dekkhår, kun underull. God crossbredull skal være myk, krusete og ha god spenst. Størstedelen av den norske crossbredulla har fiberfinhet på 25-40 my (tusendels millimeter). Denne ulltypen brukes mye til strikkegarn, men også til pledd, møbelstoffer og bunadstoffer.

Spælsauull: Korthala sauer betegnes som spælsauer. Ull fra disse rasene utgjør omtrent 20 % av mengde innlevert ull. Disse rasene har fell som består av minst to typer ullhår: Dekkhår og kortere, finere bunnnull. God spæull har lange, myke og glansfulle dekkhår, og vesentlig kortere og finere bunnnull. Fiberfinheten på dekkulla varierer fra under 50 my (tusendels mm) til over 100 my. Bunnnulla kan være finere enn 20 my. Ulla er slitesterk og brukes mye til broderigarn og strikkegarn.

Pelssauull: Ulla til pelssauen består av kun dekkhår, Bunnnulla er avlet bort. Ulla skal være myk og glansfull, med god lokk/krøll. Den skal ikke være kruset som hos crossbredrasene eller slett som hos spælsauene. Fargen varierer fra lys grå til mørk gråblå. Denne utgjør per i dag mindre enn 1 % av total mengde innlevert ull, men etterspørselen strikkegarn av pelssauull har vært økende de senere årene

Ulla som er beskrevet ovenfor er førsteklases ull av de ulike typene. Det ble plukket ut prøver med finfibret ull, middels finfibret ull, og grov ull. I hver av disse kategoriene ble det tatt ut prøver med lite marg, noe marg og mye marg

Det ble gjennomført flere runder med prøvetaking. I første runde ble det gjennomført screening av både pigmentert ull og hvit ull, av alle tre ulltypene crossbredull, spælull og pelsull. Metoder som var tilgjengelig til bruk i forprosjekter var synlig-lys mikroskopi i laboratorium hos Animalia og NIR hos Nofima på Ås.

Allerede i første prøverunde så man at måling av marg i pigmentert ull ikke er praktisk mulig verken med mikroskopi eller NIR, så det ble bestemt å fokusere på hvit ull i resten av forprosjektperioden.

Prøveuttak og forberedelse av prøven

Bruk av NIR (nær infrarød stråling)

Prøvene til første testrunde ble i hovedsak tatt ut på ullstasjonen på Forus. Det ble til sammen tatt ut 34 prøver. Av disse var det 21 prøver av hvit ull, og 13 prøver av pigmentert ull. Det ble tatt ut prøver av både crossbredull (hvit og pigmentert), spælull (hvit og pigmentert) og pelsull (pigmentert). Ulla var fra svært finfibret til meget grov, og andelen marg var fra lite til mye.

Tabell 1 Tabellen viser oversikt over prøvene av hvit ull, og en kvalitetsvurdering foretatt av Fagtjenesten for ull

Prøvenr.	Margandel	Karakter	Fargedybde
H01	Mye	Crossbredull (?) med skitne tupper. Mye marg. Grov	Lys gul
H02	Mye	Svartfjes, grov, margholdig	Hvitish
H03	Mye	CB. Grov ull	Lys gul
H04	Lite?	Texel? Lite slitesterk. Middels spenst og middels my	Hvit
H05	Litt	Bra spælull. Litt dødthår i bunnull	Hvit
H06	Litt	Grov ull. Krysning? Litt flekkmarg	Hvit/lys grå
H07	Ingenting	Nydelig klassisk C1. Finfibret og god spenst	Hvit
H08	Mye	Svartfjes, grov, margholdig, Svarte hår i fellen	Lys gulbrun
H09	Middels+	Tilsynelatende fin spælull, men en del marg og dødthår	Hvit
H10	Lite?	Gul, ganske grov. Kunne vært A1, men litt mye glans (krysning) og litt for grov	Gul
H11	Lite?	Texel? Fin ull, middels finfibret. God spenst, men lav slitestyrke	Hvit
H12	Ingenting	Finfibret, god spenst, hvit og fin	Hvit
H13	Ingenting	Veldig finfibret. God spenst. Litt skitten og gul	Litt gul
H14	Ingenting	Svært finfibret suffolk	Gulbrun
H15	Mye	Både heltrukken marg og flekkmarg i dekkull Ganske grov.	Hvit
H16	Ingenting	Superfinfibret. God spenst	Gulbrun
H17	Lite?	Texel? Lite slitesterk. Lite spenst og ganske grov. Gul	Gul
H18	Lite	Grov, dårlig spenst, lite slitesterk, men også lite marg	Ganskehvit/lys grå
H19	Middels+	Både heltrukken marg og flekkmarg. Ganske grov. Helårsull	Gul
H20	Veldig mye	Grov, stri, margholdig, nesten grisebust	Gul, mulig pigmenterte hår
H21	Mye	Islandsk spælull med mye marg	Hvit

Tabell 2 Tabellen viser oversikt over prøvene av pigmentert ull, og en kvalitetsvurdering foretatt av Fagtjenesten for ull

Prøvenr.	Margandel	Karakter	Fargedybde
P1	trolig lav	Middels fiberdiameter, lite spenst, men myk	Middels/lys
P2	ukjent	Typisk pels, men lite glans. Litt filtet. Grovere e enn P3	Middels
P3	lav	Typisk pels, men lite glans	Gråsjattering, middels dybde
P4	lav	Lys bunnnull, grå dekkull, god spælull. Ganske finfibret	Lys bunnnull, grå dekkull
P5	ukjent	Ganske finfibret, ganske god spenst, skitne tupper. Lite slitesterk.	Mørk brun
P6	lav	Finfibret, meget god spenst. God ull	Mørk brun, nesten svart
P7	lav	Middels finfibret, middels spenst, skitne tupper	Mørk brun
P8	Middels	Typisk pels, men lite glans. Filtet. Grovere e enn P3	Gråsjattering, middels dybde, gulnet
P9	Mye	Mørk spælull, med grå hår. Grove dekkhår	Mørk
P11	lav	Middels finfibret, ganske god spenst, skitne tupper	Mørk brun
P12	mye	Grov og sprø ull, men noe spenst. Crossbred	Grå
P12bunn	middels	Lys bunnnull, grå dekkull, middels spælull. Middels finfibret	Lys bunnnull, grå dekkull
P12dekk	middels	Lys bunnnull, grå dekkull, middels spælull. Middels finfibret	Lys bunnnull, grå dekkull
P13	ukjent	Grå, middels spenst, middels fiberdiameter	Gråbrun, middels fargedybde

Prøvene ble tatt med til Nofima på Ås. Hensikten var å undersøke om NIRS er en metode som er hensiktsmessig for å måle fiberdiameter og margprosent i ull. Det var knyttet mest spenning til om metoden kunne brukes på pigmentert ull, da synlig lys ikke kan benyttes for å måle marg i mørk pigmentert ull.

Analysene ble i hovedsak gjort på uvasket ull. Mot slutten av dagen ble enkelte prøver vasket med Zalo, tørket med papirhåndkle, og så analysert på nytt.

Forsøket var et begrenset screening-forsøk og var designet for å finne om NIRS kan fange opp variasjon i marg i ull. Resultater må sees i lys av dette.

Bruk av opasitet (synlig lys)

Synlig lys gir ingen informasjon om marg i mørk pigmentert ull. For å få dette endelig bekreftet, så vi på enkelte av prøvene fra testrunden ved bruk av NIR, også i mikroskop.

I testrunden hvor opasitet var metoden, ble det derfor kun tatt ut prøver av hvit ull. Det ble satt opp en forsøksplan for å samle mest mulig informasjon om gitte parametere som grovhet på fiber (diameter) og marg i ull.

