



Analys av ullegenskaper hos det svenska finullsfåret

Fenotypiska variationer och korrelationer

Johanna Norling

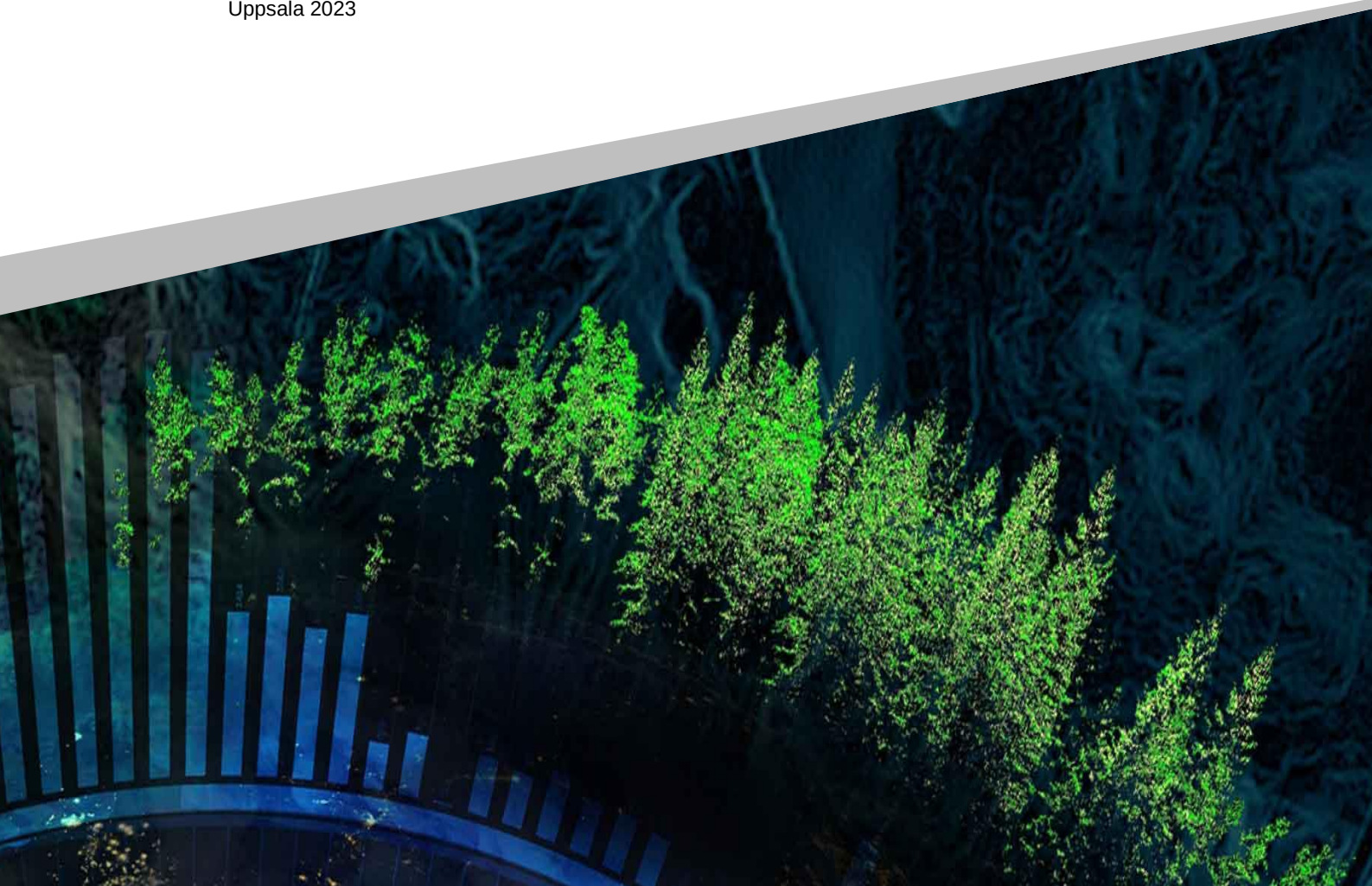
Examensarbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för husdjursgenetik

Agronomprogrammet - Husdjur

Uppsala 2023



Analys av ullegenskaper hos det svenska finullsfåret.

Fenotypiska variationer och korrelationer.

Johanna Norling

Handledare: Anna Maria Johansson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för husdjursgenetik
Examinator: Lotta Rydhmer, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för husdjursgenetik

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap
Kurskod: EX0872
Program/utbildning: Agronomprogrammet - husdjur
Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjursgenetik
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2023
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord: Ullegenskaper, svenskt finullsfår, fenotypisk variation, färg, korrelationer, cirkulär ekonomi, OFDA.

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjursgenetik

Sammanfattning

Ett alltmer uppmärksammat klimatavtryck har gjort att många aktörer inom olika verksamhetsområden har fått upp ögonen för hållbarhet och resursanvändning. Textilbranschen är en av de mest kritiserade branscherna och detta har lett till att en cirkulär ekonomi nu eftersträvs i större omfattning. I och med detta har naturmaterialet ull blivit aktuellt. Då både producenter och aktörer inom branschen har begränsad kunskap, samt att logistiska lösningar endast är småskaliga, har marknaden för ull inte kunnat expandera i en större omfattning. Ull är ett material med många uppskattade egenskaper och i Sverige är den svenska lantrasen svenskt finullsfår en ras med goda ullkvaliteter. Rasen har utöver sin fina ull även goda reproduktionsegenskaper vilket har gjort att fåren också blivit populära vid korsningsavel. I det här arbetet har det svenska finullsfårets fenotypiska ullegenskaper analyserats. Totalt har 968 ullfiberprover, analyserats via Optical-based Fibre Diameter Analyse (OFDA), granskats och de fenotypiska variationerna samt olika korrelationer undersökts. Resultatet visade att det finns signifikanta skillnader mellan får av olika färger (vit, svart, brun och grå) för de åtta utvalda ullegenskaperna medelvärde för fiberdiameter (MFD), standardavvikelse för fiberdiameter (SDF), koefficient för variation (CV), de fem procent grövsta fibrer (CeM), komfortfaktor (KF), spinnfinhet (SF), minimumvärde för mörghaltiga fibrer (MM) samt kurvatur (Kurv). I analyserna utmärker sig den vita färgen, som är majoriteten av fåren (62%), från de tre övriga färgerna. Korrelationer identifierades mellan egenskaperna varav fyra korrelationer utmärkte sig med att vara starkt negativa eller stark positiva. För egenskapen KF och MFD, samt KF och SF påvisas en gynnsam stark negativ korrelation. Statistiska modeller har bekräftat att den fixa effekten färg påvisar en signifikant effekt för komfortfaktor och spinnfinhet. Analysen av finullsfårens fenotypiska egenskaper indikerar att fårens ullfibrer är grövre än vad den kommersiella marknaden efterfrågar hos fibrer som ska användas för produktion av kroppsnära textilier. Men enligt raskunniga inom Föreningen Svenska finullsfår ska fårens glansiga ull kunna kompensera för grovlek. För att vidare kunna undersöka genetiska korrelationer och utforma eventuella avelsprogram i framtiden skulle genotypisk information eller härstamningsinformation kunna användas.

Nyckelord: Ullegenskaper, Svenskt Finullsfår, fenotypisk variation, färg, korrelationer, cirkulär ekonomi, OFDA.

Abstract

An increasingly noticed climate footprint has led many actors in various fields to open their eyes to sustainability and resource use. The textile industry is one of the most criticized industries and this has led to a circular economy now being pursued on a larger scale. With this, the natural material wool has become relevant. As both producers and actors within the industry have limited knowledge, and logistical solutions are only small-scale, the wool market has not been able to expand to a greater extent. Wool is a material with many valued properties and in Sweden, the Swedish native breed Swedish fine wool sheep is a breed with good wool qualities. In addition to its fine wool, the breed also has good reproductive characteristics, which has made the sheep popular in crossbreeding. In this work, the phenotypic wool traits of the Swedish fine wool sheep have been analysed. A total of 968 wool fibre samples, analyzed via the Optical-based Fiber Diameter Analysis (OFDA), have been examined and the phenotypic variations and various correlations have been investigated. The

result has shown that there are significant differences between the sheep with different colours (white, black, brown, and grey) for the eight selected wool traits mean fibre diameter (MFD), the standard deviation of fibre diameter (SDF), coefficient of variation (CV), the five percent coarsest fibres (CeM), comfort factor (KF), spinning fineness (SF), the minimum value for medullated fibres (MM) and curvature (Kurv). In the analyses, the white colour, which is the majority of the sheep (62%), differs from the other colours. Correlations are identified and for the traits KF and MFD, as well as KF and SF a favourable strong negative correlation is identified. Statistical models have confirmed that the fixed effect colour shows a significant effect on the KF and SF. When analyzing the wool fibres, it can be seen that the samples indicate a coarser wool for Swedish fine wool than what the commercial market demands in fibres to be used for the production of garment close to the skin. However, according to breed experts within the Association of Swedish fine wool sheep, the sheep's glossy wool should be able to compensate for coarseness. For further investigations of genetic relationships, and to design possible breeding programs in the future, genotypic information or pedigree information could be used.

Keywords: Wool traits, Swedish fine wool sheep, phenotypic variation, color, correlations, circular economics, OFDA.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	8
Figurförteckning	9
Förkortningar	10
Inledning	11
1.1 Bakgrund	12
1.1.1 Fåret och ullens genom tiden	12
1.1.2 Det svenska finullsfåret	13
1.1.3 Ullens uppbyggnad	14
1.1.4 Ullegenskaper	15
1.1.5 Avel och ullbedömning	18
1.1.6 Cirkulär ekonomi	20
1.2 Problembeskrivning	20
1.3 Syfte och frågeställning	21
Metod	22
2.1 Tillvägagångssätt	22
2.1.1 Beskrivning av fenotypiska data	22
2.1.2 Statistisk analys	23
Resultat	25
2.2 Beskrivande statistik	25
2.2.1 Histogram och QQ plottar	25
2.3 Fenotypiska varianser, ko-ansvarier och korrelationer	27
2.3.1 Färg frekvenser	29
2.4 Association-tester mellan färg och egenskaper	30
2.5 Statistiska modeller för KF och SF	32
2.6 PCA	33
Diskussion	34
3.1 Beskrivande statistik och fenotypiska korrelationer	34
3.1.1 Ullegenskapernas tabellvärden	34
3.1.2 Normalfördelningar och korrelationer	36
3.2 Färg frekvens och associations-test mellan färg och egenskaper	37
3.3 Statistiska modeller för KF och SF	38
3.4 PCA	39
Slutsats	40
Referenser	41
Populärvetenskaplig sammanfattning	45
Tack	46
Bilaga 1	47
Bilaga 2	48

Bilaga 3.....49
Bilaga 4.....50

Tabellförteckning

Tabell 1: Beskrivning av fenotypiska egenskaper.....	22
Tabell 2: Egenskapernas medelvärde, standardavvikelse, median, min- och maxvärden.	25
Tabell 3: Varians och kovarians för egenskaperna.....	28

Figurförteckning

Figur 1: Histogram för egenskapernas distributionskurva.....	26
Figur 2: QQ-plottar för egenskapernas distributionskurva.	27
Figur 3: Korrelationer mellan egenskaperna	29
Figur 4: Ringdiagram för de olika färggrupperna vit, svart, brun och grå.	30
Figur 5: Kruskal-Wallis test med box plots för de olika egenskaperna fördelat i färggrupperna svart, vit, brun och grå.....	31
Figur 6: Histogram för KF visar distributionen för residualen och den slumpmässiga effekten.	32
Figur 7: Histogram för SF visar distributionen för residualen och den slumpmässiga effekten.	32
Figur 8: PC1 och PC2 illustrerar mönster för färggrupperna vit, svart, brun och grå.....	33

Förkortningar

OFDA	Optical-based Fibre Diameter Analyse
μm	Mikrometer
MDF	Medelvärde för fiberdiameter
SDF	Standardavvikelse för fiberdiameter
CV	Koefficient för variation
CeM	De fem procent grövsta fibrerdiametrarna
KF	Komfortfaktor
SF	Spinfinhet
MM	Minimumvärde för mörghaltiga fibrer
Kurv	Kurvatur

Inledning

Frågor rörande miljö, hållbarhet och resursanvändning är något som många aktörer inom olika branscher idag har valt att lägga fokus på (Perey et al. 2018). Mode- och textilbranschen är en av de branscher vars klimatavtryck har blivit hårt kritiserats då många producenter inte använder metoder som anses vara skonsamma (Moorhouse & Moorhouse 2017; Fischer 2022). Både produktionen och avfallshanteringen inom branschen har ifrågasatts då de har väsentliga miljökonsekvenser, som exempelvis hög förbrukning av vatten och energi, stor produktion av koldioxid samt stora mängder av avfall (Shirvanimoghaddam et al. 2020).

Det uppmärksammade klimatavtrycket har idag lett till ett ökat intresse för naturliga produkter och cirkulär produktion (Moorhouse & Moorhouse 2017). Ett material som sedan lång tid tillbaka har använts av oss människor, och som idag börjar bli mer aktuellt, är naturmaterialet ull. Ullfibern som länge ansågs vara en värdefull resurs har sedan en tid tillbaka varit utkonkurrerad av andra syntetiska material. Men, både producenter och forskare har nu fått upp ögonen för materialet igen och fler användningsområden utforskas frekvent (Rajabinejad et al. 2019).

Den ull som har funnits i textilier i Sverige de senaste 20 åren har importerats från andra länder. Den svenska ullen har inte ansetts vara av tillräckligt god kvalitet och har tills nyligen främst hanterats som ett avfall, snarare än en resurs. Under många år har ullen som producerats i Sverige därför slängts bort eller bränts (Högskolan i Borås 2020). Idag saknas fungerande infrastruktur som möjliggör en växande ullproduktion i Sverige (Axfoundation 2023). För att den svenska ullen i framtiden ska kunna bli mer eftertraktad krävs en ökad kunskap samt en mer riktad avel (Högskolan i Borås 2020).

