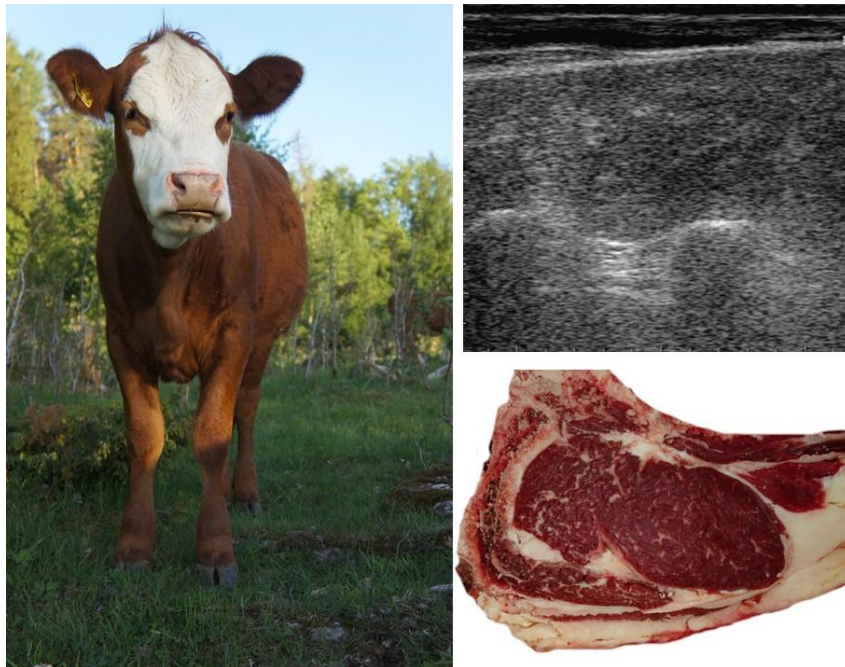


# Biovetenskap och material

## Jordbruk och livsmedel



Tekniker för att mäta köttkvalitet och slaktkroppsegenskaper på nötkreatur och lamm före slakt

Linnea Gustafsson & Cecilia Lindahl

RISE Rapport : 2019:76

# Tekniker för att mäta köttkvalitet och slaktkroppsegenskaper på nötkreatur och lamm före slakt

Linnea Gustafsson & Cecilia Lindahl

# Abstract

## **In vivo techniques for measuring carcass meat quality traits in cattle and lamb – a review**

Meat quality is a broad concept that can include e.g. retail product, ethical traits and eating quality. This report mainly focuses on the eating quality, i.e. the sensory properties, of the meat. Studies have shown that tenderness and taste is the most important eating quality traits in meat. The tenderness and taste are partly influenced by the amount of intramuscular fat (marbling) in the meat. Swedish carcasses of cattle and lamb is mainly classified according to the EUROP-system, which classifies the carcasses' shape and external fat deposition. There is also a Swedish standard for classification of marbling in beef, which is optional for the abattoirs to use. These parameters are only possible to influence when the animal is alive. The marbling of the meat is affected by e.g. breed, sex, age and feeding regime. In general, animals with lower growth rates have a greater potential to produce marbled meat. Also, an intense feeding regime has been shown to have a positive impact on the marbling grade. Marbling is a moderately heritable trait in cattle, which means that genetic progress can be achieved by selecting for marbling within a breed. To measure meat quality on live animals can provide valuable information in the aim to improve meat quality in Swedish beef.

This review presents techniques that have been evaluated in the application to measure carcass meat quality traits on live cattle and lambs. The techniques covered in the report are ultrasound, bioelectrical impedance (BIA), computed tomography, dual-energy x-ray absorptiometry (DXA), 3D-imaging and nuclear magnetic resonance (NMR). Studies have shown that marbling in cattle can be measured with similar accuracy by ultrasound and BIA, and there is also potential to develop NMR for measurement of marbling in shallow muscles. Both fat and muscles in cattle can be measured with ultrasound, BIA, computed tomography and there is also potential to develop 3D-imaging for these traits. Fewer studies have focused on lamb meat quality and for marbling, only studies on computed tomography was found. Muscles and fat content in live lambs have been successfully measured by ultrasound, BIA, computed tomography and DXA. At present, ultrasound and 3D-imaging are the techniques considered to have the potential to be practically applicable for measuring carcass meat quality traits in live animals in Sweden.