Mangler på tid og ressurser gav ikke anledning til å samle sammen ull fra kåringer rundt omkring i landet. Det ville heller ikke gitt oss det spekteret vi trengte av ulike kvaliteter, da dyrene som fremvises på kåring jevnt over er av god type.

Det ble tatt ut totalt 68 prøver etter følgende prøvedesign:

Hvit crossbredull

	Lite marg	Noe marg	Mye marg
Finfibret ull	5 gjentak	5 gjentak	5 gjentak
Middels fiberdiameter	5 gjentak	5 gjentak	5 gjentak
Grov ull	5 gjentak	5 gjentak	5 gjentak

Hvit spælull

	Lite marg	Noe marg	Mye marg
Finfibret ull	2 gjentak	2 gjentak	2 gjentak
Middels fiberdiameter	2 gjentak	2 gjentak	2 gjentak
Grov ull	2 gjentak	2 gjentak	2 gjentak

Det ble tatt ut flere prøver av crossbredull enn av spælull av to grunner. Crossbredull utgjør 80 % av all ull innlevert på ullstasjonene. Det er også hvit crossbredull som er mest etterspurt av industrien.

Prøvene ble hentet inn fra Nortura Rudshøgda og Norilia ullstasjon på Gol. Det skulle vise seg vanskelig å finne finfibret crossbredull med mye marg, men mot slutten av prosjektperioden fant klassifisørene ved Fatland Ølen to slike prøver. Disse kom derimot for seint til å bli analysert sammen med de andre.

Ullprøvene ble plukket fra kasser med ferdig klassifisert ull på de ulike ullstasjonene, uten fokus på hvor på dyret prøven kom fra. Enkelte prøver stammer også fra frasortert ull (ull fra lår, buk og hale). Hvor på dyret prøvene kommer fra har liten betydning når målet er å teste om en metode gir resultater, eller ikke.

Det ble brukt lupe ved utvelgelsen av de ulike prøvene. Lupa som ble benyttet er lik den kåringsdommerne i dag benytter på kåring for å lete etter marg i ulla.

Hver ullprøve ble etterpå blandet, og delt i tre. En del ble sendt til Wales og deretter til New Zealand for analyse, en del ble analysert hos Animalia, og den siste delen ble lagt på lager, som en back-up.

Ved gjennomføring av selve analysen tok man ut en liten del av prøven, og spredte ullhårene godt utover. Det er om å gjøre at det ligger færrest mulig hår oppå hverandre. Dette kan i så fall gi misvisende resultater, spesielt hva måling av fiberdiameter gjelder.

Mikroskopi

Mikroskopi er en viktig metode for å vurdere kvaliteten på ull. Her er noen måter mikroskopi brukes på i denne sammenhengen:

1. **Fiberdiameter:** Ved hjelp av mikroskopi kan man måle diameteren på ullfibrene. Finere fibre gir ofte mykere og mer verdifull ull. Mikroskopet gir nøyaktige målinger som er avgjørende for klassifisering av ullkvalitet
2. **Marg:** Ullfibre har en ytre skjellstruktur som kan påvirke ullas egenskaper, som glans og følelse. Mikroskopi gjør det mulig å studere denne strukturen i detalj, noe som hjelper til med å identifisere og klassifisere ulike typer ull

Mikroskopi gir en detaljert og nøyaktig analyse av ullas egenskaper, noe som er avgjørende for å sikre høy kvalitet i ullprodukter. I dette forprosjektet ønsker vi å teste

ulike former for belysing (synlig lys) av prøven. Når det gjelder marg i ull, viser det seg at opasitet eller gjennom lysing er viktig, og vi har dermed testet både belysing ovenfra og under for gjennomlysing av ull. OFDA (Optical Fibre Diameter Analyser) er en metode som benyttes bl.a. av laboratoriet Fagtjenesten for ull har benyttet som referansemetode.

Analyser foretatt i Wales og på New Zealand

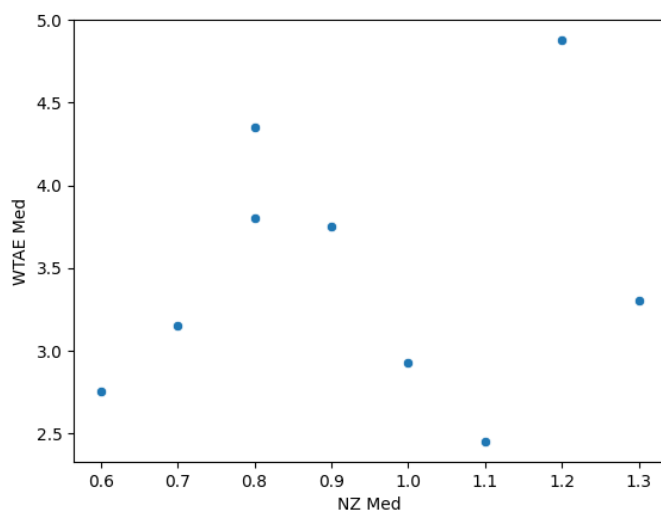
For å ha en form for «fasit» i forprosjektet ble det foretatt målinger av marg og fiberdiameter på sertifiserte ulllaboratorier.

Det finnes kun fem sertifiserte ulllaboratorier i verden i dag. Fagtjenesten bruker i dag laboratoriet i Wales ved kontroll av klassifiseringen gjort på ullstasjonene.

For internasjonalt viktige parametere som for eksempel fiberdiameter kalibreres alle laboratoriene to ganger i uka. Da brukes det standard tops med absolutte mikronverdier. Alle laboratorier bruker samme serie med tops² som skiftes hvert 5. år. Det finnes ingen slike referansestandarder for margtesting, så alle maskiner er kalibrert annerledes.

Trolig blir ikke kalibrering av maskiner for testing av marg prioritert fordi saueullindustrien er dominert av australsk merino og marg er ikke et problem for dem. Dette har resultert i at dagens teknologi har blitt utdatert og ikke blitt utviklet.

Det er OFDA 100 for å måle marg. Apparatet i Wales sluttet å virke høsten 2024. Dermed ble prøvene sendt til New Zealand for måling av marg.



Figur 1 Figuren viser at det er liten sammenheng mellom målinger av marg gjort på New Zealand (X-aksen) og Wales (Y-aksen)

² Tops er et halvfabrikat ved produksjon av kamgarn. Det ser ut som en lang ullpølse

Prøvene som ble sendt til New Zealand viste mye lavere margprosent enn forventet. Laboratoriet i Wales sendte også noen kjerneprøver fra tatt på ullstasjonene våren 2024, med kjent resultat for marg til New Zealand for kontroll. Det viste seg å være liten sammenheng mellom margmålingene foretatt i Wales og på New Zealand. Se figur 1

Måling av fiberdiameter ble utført i Wales, som vanlig

Bildeanalyse og regelbasert KI

Bildeanalyse og regelbasert kunstig intelligens (KI) kan effektivt brukes til å måle kvaliteten på ull basert på input fra metodene nevnt over. Her er en oversikt over hvordan disse teknologiene kan anvendes:

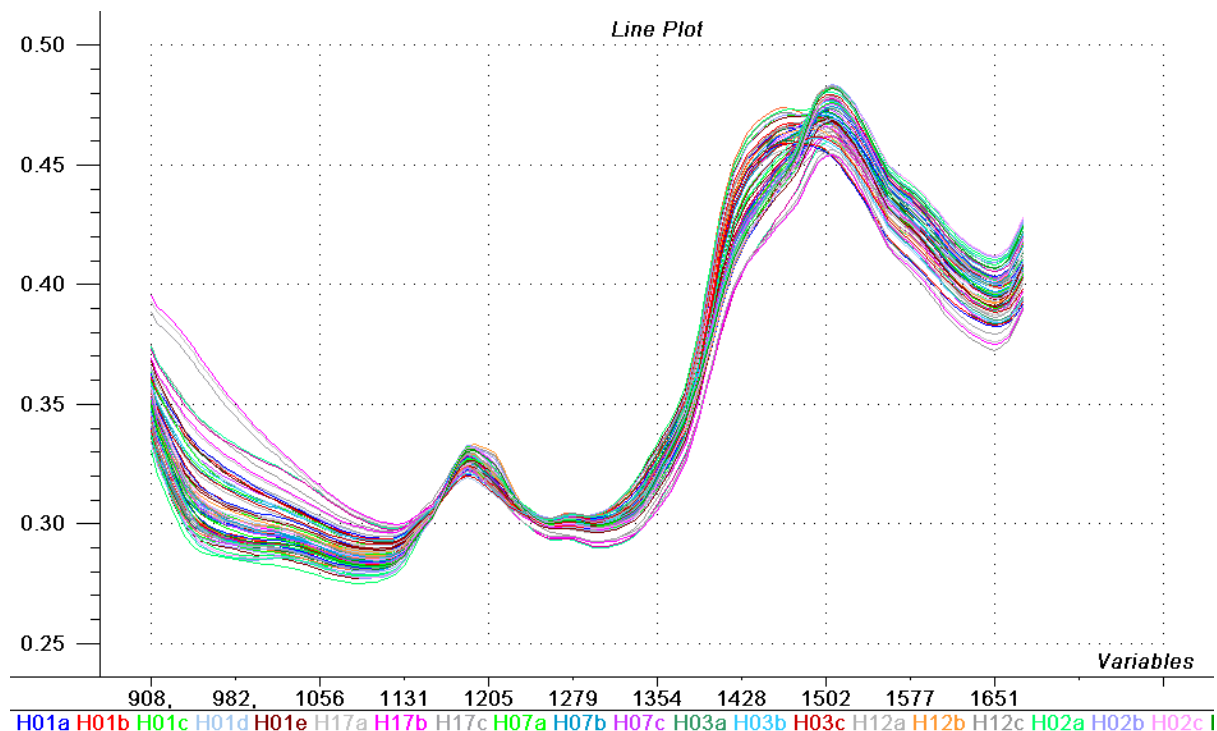
Et digitalt bilde av ull fra eksempelvis et mikroskop, kan forstås som et strukturert datasett der hver piksel representeres av numeriske verdier i en matrise. For gråtonebilder består dette av én matrise hvor hver verdi varierer fra 0 (svart) til 255 (hvitt), som indikerer pikselens lysstyrke. Fargebilder består av tre matriser som representerer intensiteten av de tre grunnfargene rød, grønn og blå (RGB). Ved å kombinere disse tre matrisene dannes den opplevde fargen i hver piksel. Denne strukturen gjør bilder egnet for matematisk behandling og analyse.

Resultater og diskusjon

Nær infrarød stråling (NIR)

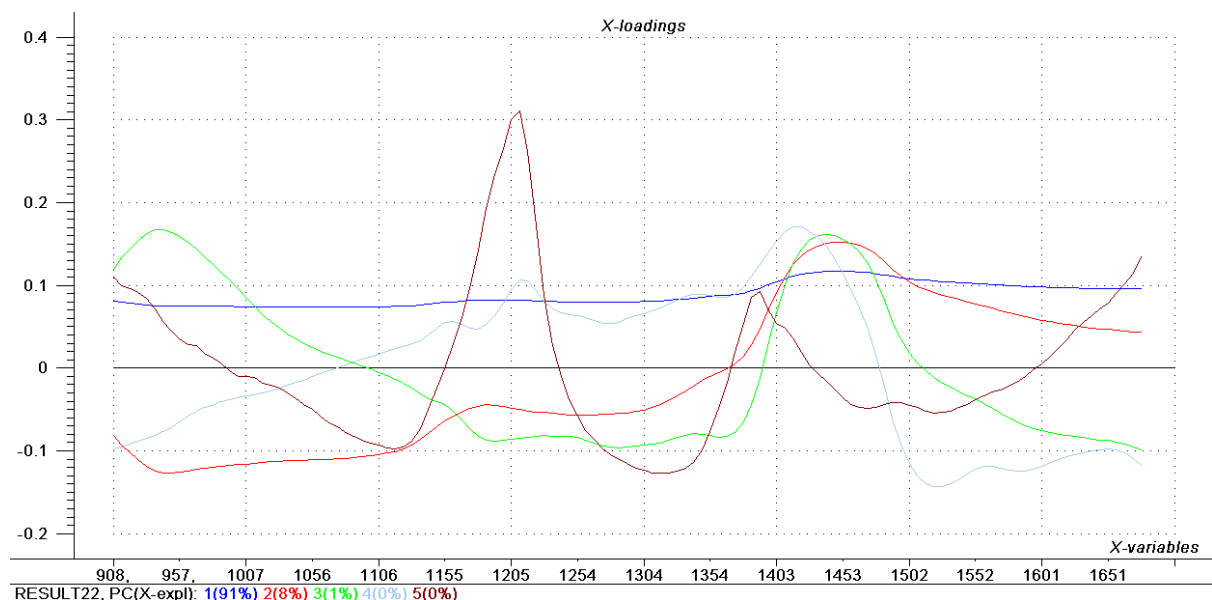
Analyse av hvit ull

I vårt forsøk ønsket vi å se om signaler fra NIRS kunne gi noe som helst informasjon om marg i ull. Forsøket var satt opp svært enkelt, der vi scannet prøver med ulikt marginnhold. Hensikten var en screening, og resultater må sees i lys av dette.



Figur 2 Absorpsjonsspektra for hvit ull for ulike bølgelengder i spekteret for NIR. X-aksen viser bølgelengde, målt i nanometer (nm), mens Y-aksen viser absorpsjonsraten

Figur 2 viser prøver av hvit ull. Hvert nummer er én prøve, mens bokstaven bak tallet indikerer gjentak. Toppene rundt 1450 og 1508 nm er knyttet til protein, mens toppen rundt 1180 nm er knyttet til fett