1.1 Bakgrund

1.1.1 Fåret och ullen genom tiden

Människor och får har levt intill varandra sedan många år tillbaka (Sjödin et al. 2007; Chereji & Munteanu 2022). Så tidigt som ca 9000 – 10 000 år f Kr ska människan och det vilda fåret ha börjat dra nytta av varandra. Under den här tiden hade fåren inte samma ull som idag, utan kortare och strävare. Den längre och mjukare ullen avlades fram av dåtidens människor som uppmärksammade att de kunde tvinna ihop ullfibrerna från fåren som föddes med längre hårstrån. På detta sätt kunde människor genom selektiv avel få fram får med finare ullfibrer. Av de finare ullfibrerna spann och tillverkade människor kläder som var varma och i följd av detta kunde de förflytta sig till kallare klimat (Sjödin et al. 2007; Russell 2009).

Ullen har varit en betydelsefull handelsvara genom tiden och fram till den senare delen av 1900 talet var ullindustrin omfattande i stora delar av världen (Rajabinejad et al. 2019). Men, i slutet av 1900 talet och början av 2000 talet avstannade marknaden för ullfibrer och nya syntetiska fibrer blev allt mer efterfrågade (Sjödin et al. 2007; Rajabinejad et al. 2019). Ullens många goda egenskaper har trots hård konkurrens gjort att den idag fortfarande finns kvar på marknaden (Sjödin et al. 2007). Ull är motståndskraftig mot både väta och eld samtidigt som den släpper igenom fukt. Textilier från ull är ett förmånligt material att bära närmast kroppen då de reglerar värmeenergi väl (Sjödin et al. 2007; Russell 2009; Rajabinejad et al. 2019). Smuts och lukt fäster inte så bra i materialet (Sjödin et al. 2007).

Sverige hade som störst antal får under den senare delen av 1800 talet då det beräknades finnas ca 1,6 miljoner får i landet (Svenska finullsföreningen 2015). Antalet får har sedan dess sjunkit med åren och år 2022 rapporterades det finnas ca 500 000 stycken (Jordbruksverket 2022). I början av 1900 talet dominerades Sveriges fårpopulationen av korsningsfår och i takt med ett ökat intresse av att bibehålla befintliga lantraser utformades stamböcker. Människors växande engagemang för ull medförde att raserna skiljdes efter vilken typ av ull de hade (finull, rya och päls) (Svenska finullsföreningen 2015).

Mängden textilfibrer som förbrukas i dagsläget är inte jämförbart med hur det var förr i tiden när personer endast ägde ett fåtal textilier vardera (Sjödin et al. 2007). I takt med att antalet människor på jorden har ökat och levnadsstandarden förbättrats, har konsumtionen av textilier vuxit. Idag konsumerar människor och industrier årligen stora summor textilier (Shirvanimoghaddam et al. 2020) och det finns inte landyta nog för att tillverka naturfiber (ullfibrer), då fokus ligger på bland annat produktion av mat. I framtiden spås resurser som behövs för att skapa syntetfibrer bli bristfälliga och människor kommer därför behöva hitta fler hållbara lösningar.

Ullen, som kan produceras på ett miljömässigt tillvägagångssätt kommer kunna ha en betydande del i framtiden inom flera olika områden (Sjödin et al. 2007).

Merinofåret är i dagsläget den populäraste rasen för ullproduktion och står för majoriteten av all ull som produceras i världen. Rasen utgör ca en tredjedel av världens fårpopulation (Chereji & Munteanu 2022). Merinofårets ull är av hög kvalitet med fina fibrer (Sjödin et al. 2007; Rajabinejad et al. 2019; Chereji & Munteanu 2022). Fårens eftertraktade ullegenskaper har bidragit till att rasen har använts för att förbättra andra rasers ull genom inkorsningar, samt för att ta fram helt nya raser. Det har utvecklats många linjer från merinofåret med fokus på ren ull- eller köttproduktion. Likaså linjer som används för både ull- och köttproduktion (Rasali et al. 2005; Sjödin et al. 2007; Holman & Malau-Aduli 2012). Merinofåret importerades till Sverige på 1700 talet (Sjödin et al. 2007) och har använts för att skapa den relativt nya fårrasen jämtlandsfår. Utöver merinofåret så härstammar jämtlandsfåren från det svenska sveafåret. Jämtlandsfåret är skapad för att få fram en mjuk ull med fina fibrer (Ullförmedlingen 2023a).

1.1.2 Det svenska finullsfåret

Finullsfåret är en av Sveriges nuvarande lantraser och har sin härstamning från det nordiska kortsvansade lantrasfåret. Finullsfåren skyddas idag med hjälp av bevarandeprogrammet som utfärdats av Jordbruksverket. Programmets syfte är att undvika att raser försvinner och genom detta har finullsfår bland annat fått ett miljöstöd (Svenska finullsföreningen 2015). Ursprungligen hade finullsfåret en ull av både finare bottenfibrer och kraftigare täckande fibrer. Detta är något som kom att ändras med tiden då intresset för finare ullkvalitet ökade i takt med industrialiseringens framväxt. Genom tiden har finullsfåret korsats med andra raser och genom inkorsningar har korsningseffekter kunnat utnyttjats (Svenska finullsföreningen 2015).

Idag har finullsfårets ull en glansig gestalt och dess krusar är fina. Av den mjuka och sköna ullen kan textilier för användning närmast huden tillverkas. Ullfibrerna är lämpliga för både tovning och spinning (Föreningen Svenska Finullsfår 2016a). Föreningen Svenska Finullsfår grundades år 1988 (Föreningen Svenska Finullsfår 2016b) men det var inte förrän år 1995 som den svenska finullsrasen klassades som svensk husdjursras (Svenska finullsföreningen 2015). Den aktuella definitionen för rasen lyder:

”Rasen kännetecknas av hög fruktsamhet, goda modersegenskaper och hög mjölkproduktion. Temperamentet är livligt. Finullsfåret har en mjuk, glansig och silkig, finfibrig och finkrusig ull, med mycket liten skillnad mellan täck- och bottenull, i de tre färgvarianterna vitt, svart och brunt.

Vita fläckar kan förekomma hos färgade djur. Två ulltyper förekommer, gobeläng- och finull. Gobelängull skall ha 5 krus eller färre per 3 cm och finull skall ha 6 krus eller fler per 3 cm. Jämnhet i krusning och längd i hela ullfällan är önskvärd liksom en fibergrovlek på 15-25 my. Dödhår och mörghår får ej finnas. Finullsfåret har ullfritt huvud och ullfria ben. Huvud och ben är glansiga. Noslinjen är rak eller något konvex. Öronen är små och tunna, inte köttiga eller nedhängande. Svansen är kort, bred vid basen och smal i spetsen. Svansens nedre del är ullfri. Rygglinjen är rak. Benen är smala och benställningen god och funktionell. Vuxenvikten är för tackor 50–70 kg och för baggar 80–100 kg”.

(Svenska finullsföreningen 2015)

De mest betydelsefulla egenskaperna för rasen presenteras av Föreningen Svenska Finullsfår (2018) som fårens ”fyra ben” och beskrivs vara ”den unika ullen, de mjuka skinnen, det möra och smakliga köttet samt de goda reproduktionsegenskaperna”. Just finullsfårets utmärkande reproduktionsegenskaper har gjort att rasen blivit eftertraktad att använda som korsning i andra raser (Föreningen Svenska Finullsfår 2018). Det är vanligt förekommande att korsa finullsfår med kötttraser då avkommorna kan få bättre fertilitet (Svenska Fåravelsförbundet 2023). I Elitlamms statistik för 2022 går det att se att en stor andel av finullstackorna var betäckta med en annan ras (Elitlamm 2022).

1.1.3 Ullens uppbyggnad

Ullens tillväxt

Redan i fosterstadiet börjar fårets hårsäckar, så kallade folliklar, att växa fram. Folliklarna utvecklas under tre faser med start när fostret är mellan 60 och 70 dagar (Rogers 2006; Sjödin et al. 2007). Under den här perioden skapas de centralprimära folliklarna i huden och ungefär 30 dagar senare utvecklas två sidoprimära folliklarna runt varje primär. De primära folliklarna är utrustade med en sträckmuskel, svettkörtel och talgkörtel (Rogers 2006; Sjödin et al. 2007). Mellan dygn 80 och 90 finns de nog med plats runt centralprimärena och sidoprimärerna för att ytterligare en variant av follikel ska kunna växa fram. De här folliklarna benämns som sekundära och är utrustade med endast en talgkörtel och det är olika för olika fårraser hur många av dem som växer fram. Ofta är alla sekundära folliklar inte helt färdigutvecklade vid födseln (Rogers 2006; Sjödin et al. 2007). Ur folliklarna bildas fibrer, de sekundära fibrerna är vanligtvis minst två per varje primär. Men, det kan även finnas primära fibrer utan några sekundära (Waller 2023). I vissa fall kan de ske en förgrening av de sekundära folliklarna och det visar sig genom att ett flertal fibrer växer ut från en och samma follikelöppning. I dessa fall kan kvoten av de sekundära fibrerna per primär fiber stiga till femtio.

Tätheten för fibrerna varierar därför beroende på hur stor gruppen av folliklarna blir (Rogers 2006; Sjödin et al. 2007).

Ullfibers delar

Ullfibern är uppbyggd av de tre beståndsdelarna medulla (märgkanal), cortex (celler i mitten) och kutikula (ytskikt). Märgkanalen är den innersta beståndsdel av fibern och till mesta del ett utrymme för luft och för celler som är färdigförbrukade. Tjockleken på kaneln varierar grovt, allt från icke existerande till att den kan utgöra 90% av hela fibern. De fibrer som är mörghaltiga kännetecknas som tjocka och mer bräckliga än andra. Cortex är genom två celler som är långa och tunna, den del som gör fibern stark och elastisk. Fibers cortex har även en buffringskapacitet (Sjödin et al. 2007; Rajabinejad et al. 2019). Beroende på existerande spänning mellan de två cellerna i cortex kan kurvor eller vågmönster bildas i ullfibern (Sjödin et al. 2007). Det yttersta skiktet, kutikula, inkapslar fibern i ett fjällliknande mönster och har en inverkan på hur ullen upplevs mot människans hud (Sjödin et al. 2007; Rajabinejad et al. 2019).

1.1.4 Ullegenskaper

Fårets ullegenskaper kan variera både mellan och inom diverse raser. Detta beror såväl på det genetiska arvet som på miljöfaktorer (Holman & Malau-Aduli 2012; Jamshed Khan 2012; Jafari 2015). Vissa ullegenskaper har ett högre kommersiellt värde än andra, då egenskapens kvalitet bättre uppfyller produktions- och konsumentkraven (Holman & Malau-Aduli 2012).

Finlek

Ullegenskapen finlek beskriver hur grova eller fina ullfibrerna är. Ullens fiberdiameter (μm) är egenskapen som har den betydelsefullaste inverkan på vilket pris som ull kan säljas för (Sjödin et al. 2007; Holman & Malau-Aduli 2012). Fiberdiametern hos ullen varierar beroende på fårras (Rajabinejad et al. 2019) samt var på fårets kropp fibrerna sitter (Holman & Malau-Aduli 2012). Ullfibers finlek delas upp i olika klasser beroende på diameters storlek. När ullen beskrivs vara "extra fin" överstiger inte fiberdiametern $18,5 \mu\text{m}$. "Fin" ull har en diameter över $18,5 \mu\text{m}$ och under $20,5 \mu\text{m}$ (Rajabinejad et al. 2019; Petek & Marinšek Logar 2021). En diameterstorlek mellan $22,05\text{--}30,99 \mu\text{m}$ klassas som "medium" och mellan $31\text{--}36,19 \mu\text{m}$ klassas fibern som "grov". När ullfibern överstiger $36,2 \mu\text{m}$ klassas den som "våldigt grov" (Rajabinejad et al. 2019). Ullfibers diameter är en avgörande faktor för vad ullen kommer kunna användas till. Om fibrerna är av den grövre diametern, över $30 \mu\text{m}$, upplevs ullen vara stickig och passar då bra till exempelvis produktion av mattor. Om fiberdiametern däremot är finare, under $30 \mu\text{m}$, passar ullen till att producera kläder då den är mjukare samt enklare att spinna och färga (Russell 2009; Holman & Malau-Aduli 2012; Scobie et al. 2015).

Märghaltiga fibrer

De fibrer som är märghaltiga (har medulla) kännetecknas av att vara ihåliga (Scobie et al. 2015; Rajabinejad et al. 2019), bräckliga (Rajabinejad et al. 2019) och raka eller sicksackformade (Sjödin et al. 2007). Även fast märghaltiga fibrer ofta förekommer som grova, finns det en viss variation på storleken av diametern. Märgkanal har exempelvis hittats i finare fibrer med en diameter på 14 μm (Scobie et al. 2015). Att ha märghaltiga fibrer i ullen ger en stickigare karaktär (Sjödin et al. 2007) och mängden varierar mellan olika individer (Scobie et al. 2015). För vissa fårraser är märghaltiga fibrer inte acceptabla (Sjödin et al. 2007). Fibrerna utmärker sig genom att reagera annorlunda vid färgning än vanliga ullfibrer och i de flesta fall är det inte önskvärt (Duerden 1924; Scobie et al. 2015).

Längd

Ullfibers längd ligger mellan 25 mm och 400 mm. När fibern är helt utsträckt benämns längden som den absoluta (Sjödin et al. 2007) och när fibern inte har sträckts ut kallas längden för stapellängd (Sjödin et al. 2007; Gonzalez et al. 2020). Beroende på hur ofta fåret klipps, av vilken rasen fåret är och var på fårets kropp ullen växer kommer längden att skifta (Scobie et al. 2015). Fårraser med finfibriga ullfibrer har vanligtvis kortare ull (Sjödin et al. 2007). Ullen kan användas till olika ändamål beroende på dess längd och jämnhet, exempelvis är det enklare att spinna en längre ull som är över 50 mm (Sjödin et al. 2007). Av kortare ull går det inte att tillverka lika starka garn och det är därför inte lika eftertraktat på den kommersiella marknaden (Holman & Malau-Aduli 2012). Ullfibers längd har också en betydande roll för fällens vikt (Adams & Cronjé 2003).