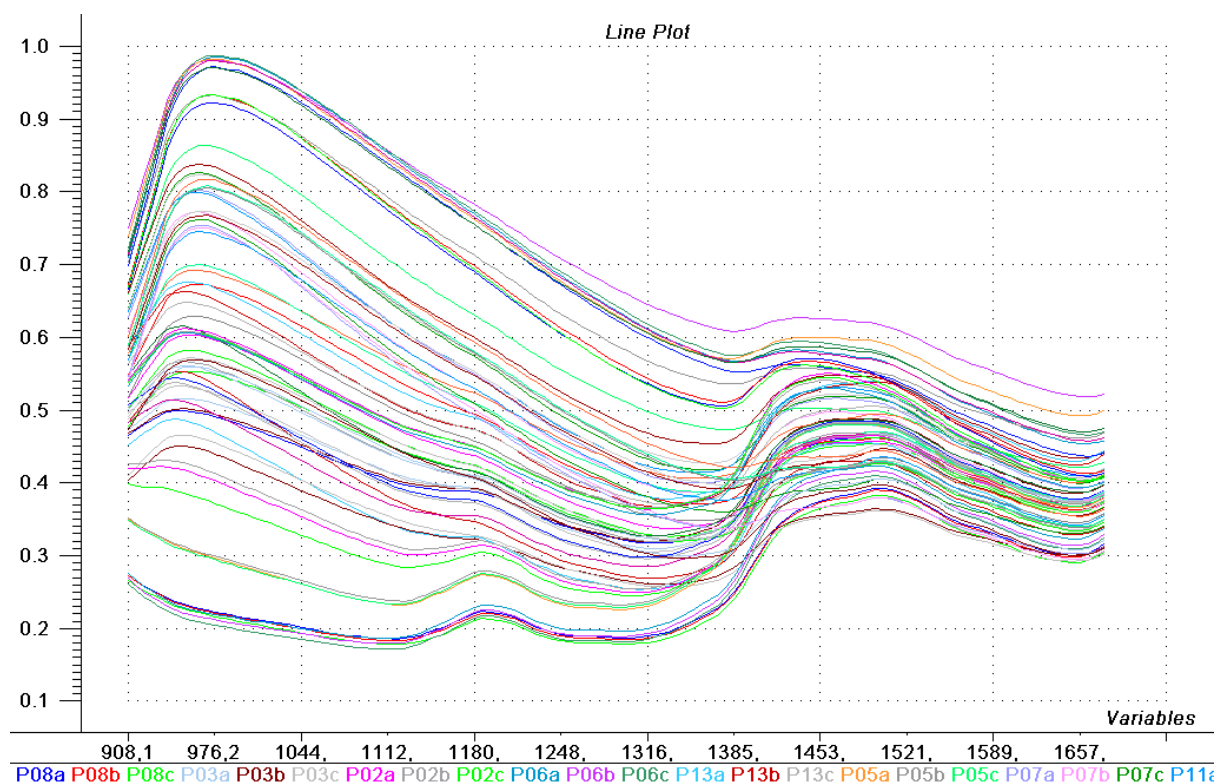


Figur 3 Spektrale komponenter som beskriver variasjon mellom prøver av hvit ull ved bruk av principal component analysis (PCA).

Ved å bruke multivariat analyse (Principal Component Analysis, PCA), prøve vi finne elementer som forklarer variasjonen i spektra fra ull. Den største komponenten, PC1

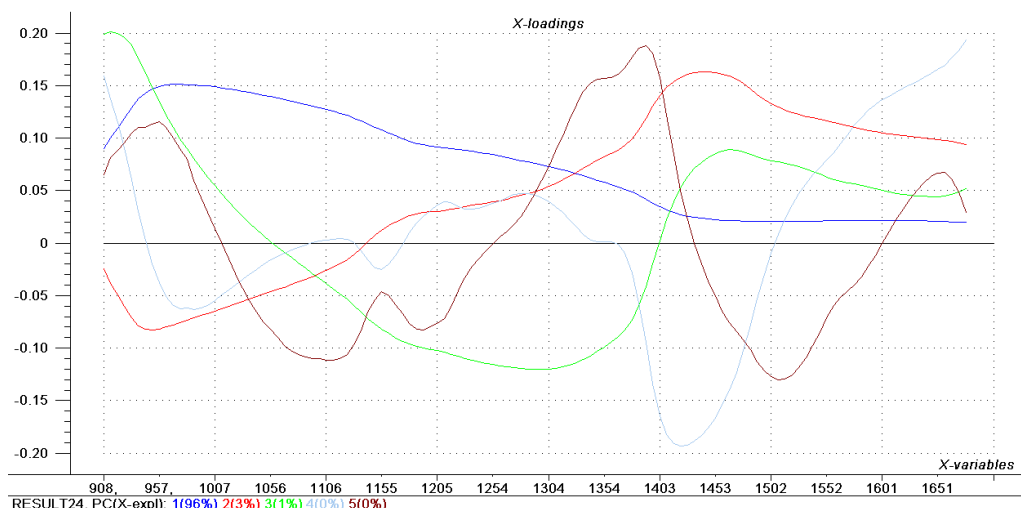
(blå linje), forklarer 91 % av variasjonen, og er her et mål på gjennomsnittlig absorpsjon. Jo høyere den er, desto mere lys er absorbert av prøvene. De andre komponentene forklarer lite av variasjon (8 % og mindre) og er vanskelig å tolke. Hovedvariasjonen i spektra fra hvit ull forklares da av gjennomsnittlig absorpsjon gjennom alle bølgelengdene.

Analyse av pigmentert ull



Figur 4 Absorpsjonsspektra for pigmentert ull for ulike bølgelengder i spekteret for NIR.

Figur 4 viser plottet for de pigmenterte prøvene. Toppene rundt 1450 og 1508 nm er der som på hvit ull. Toppen ved 1180 nm er der på noen prøver. Ellers er den kraftige absorpsjonen knyttet til pigmentene. Svarte prøver hadde svært høy absorpsjon i området 908 – 1300 nm. Det kan virke som om dette dekker over annen kjemisk informasjon.



Figur 5 Spektrale komponenter som beskriver variasjon mellom prøver av pigmentert ull ved bruk av principal component analysis (PCA).

PC1 (blå linje) i figur 5 forklarer 96 % av variasjonen, og er her et mål på gjennomsnittlig absorpsjon. Jo høyere den er, desto mere lys er absorbert av prøvene. De andre komponentene forklarer lite av variasjon og er vanskelig å tolke. Effekt av absorpsjon og bølgelengde synes å falle litt ved økende bølgelengder på farget ull. Dette kan være en effekt av pigmentet som absorberer mest ved bølgelengder som er nærme synlig lys (400 til 750 nm). Vi kan finne igjen noen av komponentene fra hvit ull, men disse fra pigmentert ull er dominert av pigment.

Pigmentert ull er krevende å måle med spektroskopiske metoder, mye grunnet at mørkt pigment synes å overskygge det meste av informasjon som finnes i dette spekteret, også marg. Pigmentering vil forstyrre og i verste fall hindre kvantifisering av opasitet som vi har identifisert som noe av nøkkelen for å måle marg i ull.

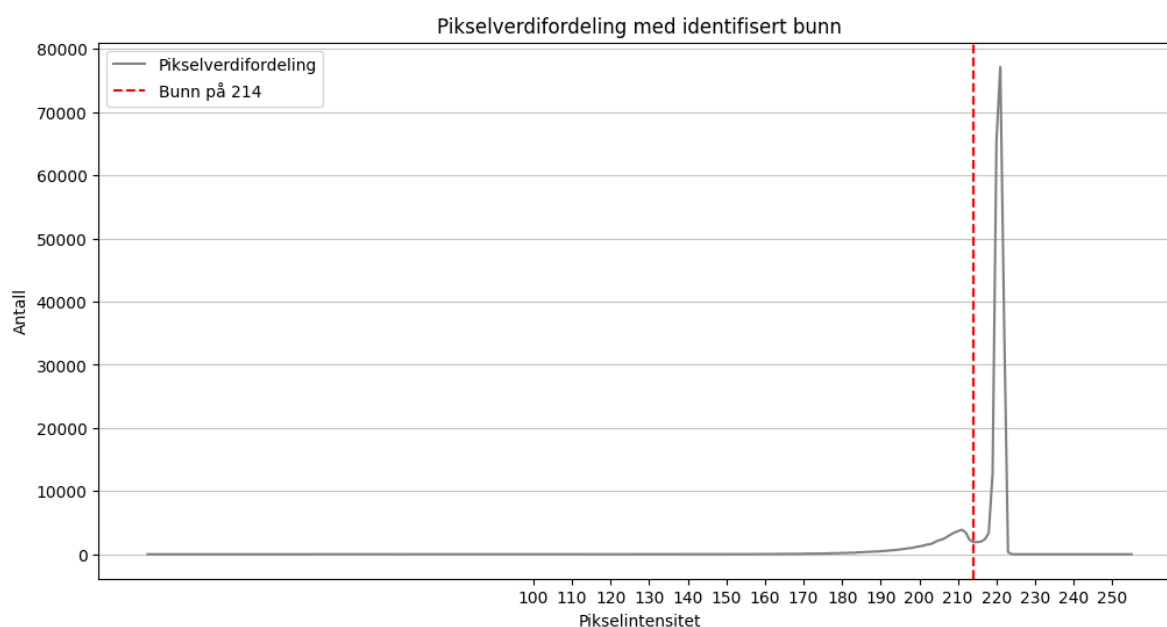
Testing av NIR som metode handlet i all hovedsak om å finne ut om metoden var egnet for å måle marg i pigmentert ull. Vi undersøkte ikke NIRS og måling av fiberdiameter. Gishen & Cozzolino (2007) fant en god sammenheng mellom NIR-målinger med bølgelengder 1100 til 2500 nm og gjennomsnittlig fiberdiameter. Dette var som sagt på ull fra alpakka som ikke har noe fett eller lanolin knyttet til fibre som kan forstyrre målinger. Det finnes en rekke begrensninger og viktige punkter for bruk NIRS. NIRS-instrumenter må kalibreres ved hjelp av et bredt spekter av ullprøver med kjente egenskaper for å sikre nøyaktige prediksjoner (woolwise.com, 2014). Noen studier har fokusert på hvit eller lys ull, og ytterligere forskning kan være nødvendig for mørke fibre (Gishen & Cozzolino, 2007). Selv om NIRS er lovende, anses NIRS ofte som en semi-kvantitativ metode for screeningformål, og erstatter kanskje ikke fullt ut tradisjonell laboratorietesting i alle tilfeller.

Avslutningsvis tilbyr NIRS et kraftig verktøy for rask og ikke-destruktiv vurdering av ullkvalitet og marg i ull. Dens evne til å måle flere parametere samtidig og potensialet for online-integrasjon gjør den til en verdifull teknologi for ullindustrien, fra

avlsprogrammer til tekstilproduksjon. Mer forskning kreves for å undersøke dette nærmere, selv om vi fant det ikke var egnet å bruke NIRS i våre forsøk i denne rapporten. Mer detaljert prøvetaking og bruk av NIRS i mikroskopi kan være en vei videre for å finne bedre sammenhenger mellom marg i ull, diameter og NIRS.

Mikroskopi – Synlig lys

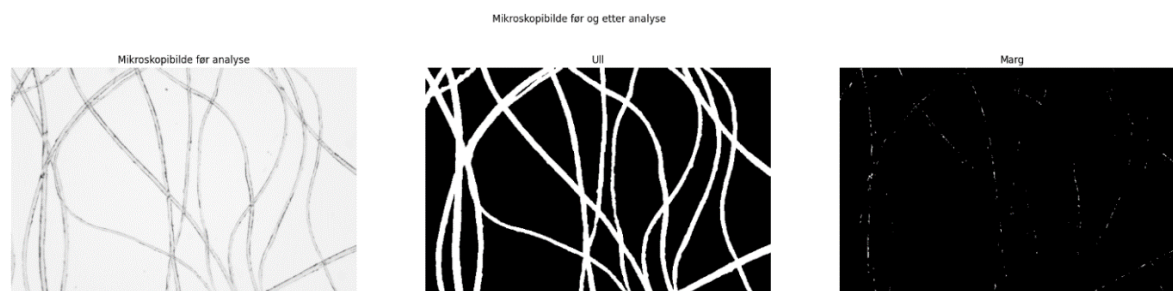
En annen metode som ble utforsket var mikroskopi av synlig lys. Tanken var å bruke opasitet til å si noe om marginholdet og muliggjøre segmentering av ullhår for uthenting av diameter. Metoden som ble valgt bruker digitale bilder av ullhår fra et mikroskop med belysning under ullen. Det digitale bildet i svart-hvitt blir en matrise med lysintensitetsverdier som sier noe om hvor mye lys som slipper gjennom i hver piksel.



Figur 6 Fordeling av pikselintensiteter for hver piksel i bildet med automatisk grense.

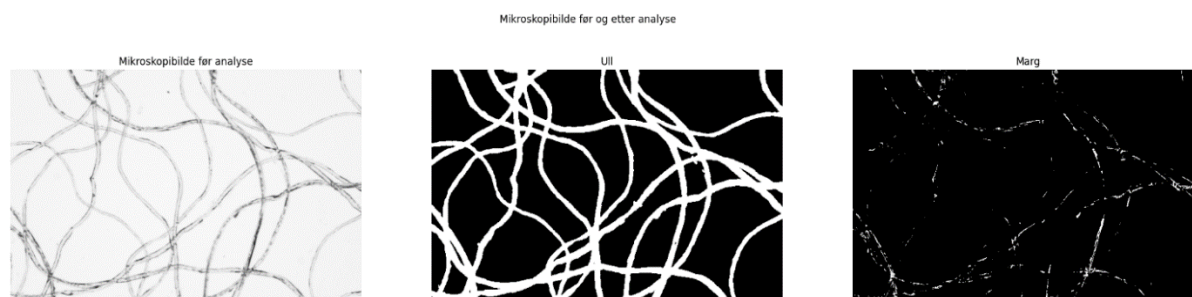
I analysen fordeles pikselintensiteter fra svart (lav intensitet) til hvit (høy intensitet). Ull er “svartere” enn bakgrunn og marg er “svartere” enn ull, forutsatt bruk av underlys ved mikroskoperingen. En fordeling av all lysintensitetene i et mikroskopibilde kan sees i figur 6. Den høyeste toppen til høyre i figuren er bakgrunnen, underlyset uten ullhår. Toppen til venstre er ull, margen finner vi på intensiteter mellom 100-175. Videre ble det utviklet en oppskrift (algoritme) som gjennomfører en del regler på lysintensitetsmatrisen for å måle marg og diameter.

Måling av marg



Figur 7 Digitalt mikroskopibilde med lite marg analysert med metoden utviklet. Segmenterte ullfibre og marg.

Noen hår fra hver ullprøve blir lagt mellom to glassplater, og plassert under mikroskopet. Deretter tas det 5-10 bilder av hver mikroskopprøve. For hvert mikroskopibilde segmenterer algoritmen ullfibre og marg ved å analysere gråtonene (lysintensitetene) i bildet som forklart over. Hver piksel i bildet blir klassifisert som ull, bakgrunn eller marg. Terskelverdier brukes for å binarisere³ bildet og skille ull fra bakgrunn. Margen, som er mørkere områder i fibrene, isoleres ved å bruke lavere terskelverdier. Resultatet er et klart segmentert bilde der margprosenten kan beregnes ved å dele arealet identifisert som marg på arealet identifisert som ull. Figur 7 og figur 8 viser prøver med henholdsvis lav og høy margandel analysert.