Täthet

Egenskapen täthet är mängden ull som finns på fårets kropp (Sjödin et al. 2007). En lagom tät ull är önskvärt vid skinntillverkning (Waller 2023). För att ullen ska vara tillräckligt tät behöver fåret redan i fosterstadiet ha en gynnsam utveckling av antalet sekundära folliklar. Follikeltillväxten främjas av en bra foderstat till tackan, men varierar också mellan olika raser. Merinofåret har exempelvis en omfattande utveckling av folliklar (Scobie et al. 2015) där follikeltäthet kan ligga på 80 folliklar per mm^2 . Ryafåret har i jämförelse till merinofåret en lägre täthet på omkring 15 folliklar per mm^2 (Sjödin et al. 2007).

Glans och bulkighet

Huruvida ullen upplevs vara glansig eller ej beror på hur ullens ytfjäll ligger. Är ytfjällen slätt lagda intill varandras kanter kommer ullen spegla ljuset på ett enhetligt vis och betraktas som glansig. Är ytfjällens kanter hos ullen däremot inte slätt intakt till varandra kommer ljuset speglas ojämnt och ullen upplevs vara

bulkig. Den bulkiga ullen är fylligare och svårböjlig och passar därför bra som utfyllnad i exempelvis kuddar (Sjödin et al. 2007). Vissa raser har en mer glansig ull medan andra raser mer bulkig. För raser som används inom ullproduktion, och som har en grövre fiberdiameter, kan glans ha stor betydelse då den kan kompensera för finhet (Sjödin et al. 2007; Waller 2023). Ullegenskapen glans beror delvis på arv och delvis på utfodring och individens välmående. Ett får som inte har hälsan i behåll ses sällan som glansig. Inte heller är märghåren speciellt glansiga (Sjödin et al. 2007).

Spinfinhet

Vid tillverkning av garn måste ullen spinnas (Rodens Ullbruk 2023) och innan ullen kan spinnas behöver den bearbetas. Genom metoden kardning separeras ullfibrerna och kammas ut så fibrerna blir lätta att hantera. Kardning kan göras både för hand och i maskin (Gross 1987). Garnets kvalitet varierar beroende på ullfibrernas kvalitet. Olika typer av ull (sträv, mjuk, kort, lång mm.) går att spinna (Rodens Ullbruk 2023). Spinfinhet anges i mikroenheter (μ) och utvärderar ullfibrernas förmåga att bli bearbetade relaterat till jämnhet, effektivitet och kostnad. Ju lägre spinfinhet garnet har ju lägre är fiberdiametern och desto bättre bearbetningsförmåga. Garn med låg spinfinhet är ofta mer eftertraktade och har ett högre pris (Holman & Malau-Aduli 2012; Malau-Aduli et al. 2012).

Kurvatur

Kurvatur beskriver ullfibrernas tendens till att böja sig i vågmönster (kurvor). Under tillväxten av fibrerna ändras deras riktning ett flertal gånger. Beroende på tillväxthastigheten kommer fibrernas böjning variera på fiberns längd och därmed bli mer eller mindre kurvig. Ett kurvintervall kan ligga mellan 2 och 36 kurvor på varje 3 cm beroende på fårras (Sjödin et al. 2007). Ullfibrernas kurvintervall varierar längs fårets kropp (Scobie et al. 2015) och vanligtvis har raser med grov ull större vågmönster och därmed stora kurvor (Sjödin et al. 2007). Ju kurvigare ullen är desto svårare är den att hantera. I vissa fall är den kurviga ullen inte heller estetiskt tilltalande, då fibrernas toppar lätt sticker ut från garnet. Ett lägre kurvintervall är därför att föredra (Holman & Malau-Aduli 2012). Alla fårraser har inte kurviga fibrer, utan istället raka (Wang et al. 2021). Fiberns kurvatur anges i grader (deg) per millimeter (mm) (Holt 2006; BSC Electronics 2016).

Komfort

Egenskapen komfort beskriver hur ullen upplevs mot huden och ger en anvisning till vad ullen kan användas till. Fibrer som är grova (diameter ovan 30 μ m) ger en stickig känsla då fibrerna inte kröker sig i kontakt med huden. Den finfibriga ullen (diameter under 30 μ m) viker sig vid hudkontakt och är därför behagligare att bära intill huden samt har en högre komfortfaktor (Holman & Malau-Aduli 2012).

Endast fem procent av ullfibrerna i ett klädesplagg kan avgöra hur komfortabelt plagget är. Det är därför viktigt att de fem procent grövsta fibrerna är finare 30 µm för att säkerställa att klädesplagget upplevs skönt (Holman & Malau-Aduli 2012; Wool Testing Authority Europe u.å.).

Ullfett och renhet

För fåren är ullfettet en värdefull egenskap då det hjälper till att hålla ullen torr (Sjödin et al. 2007). Ull består av 10% fett (Salem Allafi et al. 2021) och för människor har ullfett visat sig vara av god nytta om den tas tillvara på, då de kan användas i både kosmetiska och industriella produkter (Sjödin et al. 2007). Huruvida ullen är ren eller inte beror endast på miljöfaktorer som skötsel, utfodring och andra hygienrutiner. Ju smutsigare ullen är desto lägre pris kan den säljas för (Sjödin et al. 2007).

1.1.5 Avel och ullbedömning

Avelsarbete

Egenskaper som är med i finullsfårets avelsvärdering idag berör fårets kropp, funktion och ull (Föreningen Svenska Finullsfår 2018). Flera av ullegenskaperna har hög arvbarhet och genom att avla på de mest önskvärda är det möjligt att kunna påverka ullens kvalitet. Det finns både gynnsamma och ogynnsamma korrelationer och detta är viktigt att ha i åtanke vid utformning av avelsprogram (Sjödin et al. 2007; Jafari 2015). Dock påverkas ullen inte endast av genetik utan diverse miljöfaktorer kan komma att ha en inverkan (Holman & Malau-Aduli 2012; Jamshed Khan 2012; Jafari 2015). Så länge egenskaper har en arvbarhet är de relevanta för avel. En egenskaps ekonomiskt betydande roll kan variera beroende på individens användningsområde (Sjödin et al. 2007; Rajabinejad et al. 2019). Ullmängdens arvbarhet ligger runt 0,3 medan arvbarheten för ullens kvalitet varierar mellan 0,1–0,4 (Sjödin et al. 2007; Jafari 2015). Fiberdiametern har en avgörande roll när det gäller prissättning på ullkvalitet. Även stapellängden är betydelsefull och har visat sig ha en hög arvbarhet (Jafari 2015). För att ullen ska upprätthålla en god kvalitet anses vissa egenskaper vara viktigare än andra. Exempel på dessa är fiberns diameter, krökning, komfortfaktor och spinnfinheten (Holman & Malau-Aduli 2012).

Ullbedömning

För att kunna avla fram en önskvärd kvalitet behöver ullen först bedömas. För att ta reda på ullens kvalitet kan en ullbedömning utföras, en så kallad mönstring. Mönstringen utförs på alla får som är av intresse, för att sedan kunna göra ett urval inför ett kommande avelsarbete (Sjödin et al. 2007). Mönstringen utförs på lamm

och vanligtvis undersöks lammets typ av ull och hur tät den är, hur krusig och glansig den är samt ullen stapellängd, utbredning och form (Sjödin et al. 2007).

Optical-based Fibre Diameter Analyse (OFDA) är en mätmetod (BSC Electronics 2023a) som ursprungligen är framtagen i Australien men har blivit allt mer vanligare världen över (Svenska finullsföreningen 2015; BSC Electronics 2023a). Idag används mätinstrumentet i över 30 olika länder och under de senaste åren har den börjat användas i Sverige (Svenska finullsföreningen 2015). OFDA instrumenteten är tillverkat för att snabbt och enkelt kunna mäta olika fiberegenskaper. Genom ett mikroskop som är automatiserat mäter instrumentet fibrer, eller bitar av fibrer, som är placerade på en glasskiva. OFDA mäter och identifierar fibrer (BSC Electronics 2016, 2023b) med en hastighet på 2000 mått per minut (SGS 2014). Det finns olika modeller av OFDA instrumentet och den som används i Sverige är modell OFDA 100 (Waller 2023). Modell OFDA 100 produceras inte längre utan har blivit utbytt av modellen OFDA 2000 (BSC Electronics 2023c).

Fiberegenskaper som mäts i OFDA instrumenten är diameter, längd, kurvatur och mörkanal/pigmentation (Waller 2015; BSC Electronics 2023b). Från mätinstrumentets data beräknas fiberdiameterns medelvärde, standardavvikelse och varianskoeficient. Även värden för komfortfaktor beräknas (BSC Electronics 2023b). Modellerna OFDA 100 och OFDA 2000 skiljer sig i några aspekter, exempelvis mäter inte OFDA 100 ullfibers längd, men mäter istället pigmentering (opacitet), vilket den senare modellen inte gör (Waller 2015, 2023). Eftersom OFDA 100 kan mäta pigmenterade fibrer är instrumentet fördelaktigt att använda för fårraser som inte endast är vita. OFDA 100 ser dock inte skillnad mellan pigmenterade och mörghaltiga fibrer (Waller 2015).

Den nya modellen OFDA 2000 har gjort det möjligt att mäta fibrerna mer tidseffektivt än tidigare då instrumentet inte kräver att proverna först måste tvättas och bearbetas. OFDA 2000 klarar av att mäta prover direkt från fåren, utan att prepareras (Wool Testing Authority Europe u.å.). OFDA 2000 finns som både stationär och bärbar. De bärbara mätinstrument gör det möjligt för lantbrukare att mäta fårens fibrer direkt ute på gårdarna (BSC Electronics 2023b). Det är fördelaktigt för lantbrukare att enkelt kunna mäta och analysera ullfibrernas egenskaper för att kunna matcha sin ullproduktion mot de kommersiella måtten som efterfrågas på den aktuella marknad (Holman & Malau-Aduli 2012).

1.1.6 Cirkulär ekonomi

Med vetskap om att resurser i framtiden kommer bli bristfälliga har den linjära ekonomi i samhället, där återanvändning inte inkluderas, blivit alltmer kritiserad. Idag ses fler aktörer vara mer involverade i en cirkulär ekonomi. Den cirkulära ekonomin fokuserar till stor del på återanvändning och återvinning (Geisendorf & Pietrulla 2018). Under många år har användningsområdet för ull främst varit produktion av olika textilier. Men när ullen tappade sitt marknadsvärde och andra produkter, som exempelvis syntetiska fibrer, började framställas blev ullen snabbt utkonkurrerad (Rajabinejad et al. 2019). Det har därför varit gynnsamt att hitta på fler användningsområden för återanvändningen av ull som är socialt och ekonomiskt effektiva. Forskning har genomförts med goda resultat och idag användes ull inom många olika branscher (Rajabinejad et al. 2019; Chereji & Munteanu 2022).

En av dessa branscher är växtproduktionen som arbetar med att förbättra jordkvaliteten vid odling av diverse växter. Forskningen i detta fält föreslår att ull (komposterat och icke komposterat) skulle kunna användas för att förbättra jorden såväl som att ge näring till vissa växter och som en gynnande komponent för dem att växa i (Zheljazkov et al. 2009). En annan bransch har utforska huruvida ull kan användas för att absorbera olja vid oljeläckage med positiva resultat (Radetic et al. 2008). Även i byggbranschen har ull studeras och används idag som byggmaterial, exempelvis som värmeisolering (Dénes et al. 2019). Ytterligare ett användningsområde är produktion inom biomedicin. Ur ullfibrerna går det att extrahera ut keratin som sedan kan komma att användas som protein i biomaterial (Rajabinejad et al. 2019). Vissa av de metoder som används vid omhändertagandet av spillull, exempelvis processen för att utvinna keratin, är inte gynnsamma för miljön. Det är viktigt att ta hand om ullen på ett miljövänligt sätt och idag håller nya tekniker på att utvecklas som är bättre för miljön, bland annat biogas och kompostering (Petek & Marinšek Logar 2021).

1.2 Problembeskrivning

Ett problem har länge varit att den svenska ullen inte omhändertas utan går till spillo. Mängder av ull slängs, alternativt bränns, varje år då det länge har ansetts vara ett avfall. Den nuvarande trenden, med fokus på återvinning, visar dock att ett ökat intresse för den svenska ullen håller på att växa fram. Producenter och konsumenter har blivit allt mer intresserade av svenska produkter (Högskolan i Borås 2020; Axfoundation 2023) och nya svenska ullproducenter börjar därför växa fram på marknaden (Ullförmedlingen 2023b).

Då det endast finns en småskalig ullproduktion för närvarande i Sverige satsar enbart ett fåtal lantbrukare att utveckla fårens ullegenskaper i de nuvarande avelsprogrammen (Waller 2023). Men i och med det ökade engagemanget kommer det i framtiden att kunna bli allt viktigare att ta fram avelsprogram som fokuserar på både ull- och köttproduktion (Högskolan i Borås 2020).

Genom att analysera några av de svenska finullsfårets fenotypiska egenskaper kommer en bild av den nuvarande statusens kunna granskas, samt eventuella utvecklingsområden identifieras.

1.3 Syfte och frågeställning

Syftet med arbetet är granska och analysera finullsfårets ullegenskaper. Samt att besvara frågeställningar:

1. Vilka egenskaper har finullsfårets ull och hur ser den fenotypiska variationen ut?
2. Vilka fenotypiska korrelationer finns det mellan ullegenskaper?

Metod

2.1 Tillvägagångssätt

Materialet kommer från föreningen svenska finullsfår och består av en OFDA analys. Datamaterialet har granskas och analyseras i R (R Core Team 2022).

2.1.1 Beskrivning av fenotypiska data

Den data som har använts kommer från Föreningen Svenska Finullsfår. I datan har ullfiber analyserats på 998 får med hjälp av mätinstrumentet OFDA 100. All analysdata användes inte från alla får, utan en bortfiltrering av dubletter och får med saknade värden har skett. Filtringen resulterade i en total summa på 968 får, ursprungligen från 91 olika besättningar. Varje besättning hade motsvarande 1 till 104 antal får (10,64 i medelvärde).

Fårens färg har lagts till manuellt i datan då OFDA 100 inte mäter färg. Fårens kön framgick inte i materialet. Ullfibrernas egenskaper som analyserades i OFDA instrumentet och som ingick i datan var:

Tabell 1: Beskrivning av fenotypiska egenskaper.