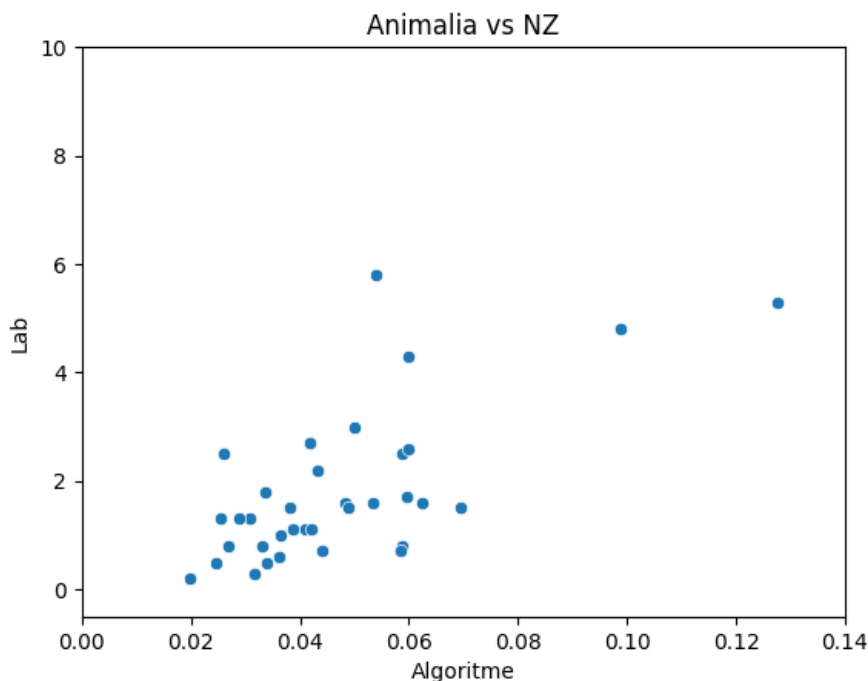
Figur 8 Digitalt mikroskopibilde med noe marg analysert med metoden utviklet. Segmenterte ullfibre og marg.

Fremmedobjekter som støv kan gi feilklassifisering grunnet lignende gråtoner som marg. For å unngå dette benyttes filtreringskriterier. I tillegg tas det mange digitale bilder fra en ullprøve for å kvantifisere resultatet. Svarte hår har lav opasitet og algoritmen klassifiserer også disse som marg.

Metoden fungerer godt for jevne og uniforme ullprøver av hvit ull, men er sensitiv for forurensning og farget ull. Det er også behov for videre optimalisering og utarbeiding av en automatisk opptaks prosess for mikroskopibildene.

³ Å binarisere betyr å gjøre om til 0 og 1.

For å evaluere algoritmens ytelse ble 5-10 bilder fra hver ullprøve analysert, og resultatene gjennomsnittliggjort. Deretter ble resultatene sammenlignet med manuell bestemmelse av marg gjort ved uthenting av prøvene, og resultater fra laboratorium på New Zealand.



Figur 9 Beregnet margprosent med metoden utviklet i dette prosjektet (X-aksen) plottet mot margprosent fra laboratoriet på New Zealand (Y-aksen).

I figur 9 ser vi at metoden utviklet i prosjektet er “strengere” enn resultatene fra New Zealand, margprosenten er omtrent det dobbelt (merk at tallene i algoritmen ikke er i prosent; tallene må ganges med 100). Metodene brukt er ganske forskjellige, og vi er litt usikre på om de kan sammenlignes. Metoden i dette prosjektet er avhengig av et mikroskopibilde av hvert hår. Det fører til noe usikkerhet i resultatene da metoden i dette prosjektet bare har analysert 300-600 ullhår fra hver ullprøve. En viktig utbedring av metoden vil være å automatisere opptak av mikroskopibilder slik at det enklere kan analyseres flere ullhår fra hver prøve.

Figur 9 viser kun resultatene for analysene av crossbredulla. Mens man i dette forsøket separerte bunn- og dekkull før marganalysene, ble det på New Zealand foretatt analyse av bunn- og dekkull sammen.

Tabell 3 Resultater av ullanalyser, foretatt hos Animalia, for marg i hvit crossbredull

	Lite marg	Noe marg	Mye marg
Finfibret ull	3.2 %	4.8 %	NaN %
Middels fiberdiameter	3.1 %	4.6 %	12.8 %
Grov ull	4.9 %	5.7 %	16.1 %

Tabell 4 Resultater av ullanalyser, foretatt hos Animalia, for marg i hvit spælull

	Lite marg	Noe marg	Mye marg
Finfibret ull	5.3%	6.1%	5.7%
Middels fiberdiameter	3.0%	4.2%	15.1%
Grov ull	5.7%	11.7%	7.6%

Resultatene fra ullprøvene viser at algoritmen gir meningsfulle og konsistente beregninger av margandel i ullfibrene, som samsvarer med forventningene fra de manuelle vurderingene gjort av ullekspertene.

Resultatene for spælsauulla er et gjennomsnitt av dekkull og bunnnull, mens de manuelle vurderingene i stor grad er gjort på bakgrunn av kvaliteten på bunnnulla. Dette er trolig forklaringen på avvikene i disse resultatene.

Beregning av gjennomsnittlig fiberdiameter

Når diameter skal beregnes utnytter man at ullhårene allerede er segmentert fra bakgrunnen i prosessen hvor marg beregnes. En teknikk som heter skjelletering brukes for å finne fiberens senterlinje, hvor diameter beregnes ved å måle korteste avstanden til bakgrunn og gange med to, se figur 8. Senterlinje er markert som en rosa strek inni ullhårene. Median diameter gir et robust mål, som kompenserer for støy og variasjoner.



Figur 8. Mikroskopibilde av en ullprøve med skjelleteringslinjer og median diameter.

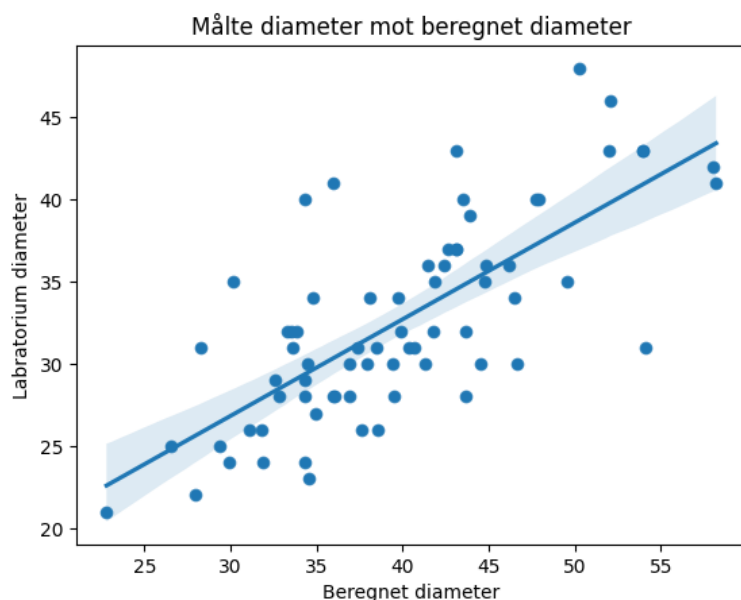
Utfordringer oppstår ved overlappende fibre, som kan føre til overestimering av diameter. Støy og urenheter kan også påvirke nøyaktigheten, hvis segmenteringen av ull fra bakgrunn ikke har fungert. Algoritmen prøver å kompensere for dette gjennom filtrering og støyreduksjon, men videre optimalisering er nødvendig for komplekse data.

Deretter ble resultatene sammenlignet med manuell bestemmelse av marg gjort ved uthenting av prøvene, og resultater fra laboratoriet i Wales.