Egenskaper:	Beskrivning:	Mätta fenotyper:	Typ av data:
Finlek (μm)	Ullfiberns diameter	Minimumvärde, medelvärde, maximumvärde, och standardavvikelse	Kontinuerliga
Kurvatur (deg/mm)	Ullfiberns krökning	Krökning, längd, höjd och grad av krökning (minimum- och maximumvärden)	Kontinuerliga
Pigmentering (%)	Pigmenterade fibrer	Antal och procentuell pigmentering	Kontinuerliga
Märgfibrer (μm)	Ullfiberns märgkanal i diameter	Minimum- och maximumvärden för diametern.	Kontinuerliga

Egenskaperna som valt ut från den tillgängliga datan anses ha en betydande roll vid identifiering av ullfibers eventuella användningsområde. Sju egenskaper har valts från datan (nr 1–7) och egenskapen spinfohet (nr 8) har adderats och beräknats genom en ekvation. De totalt åtta egenskaperna är:

1. Medelvärde för fiberdiameter (MFD) μm .
2. Standardavvikelse för fiberdiameter (SDF) μm .
3. Koefficient för variation (CV) %.
Genom ekvationen:

$$CV = \left(\frac{SDF}{MFD} \right) * 100$$

4. De fem procent grövsta fibrer (CeM) %.
5. Komfortfaktor (KF) %.
Genom ekvationen:

$$KF = 100 - (\% \text{ fibrer} > 30.0 \mu\text{m})$$

6. Minimumvärdet för mörghaltiga fibrer (MM) μm .
7. Max kurvatur (Kurv) deg/mm.
8. Spinfohet (SF) μm .
Beräknades genom ekvationen:

$$SF = 0.881 * MFD \sqrt{1 + 5 \left(\frac{CV}{100} \right)^2}$$

2.1.2 Statistisk analys

Statistiska analyser har beräknats med hjälp av R för de åtta utvalda egenskaperna. Ullegenskapernas medelvärde, standardavvikelse, median samt minimum- och maximumvärden har tagits fram. Histogram och quantile-quantile plots skapades med hjälp av R/ggplot2 (Wickham 2016) för att visualisera distributionen av egenskaperna. För att upptäcka trender och eventuella samband har fenotypiska varianser, kovarianser och korrelationer beräknas.

Totalt fanns det 16 olika värden för färg i den obearbetade datan. Färgerna delades upp i fyra huvudgrupper (vit, svart, brun och grå) där de kategoriserades utifrån färgen som stod först i namnet. Exempelvis tilldelades färgerna brun-grå, lf brun och ljus-brun färgen brun, samt svart marg i massor, lf-svart och svart-grå kategoriserades som svart.

Associations-test för färggrupperna och de åtta egenskaperna har beräknats för att undersöka fårets egenskaper i förhållande till färg. Genom Kruskal-Wallis test demonstrerar P-värden eventuella signifikanta skillnader.

För CF och SF har effekten av färg undersökts vidare i kontexten av mixed effect models och med hjälp av R-paketen lme4 (Bates et al. 2015) och lmerTest (Kuznetsova et al. 2017). I modell anges den fixa effekten som färg och den slumpmässiga effekten som besättning. De besättningar bestående av mindre än fyra får sammanslogs till en påhittad besättning (se bilaga 1 och 2). I den matematiska notationen är formeln den följande

$$y = Xv + Zb + e$$

där v är den fixa effekten och b den slumpmässiga effekten med deras respektive design matrices X och Z , och e är residual error.

Till sist har en PCA (Principal Component Analysis) utförts för de åtta egenskaperna för att reducera dimensioner och för att kunna visualisera eventuella mönster för färggrupperna.

Resultat

2.2 Beskrivande statistik

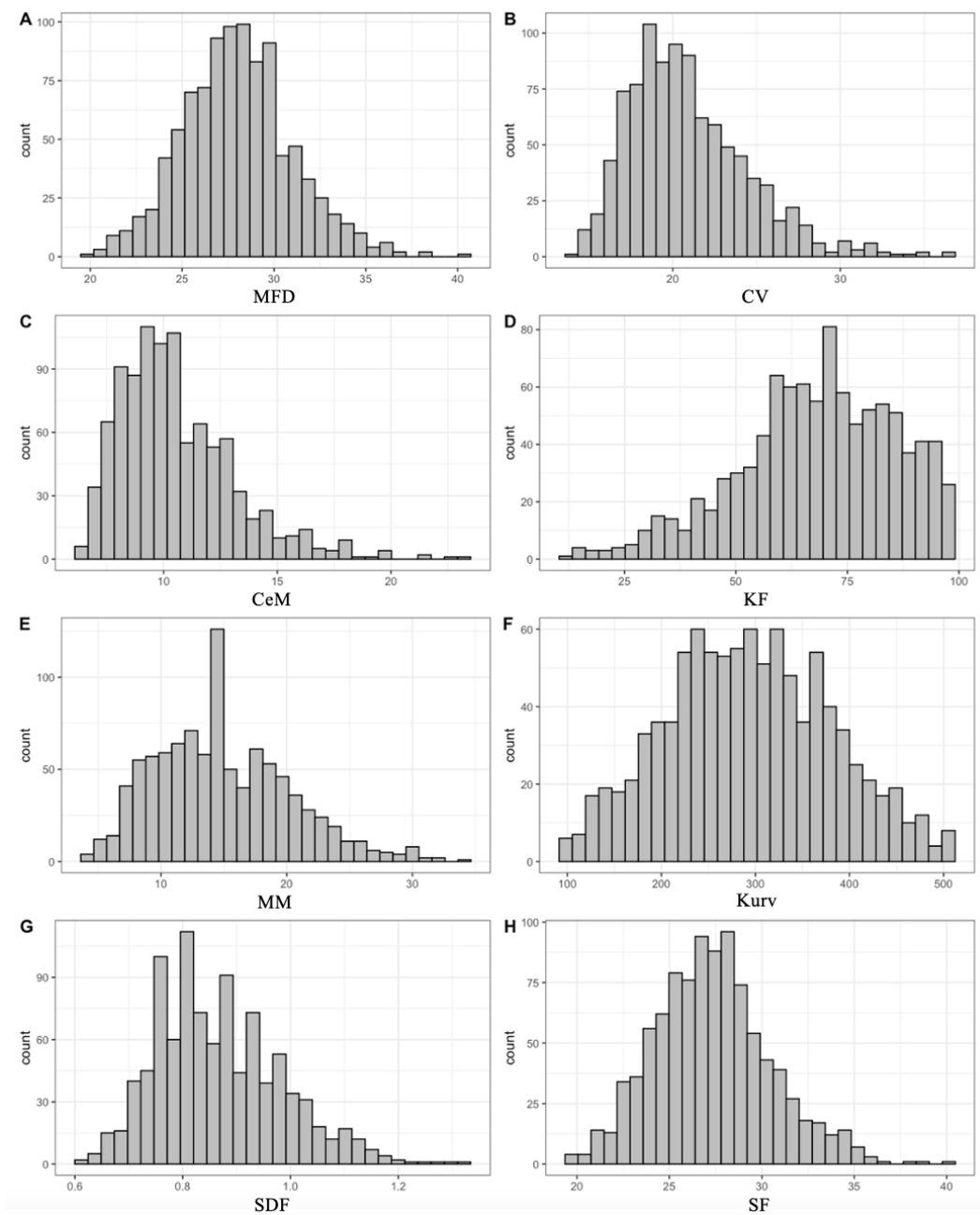
Medelvärden, standardavvikelser (SD), medianer samt minimum- (min) och maximumvärden (max) presenteras i tabellen nedan för de åtta utvalda egenskaperna.

Tabell 2: Egenskapernas medelvärde, standardavvikelse, median, min- och maxvärden.

Egenskaper:	Medelvärde:	SD:	Median:	Min:	Max:
MFD (μm)	28,03	2,99	27,94	20,01	40,55
CV (%)	20,92	3,58	20,32	14,31	36,81
CeM (μm)	10,56	2,56	10,1	6,44	23,27
KF (%)	68,2	17,6	69,68	13,01	98,82
MM (μm)	14,86	5,6	14	4	34
Kurv (deg/mm)	293,24	87,74	290	93	500
SDF (μm)	0,87	0,12	0,85	0,6	1,31
SF (μm)	27,33	3,13	27,18	19,51	39,92

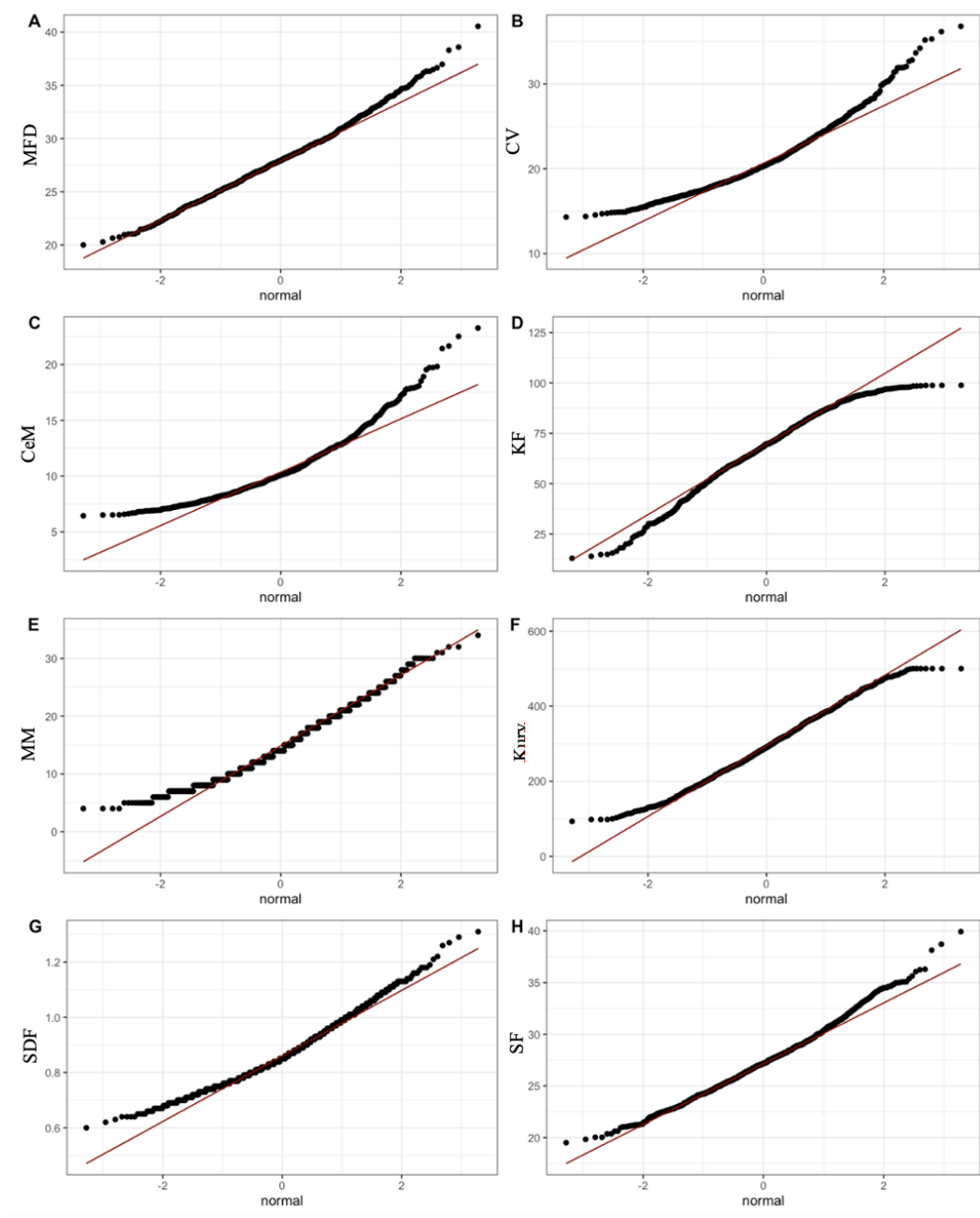
2.2.1 Histogram och QQ plottar

Histogrammen som har tagits fram visualiserar distributionen för de åtta egenskaper. Distributionen ser ut att vara normalfördelad, egenskaperna KF (D), Kurv (F) och SF (H) visar en något negativ skevhet och egenskapen KF (D) har en positiv skevhet. Kurv (F) och SF (H) påvisar en relativt normal distribution.



Figur 1: Histogram för egenskapernas distributionskurva

QQ-plottarna ger ytterligare en bild på distribution och extremvärden för egenskaperna. De egenskaper som bäst följer den förväntade normaldistributionen är MFD (A) och SF (H). Egenskaperna som avviker mest är CV (B) och CeM (C).



Figur 2: QQ-plottar för egenskapernas distributionskurva.

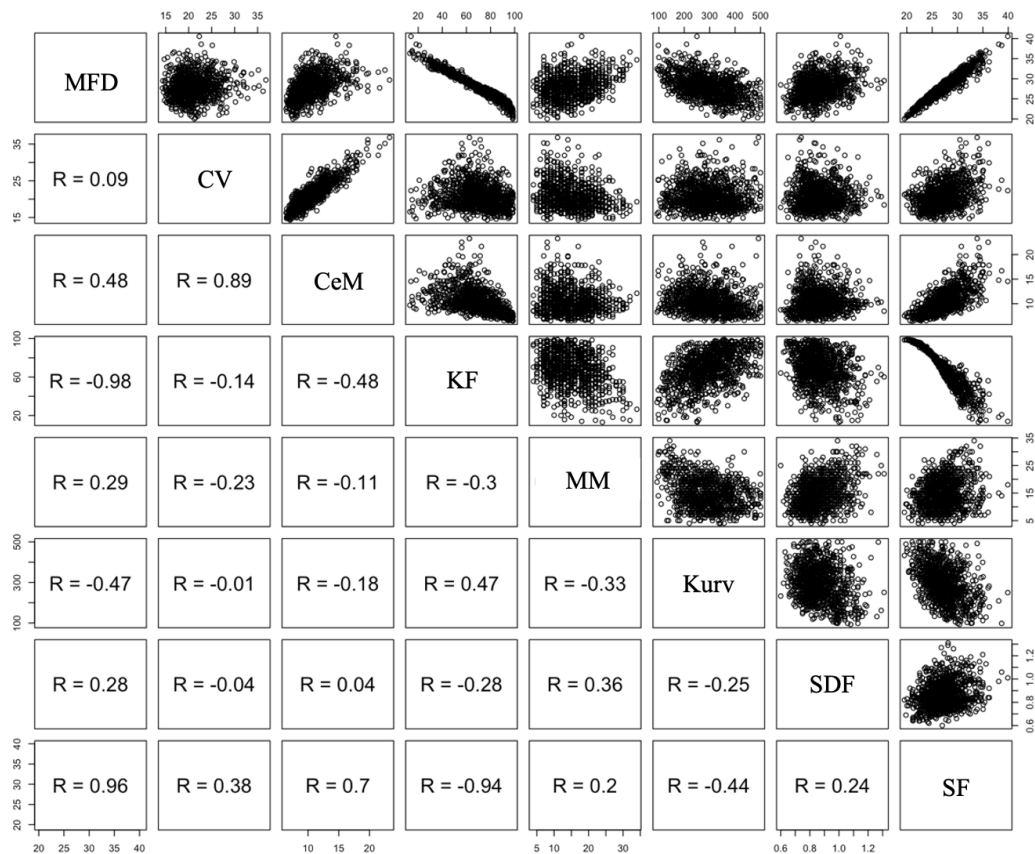
2.3 Fenotypiska varianser, ko-varianser och korrelationer

Tabell 3 visar beräknade värden för de olika egenskaperna. Det feta diagonala värdena är variansen och resterande är kovariansen mellan respektive par av egenskaper. Både positiva och negativa kovarianser kan iaktas.

Tabell 3: Varians och kovarians för egenskaperna

	MFD	CV	CeM	KF	MM	Kurv	SDF	SF
MFD	8,92	1,01	3,64	-51,27	4,89	-123,14	0,1	8,96
CV		12,84	8,13	-8,99	-4,68	-4,49	-0,02	4,21
CeM			6,55	-21,66	-1,51	-39,68	0,01	5,63
KF				309,63	-29,57	723,53	-0,57	-52
MM					31,32	-159,91	0,24	3,56
Kurv						7698,78	-2,57	-120,44
SDF							0,01	0,09
SF								9,82

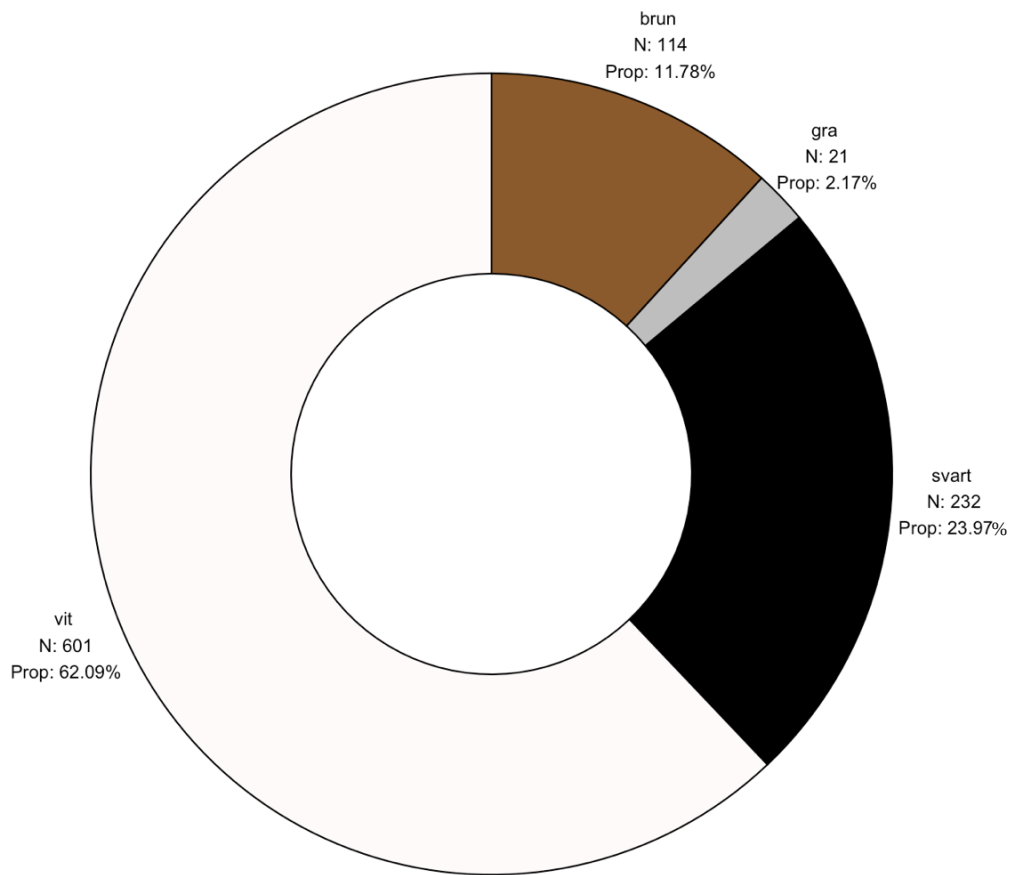
I Figur 3 visualiseras korrelationer mellan egenskaperna. De egenskaper som har starkast negativ korrelation är MFD och KF (-0,98) samt SF och KF (-0,94). De egenskaper som har starkast positiv korrelation är MFD och SF (0,96) samt CV och CeM (0,89). De egenskaper som har svagast negativ korrelation är CV och Kurv (-0,01) samt CV och SDF (-0,04) och de egenskaper som har svagast positiv korrelation är CeM och SDF (0,04) samt MFD och CV (0,09).



Figur 3: Korrelationer mellan egenskaperna

2.3.1 Färg frekvenser

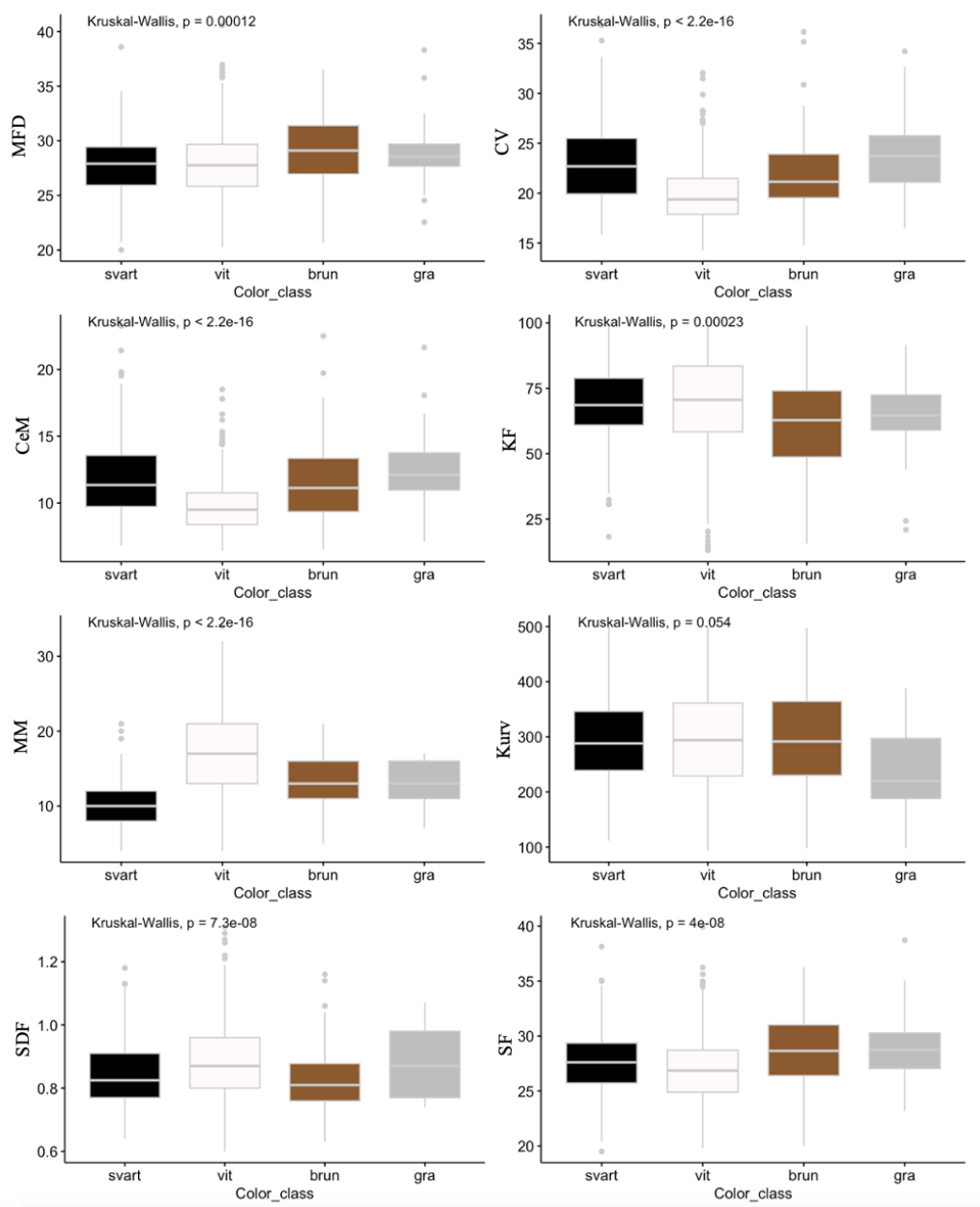
Finullsfårens färg visualiseras i ett ringdiagram. Den största andelen av fåren har en vit färg och består av ~62% (601 st). De svarta fåren är näst störst i antal och utgörs av ~24% (232 st.). Därefter finns det ett ännu mindre antal får med färgen brun, ~12% (114 st.), samt färgen grå som endast utgörs av ~2% (21 st.).



Figur 4: Ringdiagram för de olika färggrupperna vit, svart, brun och grå.

2.4 Association-tester mellan färg och egenskaper

Kruskal-Wallis tester har undersökt skillnader mellan egenskaperna och färggrupperna (Figur 5). P-värden visar att alla (förutom Kurv) har en signifikant skillnad mellan färggrupperna. För egenskapen MFD ligger den bruna färgen högst värde i följd av grå, vit och sist svart. Den gråa färgen har det högsta värdet på CV och den vita färgen har det lägsta värdet. För CeM ligger vit färg lägst, brun och svart därefter och högst ligger den svarta färgen. Färgerna för egenskapen KF har värden som ligger nära varandra, med vit som högt och brun som lägst. För MM skiljer den svarta färgen sig märkbart från de övriga färgerna som är relativt lika varandra (vitt lite högre). Vit och grå ligger högst för SDF och svart och brun ligger lägst. För SF har brun och grå högsta värden i följd av svart och till sist vit.

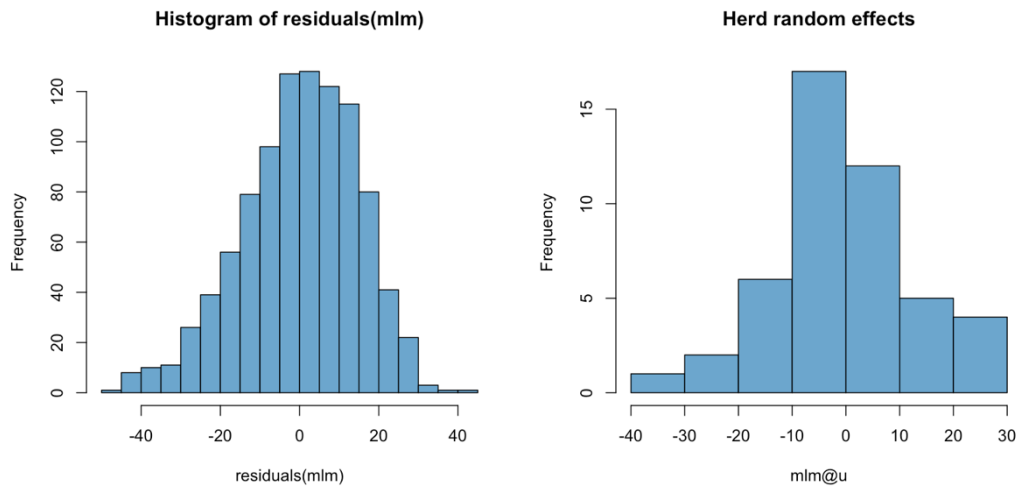


Figur 5: Kruskal-Wallis test med box plots för de olika egenskaperna fördelat i färggrupperna svart, vit, brun och grå.

Vid exkludering av den gråa färgen (få i antal) påvisades liknande resultat med signifikanta p-värden förutom för Kurv, som ovan).

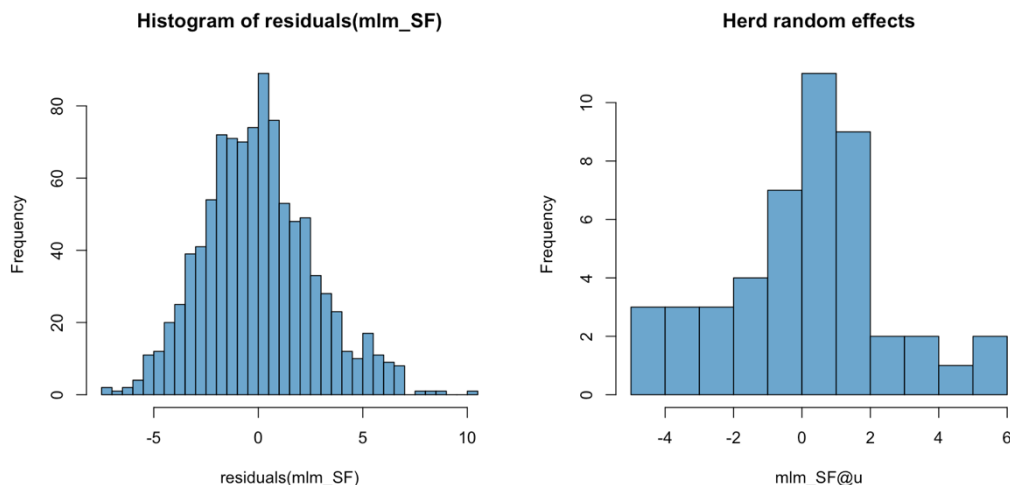
2.5 Statistiska modeller för KF och SF

En Mixed effect model för KF och SF bekräftar att färg har en signifikant effekt för båda egenskaperna (Bilaga 3 och 4). I histogrammen (Figur 6 och 7) går det att se att residualen och den slumpmässiga effekten följer liknande distribution som respektive egenskaper. Den slumpmässiga effekten för KF visar en varians på 61,89 vilket representerar 19,98% av den totala fenotypiska variansen.