Tabell 5 Fiberdiameter beregnet i piksler, ved bruk av nyutviklet metode

Prøvetype fra manuelt uttak	Median diameter
Fine fibre	17.1 Piksler
Medium fibre	18.9 Piksler
Grove fibre	22.1 Piksler

På samme måte som metoden for margprosent undersøker metoden i prosjektet for diameter rundt 300-600 ullhår. Laboratoriumdiameter er et gjennomsnitt av alle ullhår i prøven. Undersøkelse av flere ullhår skulle gitt bedre treff, og variasjon er et tegn på biologisk variasjon inne i prøven. En automatisk opptaksfunksjon for analyse av flere ullhår vil være en viktig videreutvikling.



Figur 10 Beregnet diameter fra metoden utviklet i dette prosjektet, plottet mot diameter fra laboratorium i Wales.

Algoritmen viser en klar økning i beregnet margandel med økende visuell kategori og fibertykkelse, noe som indikerer at den reflekterer biologiske variasjoner. Grafen i figur 10 viser også en sterk positiv korrelasjon mellom algoritmens diameterberegninger og laboratoriemålinger. Vi observerer at beregnet diameter ligger 5-10 mikron over laboratorium og forskjellen er noe økende med økende diameter. En mulig forklaring er at ullhårene klemmes sammen mellom to objektglass. Det er mulig at klemmingen forandrer ullhårets utforming og at diameteren blir tykkere. Dette bør undersøkes i videre arbeid.

For å redusere feil fra overlappende fibre og støy, bør teknikker for prøveforberedelse og bildeopptak forbedres. Bedre separasjon av fibre og høyere bildekvalitet vil styrke

algoritmens pålitelighet og redusere feilkilder, noe som er essensielt for praktisk bruk i ullanalyse.

Kort oppsummert viser metodene basert på synlig lys og mikroskopi utviklet i prosjektet, god måling av marg og diameter. Ved manuell sjekk på mikroskopibilder er segmentering av marg og måling av diameter veldig presis. Foreløpig virker det sannsynlig at forskjell mellom lab og ny metode ligger i utfordringer ved preparering og kvantitet. I videreutviklingen vil det være viktig at undersøke behov for kvantitet i form av mengde ullhår for god estimering av totalt gjennomsnitt. Hvordan klemming mellom to objektglass og underlys påvirker resultatene, og hvordan denne metoden kan sammenlignes med laboratoriumsmålinger fra New Zealand og Wales.

Mulige feilkilder og diskusjon

Enkelte mulige feilkilder er nevnt i resultatdelen.

Forskjellen på rå og vasket ull

Det er rå (uvasket) ull som i dag analyseres på kåring, og som klassifiseres på ullstasjonene. Av den grunn er det rå ull analysene foretatt av Animalia, er gjort på. Analysene i Wales og på New Zealand er derimot gjort på vasket og tørket ull.

Når man vasker høstull sitter man igjen med ca. 75-80 % De resterende 20-25 % er skitt, fett, vegetabiler, mm. Denne skitten og vegetabilene man har med seg når man foretar analyser av rå ull, kan virke inn på resultatene. Det er jobbet mye med algoritmene for at de skal klare å skille ullhår og marg fra skitt og vegetabiler, men her gjenstår det en del arbeid før metodene er helt klare. Per i dag kan slike ting virke inn på resultatene.

Utfordring med overlappende ullhår

Det er vanskelig å preparere en prøve som skal inneholde tilstrekkelig antall hår, uten at hårene ikke overlapper hverandre. Dette med overlappende hår viser seg å være en utfordring, spesielt ved beregning av fiberdiameter. Når hårene legger seg oppå hverandre, kan det da resultere i en for høy fiberdiameter for de ullhårene det gjelder.

Forskjell på metoder utviklet og dagens metoder

Metoden for beregning av diameter brukt på laboratorium tar utgangspunkt i klypte hår og passering gjennom filter. Metoden utviklet her ser et område av et hår og finner middel diameter på synlig del. Under forprosjektet undersøkte vi ikke forskjellene i

detalj. I et videre arbeid blir det viktig å forstå forskjellen på metodene og finne innvirkningen på målingen. Selv om begge metodene for marg tar utgangspunkt i opasitet teller metoden utviklet her piksler med marg og bruker areal, mens metodene fra laboratorium teller hår basert på en terskel. Hvordan dette påvirker målingene er ikke analysert i detalj. Metodene utviklet i forprosjektet er utviklet basert på manuell avlesning av mikroskopibilder.

Spælullprøvene ble håndtert på ulik måte

På kåring skiller man bunnnull fra dekkull når man undersøker spælull. Det samme ble gjort når spælull ble analysert hos Animalia, både ved bruk av NIR og opasitet.

Det ble også sendt instruks til Wales om at de også skulle skille bunnnull fra dekkulla. Dessverre ble ikke den informasjonen formidlet til laboratoriet på New Zealand, da det var Wales som hadde all kommunikasjon med dem.

Dermed er det ikke mulig å sammenlikne fiberdiameter på spælprøver mellom NZ og de andre. Av samme årsak har det også liten hensikt å sammenlikne resultatene av margtestingen gjort hos Animalia og på New Zealand

Utfordringer ved mikroskopering

Mikroskoperingen hos Animalia ble foretatt i et rom med mye vinduer. Den aktuelle dagen var det sol, og en del sollys slapp inn i rommet, og på mikroskopet. I etterkant ser man at dette har resultert i mørke linjer på enkelte av bildene. Dette kan algoritmen ha tolket som marg.

På enkelte av bildene kan man se enkelte vannperler og luftbobler. Dette kan også algoritmen tolke feil.

Fett og vegetabiler i ulla kan også virke forstyrrende på beregningen av fiberdiameter og marg.

Konklusjon og videre arbeid

I korte trekk viser dette forprosjektet at det er mulig å foreta objektive målinger av marg i hvit ull og for fiberdiameter, ved bruk av forholdsvis enkle metoder. Resultatene viser at opasitet som metode gir høye tall for grov ull, og ull med mye marg, og lavere tall for prøver hvor margprosenten og fiberdiameteren er vurdert som bedre/finere.

Det viste seg vanskelig å finne informasjon om marg i pigmentert ull, ved bruk av NIRS som metode. Resultatene for marg i hvit ull var også mer sprikende enn resultatene man fikk ved bruk av opasitet som metode. Hvorvidt NIRS kan brukes for å måle fiberdiameter ble ikke klart i dette prosjektet.

Forsøket tyder på at det er opasitet trolig er den mest lovende metoden for bruk i felt per i dag. Likevel gjenstår det en del utprøving og justeringer, før metoden er klar for bruk i felt, men resultatene i forprosjektet er lovende.

Publisering av resultatene

Resultatene fra prosjektet ble publisert gjennom en artikkel i Sau og Geit nr. 1/25, en artikkel på nettsiden til Animalia, samt en artikkel i Norsk Landbruk. Artiklene har også blitt delt på sosiale medier, og engasjementet blant sauebøndene har vært stort. Prosjektet har også blitt presentert internt for Animalias medarbeidere (se vedlegg), og vil bli presentert for alle ullstasjonene senere i 2025

Veien videre

Animalia har underveis hatt dialog med, og hjelp av Norilia, Fatland ull og Norsk Sau og Geit. Hele bransjen finner resultatene fra dette forprosjektet interessante. Det er stor interesse for at man skal få på plass en metode som gir sikrere og skalert måling av marg og fiberdiameter. Dette vil ha stor verdi både i avlsarbeidet og ved sortering av ull.