Figur 6: Histogram för KF visar distributionen för residualen och den slumpmässiga effekten.

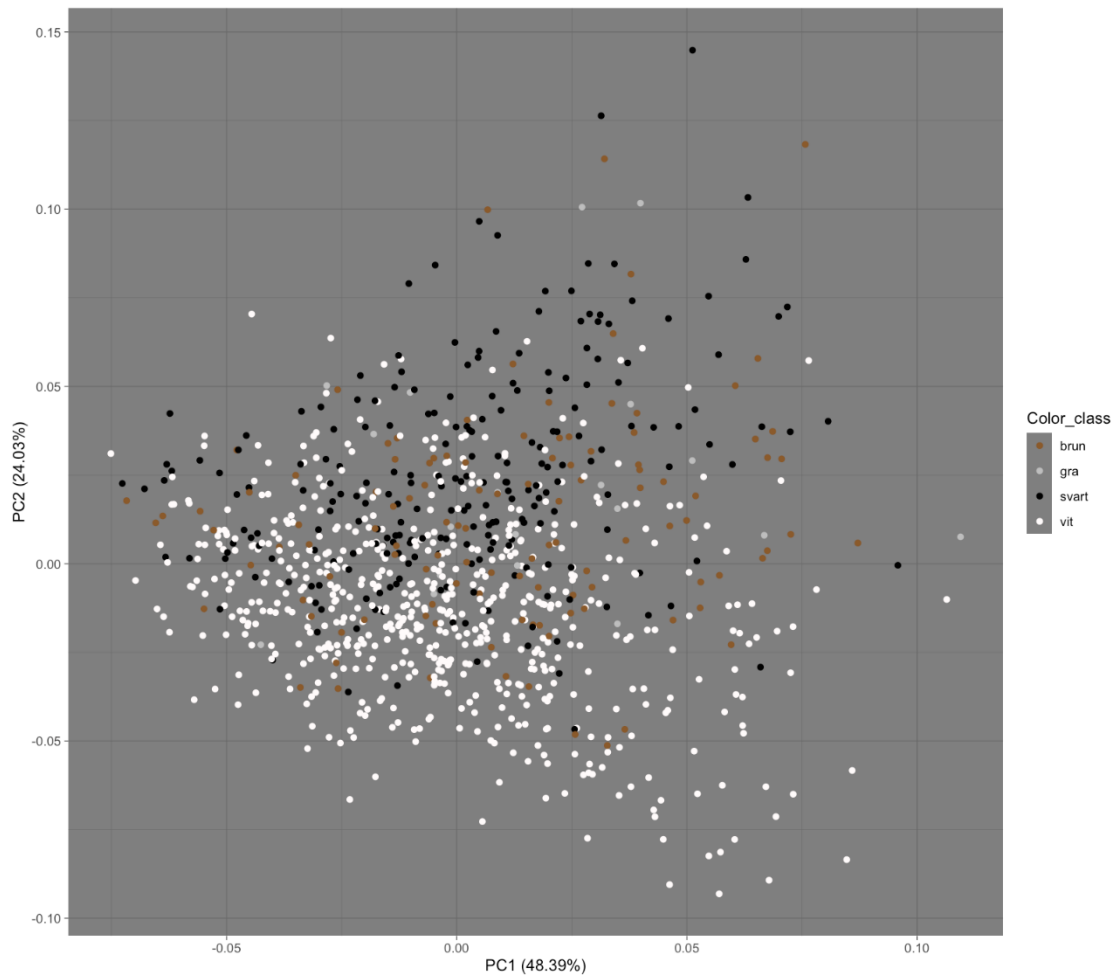
Den slumpmässiga effekten för SF har en varians på 1,99 vilket motsvarar 20,26% av den totala fenotypiska variansen.



Figur 7: Histogram för SF visar distributionen för residualen och den slumpmässiga effekten.

2.6 PCA

PC1 och PC2 förklarar 48,39% respektive 24,03% av den totala variansen. Utmed den första axeln (PC1) går det inte att se någon utmärkande skillnad mellan färgerna. För den andra axeln (PC2) går det dock att tyda att den vita färgen särskiljer sig något från de andra färgerna.



Figur 8: PC1 och PC2 illustrerar mönster för färggrupperna vit, svart, brun och grå.

Diskussion

3.1 Beskrivande statistik och fenotypiska korrelationer

3.1.1 Ullegenskapernas tabellvärden

Medelvärde för MFD går att se i tabell 2 och anger 28,03 μm . Genom att endast se på tabellvärdet klassas ullfibrerna vara komfortabla, då de ligger under gränsvärdet 30 μm . Men, oavsett om medelvärdet är under 30 μm så är det viktigt att ta hänsyn till de fem procent grövsta fibrerna (CeM). Det är dessa fibrer som avgör komfortfaktorn (Holman & Malau-Aduli 2012). Genom att addera CeM värdet med MDF uttrycks ett värde för fiberdiametern som är mer talande för hur fibrerna kommer upplevas mot huden. Medelvärde för CeM i tabell 2 anger 10,56 μm och genom att addera det med MFD blir det totala värdet 38,59 μm . De sammanslagna värdena överstiger 30 μm och indikerar på en väldigt grov fiberdiameter (Rajabinejad et al. 2019). Genom att slå ihop MDF och CeM kommer ullfibrerna inte kunna klassas ha en hög komfort och därmed inte rekommenderas till användning för textilier nära huden.

För att ullfibrerna ska vara komfortabla behöver komfortfaktorn ligga som lägst på 95%. Det får inte finnas mer än 5% fibrer som är grövre än 30 μm (Holman & Malau-Aduli 2012; Wool Testing Authority Europe u.å.). KF visar ett medelvärde på 68,2% i tabell 2. Genom att subtrahera 68,2 från 100 beskrivs komfortfaktorn för ullfibrerna. I detta fall blir KF 31,8%. Enligt värdet på KF anses ullfibrerna inte ha en hög komfort då de inte når upp till 95% gränsen. I tabell 2 går det även att se att det finns en stor skillnad mellan minimumvärdet för KF som ligger på 13,01 % och maximumvärdet som ligger på 98,89%, det finns alltså stora skillnader för KF inom fårrasen.

CV och SDF beskriver vilken typ av variation som finns för diametern hos ullfibrerna. Vid tillverkning av textilier med hög komfort och med bra ekonomisk avkastning önskas höga värden för CV och låga värden för SDF (Holman & Malau-Aduli 2012). I tabell 2 går det att se att medelvärdet för CV ligger på 20,92% vilket är något lägre än vad som (Malau-Aduli et al. 2012) fann hos merinokorsade lamm,

som hade ett CV-värde på 21,9%. Samma studie visade ett värde på 5,3 μm för SDF (Malau-Aduli et al. 2012) och i jämförelse till merinokorsningarna hade finullsfåren ett lägre värde på 0,87 μm . I en studie utförd av (Botha & Hunter 2010) undersöktes olika samband mellan medelvärdet hos fiberdiametern, CV och SD. Där fann det att fibrer från försäljningspartier hade ett medelvärde på 28 μm , ett CV-värde på 24,2% och SD-värde på 6,6 μm . De fann även att fibrer med lägre medelvärde (16 μm), hade lägre CV (22%) samt lägre SD (3,5 μm) (Botha & Hunter 2010).

Medelvärdet på Kurv ligger på 293,24 deg/mm. I (Botha & Hunter 2010) artikel går det att läsa att kurvintervall kan delas upp i 3 kategorier, där ”lågt” är <50 deg/mm, ”mellan” 60-90 deg/mm och ”høgt” är >100 deg/mm. Om värdet på Kurv delas in efter denna kategori klassas ullfibrerna ha ett høgt kurvintervall. Men då egenskapen Kurv beskriver medelvärdet på max kurvaturen, och inte endast medelvärdet, går det inte att jämföra dessa värden på ett bra sätt. De går att se att prover som har den lägsta max kurvaturen ligger på 90 deg/mm, vilket kan indikera på att det finns ullfibrer som skulle kunna klassas ha ett ”lågt” eller ett ”mellan” kurvintervall. Egenskapen kurvatur är dock en mindre viktig ullegenskap när det gäller att värdera ullens kvalitet. Kurvatur kan dock ge en visuell hänvisning till vilka fällor som består av høgre fiberdiameter på grund av större och färre kurvor. Nackdelen med allt för kurviga fibrer är att det kan vara svåra att arbeta med samt bli mindre tilltalande garn (Holman & Malau-Aduli 2012).

SF ligger på 27,33 μm vilket är høgre än vad SF för får korsade med rasen merino kan ligga på, som kan ha ett värde runt 22 μm (Malau-Aduli et al. 2012). Spinnfinhet har en avgörande roll för finfibriga garner men då ull från finullsfår är av den grövre diametern, och blir till kamgarn, har värdet på SF inte så stor betydelse för rasen finullsfår (Waller 2023). Finullsfåren ska enligt rasbeskrivningen inte ha mārghaltiga fibrer i sin ull (Föreningen Svenska Finullsfår 2018) och då mätinstrumentet som användes, OFDA 100, inte ser skillnad på pigmenterade fibrer och mārghaltiga (Waller 2015) är värdena på MM svåra att tolka och analysera.

Egenskapernas tabellvärden indikerar på att ullfibrerna i det här proverna inte har en hög komfort. Användningsområdet för dessa ullfibrer skulle förmodligen rekommenderas till mattor eller dylikt, inte till textilier som bärs närmast huden. Finullsfår har dock en glansig ull, vilket gör att den enklare böjer sig mot huden och glans kan därför komplimentera för grovhet. Detta gör att det fungerar att ha en grövre fiberdiameter, ovan 30 μm , vid tillverkning av kroppsnära textilier från rasen svenska finullsfår. Exempelvis går det att tillverka behagliga textilier med en fiberdiameter på ca 40 μm om det har tillräckligt hög glans (Waller 2023).

3.1.2 Normalfördelningar och korrelationer

Histogrammen för de åtta egenskaperna visar att distributionen i princip är normalfördelad. Detta innebär att egenskaperna inte har några större extremvärden utan följer den så kallade normalkurvan. Den skevhet som går att se för vissa egenskaper i histogrammen finns både som positiv och negativ. QQ-plottar bekräftar i princip vad som syns i histogrammen.

I figur 3 visualiseras 28 korrelationer mellan de åtta egenskaperna varav fyra korrelationer utmärker sig från de övriga genom att ha en stark korrelation. Den första korrelationen som utmärker sig är den mellan egenskapen MFD och KF och har den starkaste negativa korrelationen på $-0,98$. KF sjunker ju högre procent av grova fibrer ($>30\text{ }\mu\text{m}$) som finns. Om MDF är högt, exempelvis över $30\text{ }\mu\text{m}$ är det sannorlikt att den totala procenten av fibrer ovan $30\text{ }\mu\text{m}$ är högre. Negativa korrelationen mellan MFD och KF har påvisats i tidigare studier ((Malau-Aduli & Akuoch 2012; Jafari 2015; Doyle et al. 2021). Ännu en utmärkande stark negativ korrelation går att se mellan SF och KF på $-0,94$. Samma starka negativa korrelation ($-0,94$) har dokumenteras av (Malau-Aduli et al. 2012) och liknande ($-0,95$) av (Malau-Aduli & Akuoch 2012). Just denna korrelation är önskvärd att ha då textilindustrin strävar efter komfortabla garn med bra (låg) spinnfinhet (Holman & Malau-Aduli 2012; Malau-Aduli et al. 2012).

Det finns två positivt starka korrelationer som utmärker sig. Den starkast positiva korrelationen är mellan egenskaperna MFD och SF på $0,96$. Korrelationen mellan de här två egenskaperna är förväntade då MFD används i ekvationen för att beräkna SF. SF är ett vidareutvecklat värde av MFD och CV (Malau-Aduli et al. 2012). En annan stark korrelation som går att se är mellan egenskaperna CV och CeM på $0,89$. Ingen tidigare forskning som undersöker korrelation mellan CV och CeM har hittats och det är därmed svårt att jämföra resultatet.

I korrelationsanalysen går det att se att egenskaperna Kurv och MM inte har starka positiva eller starka negativa korrelationer till någon annan egenskap. Men då det benämns i litteraturen att stora kurvmonster (lägre kurvintervall) kan indikera på grova fibrer, är det intressant att undersöka hur egenskaperna Kurv och MDF korrelerar med varandra. Figur 3 visar en negativ korrelation ($-0,47$) mellan egenskaperna vilket tyder på att korrelation finns. Det har upptäckts negativa korrelationer mellan Kurv och MDF i tidigare forskning och det finns även forskning som hänvisar till att korrelationen mellan Kurv och MDF är individuell, både inom och mellan raser (Botha & Hunter 2010).

3.2 Färg frekvens och associations-test mellan färg och egenskaper

I ringdiagrammen fördelas frekvensen för de olika färggrupperna tydligt. Den allra vanligaste färgen för finullsfår är den vita (~62%). Hur färgerna är fördelade i resultatet stämmer relativt bra överens med hur Föreningen Svenska Finullsfår rapporterade att fördelningen var för 55% av finullsfåren år 2016. Under 2016 omfattades rasen av 62% vita, 24% svarta och 14% bruna får. Även då endast hälften av fåren är mönstrade tror föreningen att det är en relativt representativ uppdelning för färgfrekvensen i rasen (Föreningen Svenska Finullsfår 2018). De färger som ingår i rasbeskrivningen för svenska finullsfår är vit, svart och brun (Föreningen Svenska Finullsfår 2018). Den gråa färgen som beskrivs är tillagd i arbetet och består av en blandning mellan färgerna. Enligt (Föreningen Svenska Finullsfår 2018) ingår fläckar i rasen och individer med dominant färggen får inte användas i rasen.