Bransjen jobber med å få på plass en søknad om et IPN-prosjekt, som baserer seg på resultatene fra dette forprosjektet. Aktuelle arbeidsområder et slik prosjekt kan være:

- Utvikle og kalibrere metoder og instrument basert på resultatene i forprosjektet for måling av marg i hvit ull, fiberdiameter i all ull under praktiske forhold
 - Videreutvikle opasitet som metode. Deriblant få på plass en automatisk opptaksfunksjon av bilder for analyse av flere ullhår per prøve.
 - Gjøre flere forsøk ved bruk av NIRS, for å se om metoden kan være aktuell for å måle viktige egenskaper som fiberdiameter, margprosent i hvit ull, gulhet, osv.
- Begynne innfasingen av nye målemetodikk i avlsarbeidet og vurdere effekten av dette.
 - Innføre ny metode ved kåring av værlam og innhenting av data for bruk i indeksberegningen.
 - Beregne arvbarheter og korrelasjon mellom egenskaper, i de tilfellene det ikke finnes oppdaterte tall

For å få implementert ny metode og nye måleinstrumenter må hele bransjen bidra; Norsk Sau g Geit med sin avlskompetanse og dyktige avlsbesetninger, Norilia og Fatland med sine ullstasjoner og innsikt i industriens behov, og til slutt en eller flere industriaktører, for å sikre at man i arbeidet vektlegger egenskaper som er viktige for industrien.

Referanser

Baxter, B. P., M. A. Brims, og T. B. Taylor. «Description and Performance of the Optical Fibre Diameter Analyser (OFDA)». The Journal of The Textile Institute 83, nr. 4 (1992): 507–26. <https://doi.org/10.1080/00405009208631225>.

Cozzolino, D., F. Montossi, og R. San Julian. «The use of visible (VIS) and near infrared (NIR) reflectance spectroscopy to predict fibre diameter in both clean and greasy wool samples». Animal Science 80, nr. 3 (2005): 333–37.

Robotic Vision. «Understanding OFDA Technology: Revolutionising Fibre Analysis», u.å. <https://www.ofda.com/post/understanding-ofda-technology>.

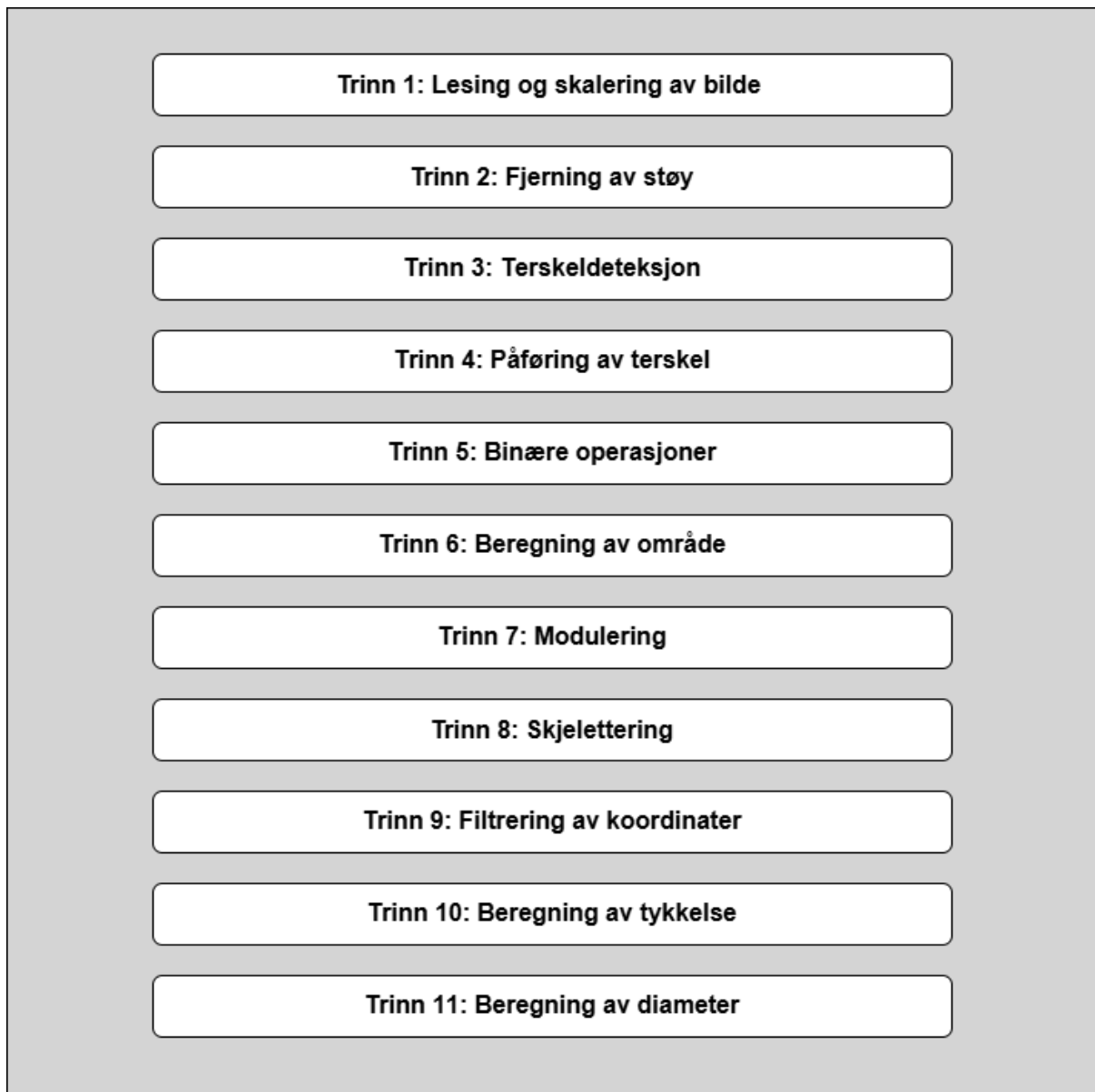
Gishen, M., & Cozzolino, D. (2007). Feasibility study on the potential of visible and near infrared reflectance spectroscopy to measure alpaca fibre characteristics. Animal : an international journal of animal bioscience, 1(6), 899–904.

Chen, Xin, Lan, Qingle and Zhu, Yaolin. "Non-destructive identification of wool and cashmere fibers based on improved LDA using NIR spectroscopy" AUTEX Research Journal, vol. 24, no. 1, 2024, pp. 20230017.

<https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/WOOL-472-572-14-T-09.pdf>

Vedlegg

Algoritmens trinn



Algoritmen begynner med å lese inn bildet og konvertere det til gråtoneformat, før størrelsen justeres med en gitt prosent for å redusere datamengden. Deretter fjernes støy fra bildet ved hjelp av en Gaussisk filteroperasjon, hvor filterstørrelsen tilpasses for å optimalisere oppløsning og struktur. En terskelverdi beregnes for å skille ønsket område fra resten av bildet, og i spesielle tilfeller identifiseres dalpunkter mellom pikseltopper for økt nøyaktighet. Bildet binariseres basert på denne terskelverdien for å isolere det relevante området. Små objekter fjernes fra det binære bildet ved bruk av en

definert minimumsstørrelse, før rensede områder kombineres med det originale bildet for videre analyse. Områder i bildet kvantifiseres, hvor område 1 representerer hovedstrukturen og område 2 viser delstrukturer identifisert ved en sekundær terskel. Moduleringsforholdet beregnes ved å dele arealet av område 2 på arealet av område 1. For videre analyse forenkles strukturen gjennom en skjeletteringsprosess, som skaper en sentral linjerepresentasjon. Koordinater nær kanten av bildet filtreres bort for å unngå artefakter, og tykkelsen til strukturen beregnes ved å doble avstanden fra skjelettet til nærmeste bakgrunn. Til slutt beregnes median, modus og gjennomsnitt fra tykkelsesverdiene.