Då den vita färgen är störst i antal är det intressant att se i associationstesten om färgen utmärker sig från de andra i hur de korrelerar till de utvalda egenskaperna. För egenskapen MFD är skillnaderna mellan hur färgerna korrelerar till egenskapen rätt liten. Den vita färgen är snarlik den svarta och dem båda ligger lägst. Brun har det högsta värdet för MFD i följd av den gråa färgen. För MFD är det enligt kommersiella mått önskvärt att ha ett lågt värde (Holman & Malau-Aduli 2012). Om dessa fibrer skulle användas till klädesplagg skulle den vita färgen klassas som bättre än övriga färger. Enligt (Holman & Malau-Aduli 2012) är det önskvärt att ha ett högt värde för CV. Associations-testet visar att den svarta och bruna färgen har högst värde. Vit färg har lägst värde. För egenskapen SDF har alla färgerna rätt lika värden. Den vita och gråa är något högre och då SDF värdet fördelaktigt är lågt är det en nackdel för den vita färgen. CeM värdet är med fördel lägst för den vita färgen.

Komforten anges av egenskapen KF och det är av intresse att ha ett så högt KF värde som möjligt (Holman & Malau-Aduli 2012). Den vita färgen har högst KF och den bruna lägst. Detta antyder att den vita färgen ska ha komfortablare ull och att den bruna är minst komfortabel. Fibrernas spinnfinhet ska ha ett lågt värde. Färgerna skiljer sig inte så mycket för egenskapen SF. Den vita färgen är fördelaktigt lägre än de övriga färgerna. MM mäter minimumvärdet för mörghaltiga fibrer, i figur 5 går det att se att den vita färgen har det högsta värdet följt av brun, grå och svart färg. Dessa värden är svåra att analysera med tanke på att OFDA 100 inte gör skillnad mellan mörk och pigment. Ingen analys av Kurv har utförts då egenskapen inte påvisade signifikanta skillnader.

Generellt finns det mycket forskning för ull och ullegenskaper, men mestadels är den utförd på merinofåren, vilka alla är vita. Signifikanta kopplingar mellan ullegenskaper och färger har dock hittats i forskning för alpackor (Lupton et al. 2006; Cruz et al. 2017). Exempelvis har den naturliga vita färgen för alpackor påvisats vara av finare fibrer än de andra fiberfärgerna som deltog i Lupton et al. (2006) studie. Vid jämförelse av ullegenskaperna MFD och KF för den vita färgen hos de svenska finullsfåren och merinofår, går det att se tydliga skillnader. I studier utförda av (Mortimer et al. 2009) och (Bidinost et al. 2008) har merinofår i åldrarna 1–2 år en MFD mellan 15–17 μm . Enligt (Rajabinejad et al. 2019; Petek & Marinšek Logar 2021) anses dessa merinofår ha en ”extra fin” ull. De vita finullsfårens median för medelvärde av MDF låg enligt associationstestet mellan 25 och 30 μm . Vita finullsfårs ull klassas därför som ”medium” i fibertjocklek (Rajabinejad et al. 2019). Enligt kommersiella mått är den ullen fortfarande önskvärd (Holman & Malau-Aduli 2012) men det är viktigt att addera CeM värdet med MFD för att få fram ett värde som beskriver komforten bäst. Trots att den vita färgen hade lägst CeM ligger värdet strax under 10 μm (mellan 5–10 μm) och detta innebär att 30 μm gränsen kommer passeras och ullfibrerna kommer troligtvis upplevas som stickiga vid hudkontakt. Den vita färgen hos finullsfåren låg bäst till för egenskapen KF med ca 70%. Detta värde är dock lågt i jämförelse till den önskvärda 95% gränsen. Hos olika åldrar för merinofår går det att finna värden mellan 99,1–99,6% för KF (Hatcher & Brown 2010) vilket enligt kommersiella mått är en hög komfort (Holman & Malau-Aduli 2012).

Den vita färgen ska enligt Föreningen Svenska Finullsfår (2018) ha en märkbart bättre ullkvalitet i jämförelse med de andra färgerna. Föreningen rekommenderas att korsa vita och färgade får i aveln för att ullkvaliteten hos färgerna grå, brun och svart ska bli bättre (Föreningen Svenska Finullsfår 2018). Lantbrukare och föreningen är dock måna om att bevara det olika färgerna för de svenska finullsfåren. Så oavsett om någon färg skulle ha bättre ullkvaliteter finns inget intresse av att avla bort någon färg (Waller 2023).

3.3 Statistiska modeller för KF och SF

De statistiska modellerna för egenskaperna KF och SF visade att den fixa effekten färg hade en signifikant effekt för dem båda. Histogrammen för residual och den slumpmässiga effekten följer distributionen för de båda egenskaperna vilket tyder på att korrigeringen för färg kan vara relevant.

För både KF och SF visade de statistiska modellerna att den totala fenotypiska variansen bestod ca 20% av den slumpmässiga effekten (besättning). Förutom den genetiska effekten, så som att det troligtvis är fler får som är släkt med varandra på

samma gård, skulle dessa 20% kunna indikera på att det är av stor vikt att lantbrukaren förvaltar sin besättning väl. Miljöfaktorer som hygienisk kvalitet i stallarna, väl planerade foderstater och i övrig en bra djurvelfärd kan alltså komma att ha betydelse. En annan faktor som kan ha en avgörande roll skulle kunna vara vart besättningen är lokaliserad i landet, med tanke på temperatur och utevistelse (Holman & Malau-Aduli 2012; Jamshed Khan 2012; Malau-Aduli et al. 2012)

Vidare skulle liknande modell kunna användas för att mäta genetiska värden (parametrar) om den genetiska slumpmässiga effekten adderas. Härstamningsinformation eller genotypisk information skulle i detta fall vara nödvändigt.

3.4 PCA

PCA har för de åtta egenskaperna reducerat dimensioner och visat strukturen för datan. PC1 och PC2 tillsammans förklarar 72,42% av den totala variansen (Figur 8). En intressant iakttagelse är att det går att urskilja den vita färgen. Tidigare studier har undersökt ullegenskaper genom PCA (Zhao et al. 2021; Becker et al. 2023) men inga liknande studier där olika färger ingår är funna.

Slutsats

Analysen av de 968 ullfiberproverna visade att det fanns signifikanta skillnader mellan de olika färgerna. Den vita färgen, bestående av 62% av fåren, utmärkte sig till viss del från övriga färger. Enligt associations-testet hade den vita färgen främst ett fördelaktigt högre värde för KF. I (Föreningen Svenska Finullsfår 2018) rapport ”avelsplan för svensk finull” bekräftas den vita färgen vara fördelaktig gällande ullegenskaper. Trots detta rekommenderar föreningen att avla på alla färger då det är både traditionellt uppskattat och genetiskt fördelaktigt (Föreningen Svenska Finullsfår 2018; Waller 2023).

Korrelationsanalysen mellan de olika egenskaperna visade att det fanns fyra korrelationer som utmärkte sig som både starkt positiva och starkt negativa. En av dessa korrelationer var mellan KF och SF (-0,94) och är gynnsam vid tillverkning av mjuka och behagliga garn.

Analysen av finullsfåren fenotypiska egenskaper indikerar att de svenska finullsfårens ullfibrer är grövre än vad den kommersiella marknaden efterfrågar hos fibrer som ska användas för produktion av kroppsnära textilier. Men enligt raskunniga inom Föreningen Svenska finullsfår ska fårens glansiga ull kunna kompensera för grovleken (Waller 2023).

I framtida studier kan fårens genetiska information eller deras härstamningsinformation kunna komplettera det här arbetet för att upptäcka genetiska korrelationer och för att utforma avelsprogram.

Referenser

- Adams, N.R. & Cronjé, P.B. (2003). A review of the biology linking fibre diameter with fleece weight, liveweight, and reproduction in Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54 (1), 1.
<https://doi.org/10.1071/AR02059>
- Axfoundation (2023). The Swedish Wool Initiative. *Axfoundation*.
<https://www.axfoundation.se/projekt/swedish-wool-initiative> [2023-07-17]
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48.
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Becker, G.M., Woods, J.L., Schauer, C.S., Stewart, W.C. & Murdoch, B.M. (2023). Genetic association of wool quality characteristics in United States Rambouillet sheep. *Frontiers in Genetics*, 13, 1081175.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1081175>
- Bidinost, F., Roldan, D.L., Doderio, A.M., Cano, E.M., Taddeo, H.R., Mueller, J.P. & Poli, M.A. (2008). Wool quantitative trait loci in Merino sheep. *Small Ruminant Research*, 74 (1–3), 113–118.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.04.005>
- Botha, A.F. & Hunter, L. (2010). The measurement of wool fibre properties and their effect on worsted processing performance and product quality. Part 1: The objective measurement of wool fibre properties. *Textile Progress*, 42 (4), 227–339. <https://doi.org/10.1080/00405167.2010.486932>
- BSC Electronics (2016). *OFDA 2000*
- BSC Electronics (2023a). *Company Profile | OFDA. ofda2*.
<https://www.ofda.com/company-profile> [2023-05-10]
- BSC Electronics (2023b). *OFDA 2000 Benchtop & Portable | OFDA. ofda2*.
<https://www.ofda.com/ofda2000-1> [2023-09-27]
- BSC Electronics (2023c). *Retired Instruments | OFDA. ofda2*.
<https://www.ofda.com/diamscope> [2023-09-27]
- Chereji, B.-D. & Munteanu, F.-D. (2022). THE IMPACT OF SHEEP WASTE WOOL ON THE ENVIRONMENT. *Earth Observation*,
- Cruz, A., Cervantes, I., Burgos, A., Morante, R. & Gutiérrez, J.P. (2017). Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca. *Animal*, 11 (5), 746–754. <https://doi.org/10.1017/S175173111600210X>
- Dénes, O., Florea, I. & Manea, D.L. (2019). Utilization of Sheep Wool as a Building Material. *Procedia Manufacturing*, 32, 236–241.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.208>
- Doyle, E.K., Preston, J.W.V., McGregor, B.A. & Hynd, P.I. (2021). The science behind the wool industry. The importance and value of wool production

- from sheep. *Animal Frontiers*, 11 (2), 15–23.
<https://doi.org/10.1093/af/vfab005>
- Duerden, J.E. (1924). Kemp fibres in the merino sheep. *Journal of the department of agriculture*,
- Elitlamm (2022). *Elitlamm avel 2022*
- Fischer, A. (2022). An introduction to enviromental communication. Power Point, Uppsala.
- Föreningen Svenska Finullsfår (2016a). Om finullsfåret. *Föreningen Svenska Finullsfår*. <http://finull.se/om-finullsfaret/> [2023-07-16]
- Föreningen Svenska Finullsfår (2016b). Om Föreningen Svenska Finullsfår. *Föreningen Svenska Finullsfår*. <http://finull.se/svenska-finullsforeningen/> [2023-05-12]
- Föreningen Svenska Finullsfår (2018). *Avelsplan för rasen svensk finull*
- Geisendorf, S. & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60 (5), 771–782.
<https://doi.org/10.1002/tie.21924>
- Gonzalez, E.B., Sacchero, D.M. & Easdale, M.H. (2020). Environmental influence on Merino sheep wool quality through the lens of seasonal variations in fibre diameter. *Journal of Arid Environments*, 181, 104248.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104248>
- Gross, L.F. (1987). Wool Carding: A Study of Skills and Technology. *Technology and Culture*, 28 (4), 804. <https://doi.org/10.2307/3105183>
- Hatcher, S. & Brown, D.J. (2010). IS FIBRE COMFORT FACTOR REQUIRED IN MERINO BREEDING PROGRAMS?
- Holman, B.W.B. & Malau-Aduli, A.E.O. (2012). A Review of Sheep Wool Quality Traits.
- Holt, C.M. (2006). *A survey of the relationships of crimp frequency, micron, character & fibre curvature*
- Högskolan i Borås (2020). *Svensk ull på framfart genom ökad kunskap. Högskolan i Borås*. <https://www.hb.se/om-hogskolan/aktuellt/nyhetsarkiv/2020/april/svensk-ull-pa-framfart-genom-okad-kunskap/> [2023-04-17]
- Jafari, S. (2015). Genetic selection for wool quality. *CABI Reviews*, 2015, 1–7.
<https://doi.org/10.1079/PAVSNR201510017>
- Jamshed Khan, M. (2012). Factors affecting wool quality and quantity in sheep. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, 11 (73).
<https://doi.org/10.5897/AJBX11.064>
- Jordbruksverket (2022). *Lantbrukets djur i juni 2022*. [text].
<https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2022-10-14-lantbrukets-djur-i-juni-2022> [2023-09-15]
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P.B. & Christensen, R.H.B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82, 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lupton, C.J., McColl, A. & Stobart, R.H. (2006). Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca. *Small Ruminant Research*, 64 (3), 211–224.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.023>

- Malau-Aduli, A.E.O. & Akuoch, J.D.D. (2012). Sire Genetics, Protein Supplementation and Gender Effects on Wool Comfort Factor in Australian Crossbred Sheep. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2 (1), 31–46. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2012/943>
- Malau-Aduli, A.E.O., Holman, B.W.B. & Lane, P.A. (2012). Influence of Sire Breed, Protein Supplementation and Gender on Wool Spinning Fineness in First-Cross Merino Lambs.
- Moorhouse, D. & Moorhouse, D. (2017). Sustainable Design: Circular Economy in Fashion and Textiles. *The Design Journal*, 20 (sup1), S1948–S1959. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352713>
- Mortimer, S.I., Robinson, D.L., Atkins, K.D., Brien, F.D., Swan, A.A., Taylor, P.J. & Fogarty, N.M. (2009). Genetic parameters for visually assessed traits and their relationships to wool production and liveweight in Australian Merino sheep. *Animal Production Science*, 49 (1), 32. <https://doi.org/10.1071/EA08074>
- Perey, R., Benn, S., Agarwal, R. & Edwards, M. (2018). The place of waste: Changing business value for the circular economy. *Business Strategy and the Environment*, 27 (5), 631–642. <https://doi.org/10.1002/bse.2068>
- Petek, B. & Marinšek Logar, R. (2021). Management of waste sheep wool as valuable organic substrate in European Union countries. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23 (1), 44–54. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01121-3>
- R Core Team (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Radetic, M., Ilic, V., Radojevic, D., Miladinovic, R., Jovic, D. & Jovancic, P. (2008). Efficiency of recycled wool-based nonwoven material for the removal of oils from water. *Chemosphere*, 70 (3), 525–530. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.07.005>
- Rajabinejad, H., Buciscanu, I.-I. & Maier, S.S. (2019). CURRENT APPROACHES FOR RAW WOOL WASTE MANAGEMENT AND UNCONVENTIONAL VALORIZATION: A REVIEW. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18 (7), 1439–1456. <https://doi.org/10.30638/eemj.2019.136>
- Rasali, D.P., Shrestha, J.N.B. & Crow, G.H. (2005). Development of composite sheep breeds in the world: A review.
- Rodens Ullbruk (2023). Om ull – Rodens Ullbruk. <https://www.rodensullbruk.se/om-ull-2/> [2023-08-13]
- Rogers, G.E. (2006). Biology of the wool follicle: an excursion into a unique tissue interaction system waiting to be re-discovered. *Experimental Dermatology*, 15 (12), 931–949. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0625.2006.00512.x>
- Russell, I.M. (2009). 3 - Sustainable wool production and processing. I: Blackburn, R.S. (red.) *Sustainable Textiles*. Woodhead Publishing. 63–87. <https://doi.org/10.1533/9781845696948.1.63>
- Salem Allafi, F.A., Hossain, M.S., Ab Kadir, M.O., Hakim Shaah, M.A., Lalung, J. & Ahmad, M.I. (2021). Waterless processing of sheep wool fiber in textile industry with supercritical CO₂: Potential and challenges. *Journal*

- of *Cleaner Production*, 285, 124819.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124819>
- Scobie, D.R., Grosvenor, A.J., Bray, A.R., Tandon, S.K., Meade, W.J. & Cooper, A.M.B. (2015). A review of wool fibre variation across the body of sheep and the effects on wool processing. *Small Ruminant Research*, 133, 43–53.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.10.025>
- SGS, S.G. de S. (2014). *OFDA (OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSER)*.
https://www.sgs.com/en/-/media/sgscorp/documents/corporate/technical-documents/wool-testing-info-bulletins/SGSAGRI_OFDA_32dA4EN1403.cdn.en.pdf
- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S. & Naebe, M. (2020). Death by waste: Fashion and textile circular economy case. *Science of The Total Environment*, 718, 137317.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- Sjödin, E., Eggersten, J., Hammarberg, K.-E., Danell, Ö., Näsholm, A., Barck, S., Green, D., Waller, A., Hansson, I., Persson, S. & Kumm, K.-I. (2007). *Får*. 8. uppl. Stockholm: Natur & Kultur.
- Svenska finullsföreningen (2015). *Inventering av finullsbaggat 2013-2014*. Gotland.
- Svenska Fåravelsförbundet (2023). *Fårraser i Sverige*.
<https://faravelsforbundet.se/farraser-i-sverige/> [2023-08-13]
- Ullförmedlingen (2023a). *Några fårraser och deras ull - Ullförmedlingen*.
<http://ullformedlingen.se/posts/farraser-och-deras-ull> [2023-07-12]
- Ullförmedlingen (2023b). *Ullförmedlingen*. <https://ullformedlingen.se> [2023-07-17]
- Waller, A. (2015). RESOLVING FOLLICLE POPULATIONS WITHOUT BIOPSY – ENHANCING OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSIS OF WOOL AND FUR QUALITY. *Animal Production*,
- Waller, A. (2023). Zoommöte med Alan Waller. [2023-09-21]
- Wang, S., Wu, T., Sun, J., Li, Y., Yuan, Z. & Sun, W. (2021). Single-Cell Transcriptomics Reveals the Molecular Anatomy of Sheep Hair Follicle Heterogeneity and Wool Curvature. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 800157. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.800157>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*.
<https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wool Testing Authority Europe (u.å.). *Fleece Testing Using OFDA 2000*
- Zhao, H., Guo, T., Lu, Z., Liu, J., Zhu, S., Qiao, G., Han, M., Yuan, C., Wang, T., Li, F., Zhang, Y., Hou, F., Yue, Y. & Yang, B. (2021). Genome-wide association studies detects candidate genes for wool traits by re-sequencing in Chinese fine-wool sheep. *BMC Genomics*, 22 (1), 127.
<https://doi.org/10.1186/s12864-021-07399-3>
- Zheljzakov, V.D., Stratton, G.W., Pincock, J., Butler, S., Jeliazkova, E.A., Nedkov, N.K. & Gerard, P.D. (2009). Wool-waste as organic nutrient source for container-grown plants. *Waste Management*, 29 (7), 2160–2164. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.009>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Ett alltmer uppmärksammat klimatavtryck har gjort att många aktörer inom olika verksamhetsområden har fått upp ögonen för hållbarhet och resursanvändning. Textilbranschen är en av det mest kritiserade branscherna och detta har lett till att återvinning och återanvändning nu eftersträvs i större omfattning. I och med detta har naturmaterialet ull blivit aktuellt. Då både producenter och aktörer inom branschen har begränsad kunskap, samt att logistiska lösningar endast är småskaliga, har marknaden för ull inte kunnat expandera i en större omfattning. Ull är ett material med många uppskattade egenskaper och i Sverige är den svenska lantrasen svenskt finullsfåret en ras med goda ullkvaliteter. Rasen har utöver sin fina ull även goda reproduktionsegenskaper vilket har gjort att fåren också blivit populära att korsa med andra fårraser.

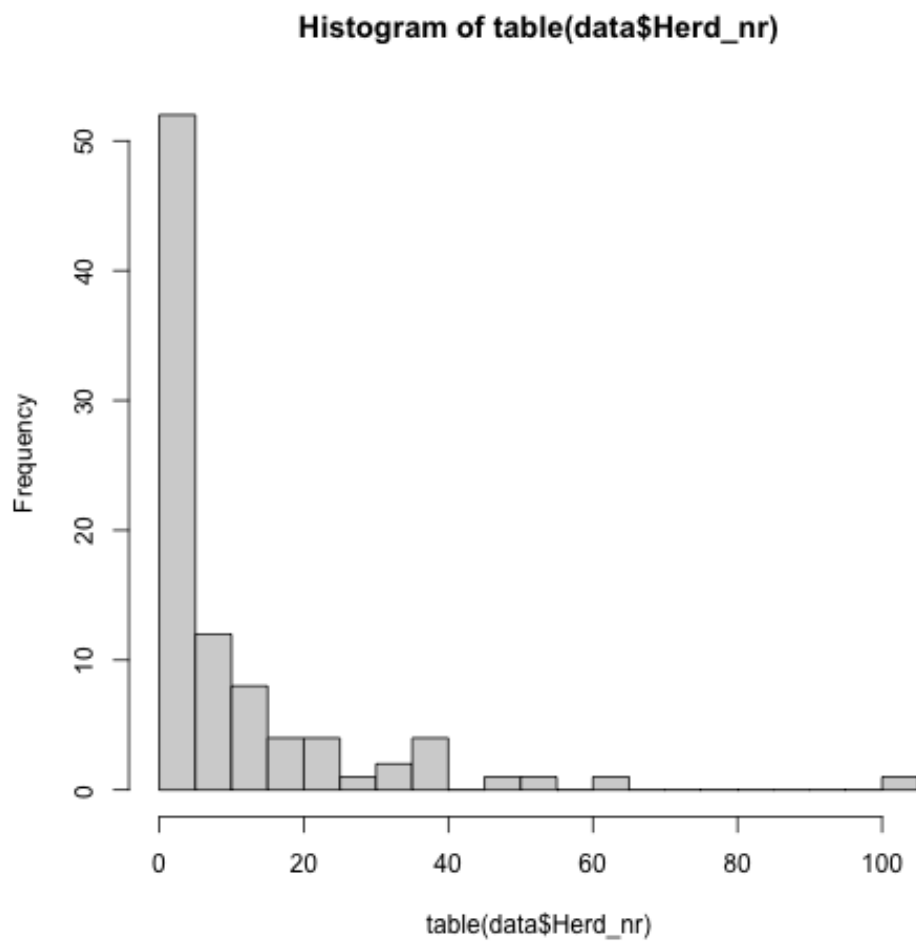
I det här arbetet har det svenska finullsfårets fysiska ullegenskaper analyserats. Totalt har 968 prover av ullfibrer analyserats med hjälp av en mätmetod som kallas Optical-based Fibre Diameter Analyse (OFDA). Via ett instrument (mikroskop) mäts fibrerna och olika värden tas fram för ullens egenskaper. Genom mätinstrumentet har ullegenskapernas variation och samband undersökts. Resultatet visar att det finns betydelsefulla skillnader mellan fårens färg (vit, svart, brun och grå) och åtta utvalda egenskaper. De egenskaper som har undersökts är medelvärde för ullfibers diameter (MFD), variationer mellan fibrernas diameter (SDF och CV), de fem procent grövsta fibrer (CeM), komfortabilitet (KF), spinnförmåga (SF), mörkhalten i fibrer (MM) samt kurvatur (Kurv). I analyserna utmärker sig den vita färgen, som är majoriteten av fåren (62%), från de tre övriga färgerna. Även samband mellan egenskaperna är identifierade, exempelvis hittades ett gynnsamt samband mellan ullfibers komfort (KF) och fibrers förmåga att spinnas (SF).

Efter att ha analyserat ullfibrerna för finullsfåren fysiska egenskaper går det att se att proverna indikerar på en grövre ull än vad den kommersiella marknaden efterfrågar hos fibrer som ska användas för produktion av kroppsnära textilier. Men enligt raskunniga inom Föreningen Svenska finullsfår ska fårens glansiga ull kunna kompensera för grovleken. För att vidare kunna undersöka genetiska samband och utforma eventuella avelsprogram i framtiden skulle genotypisk information eller härstamningsinformation kunna användas.

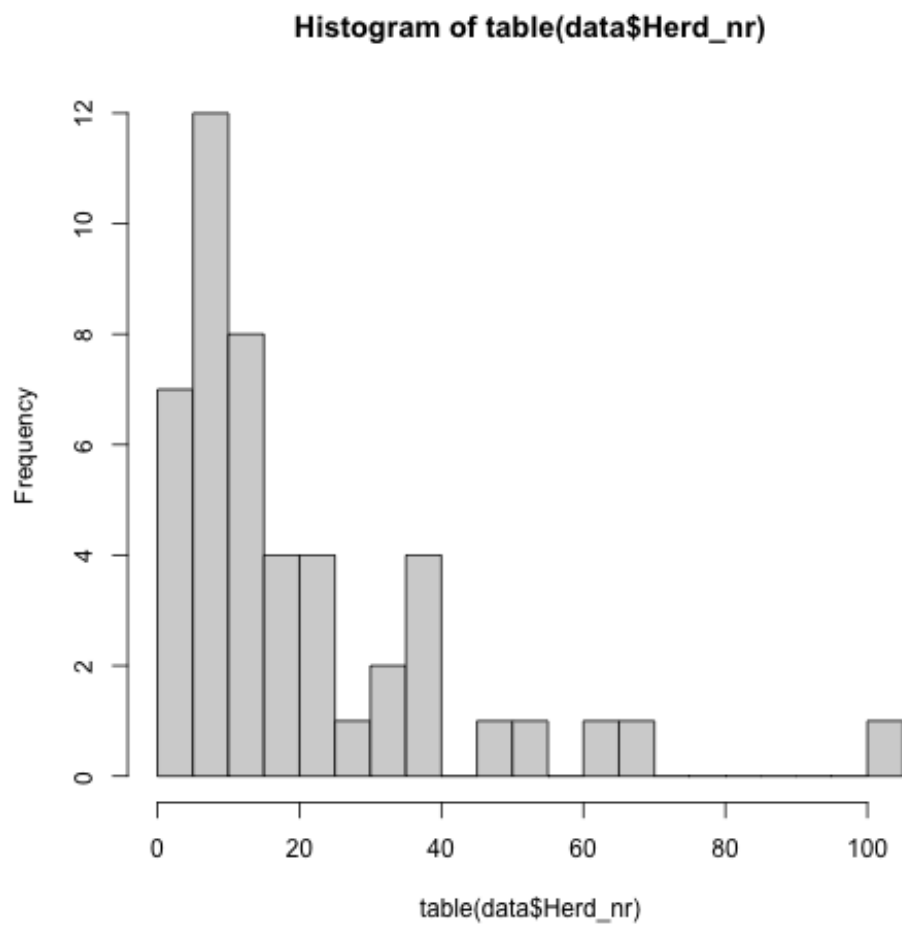
Tack

Tack till Anna Maria Johansson som gjorde det möjligt att utföra det här projektet, samt tack till Alan Waller som tog sig tid att hjälpa mig.

Bilaga 1



Bilaga 2



Bilaga 3

```
> mlm <- lmer(CF ~ 1 + Color_class + (1|Herd_nr), data = data)
> summary(mlm)
```

Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: CF ~ 1 + Color_class + (1 | Herd_nr)
Data: data

REML criterion at convergence: 8057.7

Scaled residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-3.01077	-0.61844	0.05951	0.72250	2.69181

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Herd_nr	(Intercept)	61.89	7.867
	Residual	226.56	15.052

Number of obs: 968, groups: Herd_nr, 47

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	61.847	1.948	183.830	31.756	< 2e-16 ***
Color_classgra	3.731	3.721	951.236	1.003	0.316315
Color_classssvart	7.303	1.902	960.615	3.839	0.000132 ***
Color_classsvt	8.211	1.747	944.621	4.701	2.97e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	Clr_clssg	Clr_clsss
Colr_clssgr	-0.336		
Clr_clsssvr	-0.643	0.376	
Colr_clssvt	-0.723	0.410	0.753

Bilaga 4

```
> mlm_SF <- lmer(SF ~ 1 + Color_class + (1|Herd_nr), data = data)
> summary(mlm_SF)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: SF ~ 1 + Color_class + (1 | Herd_nr)
Data: data
```

REML criterion at convergence: 4735.9

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.7103	-0.6545	-0.0287	0.5818	3.9016

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Herd_nr	(Intercept)	1.994	1.412
	Residual	7.219	2.687

Number of obs: 968, groups: Herd_nr, 47

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	28.8607	0.3484	174.1207	82.845	< 2e-16 ***
Color_classgra	-0.2251	0.6643	950.2884	-0.339	0.734745
Color_classssvart	-1.1915	0.3397	960.6379	-3.508	0.000473 ***
Color_classsvit	-2.0940	0.3119	944.1545	-6.714	3.26e-11 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	Clr_clssg	Clr_clsss
Colr_clssgr	-0.336		
Clr_clsssvr	-0.642	0.376	
Colr_clssvt	-0.722	0.410	0.754

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.