**Key words:** Marbling, intramuscular fat, ultrasound, bioelectric impedance, x-ray, 3D-imaging, Nuclear magnetic resonance

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport : 2019:76

ISBN: 978-91-89049-04-8

Uppsala/Skara

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>2</b>
<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>Förkortningar</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Bakgrund</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Material och metod</b> .....	<b>8</b>
2.1 Avgränsningar.....	8
2.2 Litteratur.....	8
2.3 Jämförelser mellan studier .....	9
<b>3 Tekniker för att mäta köttkvalitet på levande djur</b> .....	<b>10</b>
3.1 Ultraljud.....	10
3.1.1 Nötkreatur.....	11
3.1.2 Får och lamm.....	24
3.2 Bioelektrisk impedans (BIA) .....	29
3.2.1 Nötkreatur .....	29
3.2.2 Får och lamm.....	30
3.3 Röntgenstrålning .....	30
3.3.1 Datortomografi.....	30
3.3.2 Bentäthetsmätning .....	32
3.4 3D-avbildning .....	32
3.5 Kärnmagnetisk resonans (NMR).....	33
<b>4 Diskussion</b> .....	<b>33</b>
4.1 Ultraljud.....	34
4.2 BIA .....	34
4.3 Röntgenstrålning .....	35
4.4 3D-avbildning .....	35
4.5 Kärnmagnetisk resonans .....	36
<b>5 Slutsats</b> .....	<b>36</b>
<b>6 Referenser</b> .....	<b>37</b>

# Förord

I denna rapport presenteras resultatet av en litteraturstudie, med fokus att belysa tekniker för att mäta ätkvalitet på levande nöt- och lamm. Att objektivt kunna mäta parametrar av betydelse för ätkvaliteten på köttet redan före slakt möjliggör selektion av djur baserat på dessa parametrar både i avels- och bruksbesättningar och ger köttproducenter som är intresserade av att höja köttkvaliteten nya möjligheter.

Denna litteraturstudie har genomförts inom ramen för ett treårigt projekt med titeln ”Efterfrågedriven innovation för högre kvalitet på nöt- och lammkött”. Projektet är ett samarbete mellan forskning, lantbruk och industri som verkar inom köttnäringen i regionerna Västra Götaland (Sverige) och Nord- och Midtjylland (Danmark). Lead partner var Agroväst Livsmedel AB.

Projektets övergripande målsättning var att skapa bättre förutsättningar för primärproducenter och det vidareförädlade ledet inom regional nöt- och lammköttproduktion att möta efterfrågan ifrån olika kundgrupper avseende ätkvalitet och etisk kvalitet. Därigenom kan branschen stärka sin konkurrenskraft såväl nationellt som internationellt.

Projektet finansierades av Interreg Öresund-Kattegat-Skagerrak med medfinansiering från Västra Götalandsregionen.

# Sammanfattning

Köttkvalitet är ett brett begrepp som kan innefatta t.ex. avkastning på slaktkroppen, näringsinnehåll, etiska aspekter och ätkvalitet (sensorisk kvalitet). Denna rapport fokuserar främst på egenskaper som är av betydelse för köttets ätkvalitet. Studier har visat att de egenskaper som anses vara mest betydelsefullt för köttets ätkvalitet är köttets mörhet och smaklighet. En egenskap som har stor betydelse för köttets ätkvalitet är marmoreringen, d.v.s. intramuskulärt (insprängt) fett, och marmoreringen anses ha positiv effekt på både smak, saftighet och till viss del mörhet. I Sverige bedöms slaktkroppar av nötkreatur och lamm framför allt baserat på EUROP-systemet, som bedömer slaktkroppens form och fettansättning (ytfett). Det har under senare år även tagits fram en svensk standard för bedömning av marmorering på nötkött, som är frivillig för slakterierna att använda. Marmoreringen kan endast påverkas under djurets levnadstid, medan köttets mörhet till viss del även kan förbättras genom rätt hantering av slaktkroppen efter slakt. Köttets marmoreringsgrad påverkas bland annat av ras, kön, ålder och utfodring av djuret. Djur med lägre tillväxthastighet har generellt lättare att ansätta intramuskulärt fett. Likaså har en energirik foderstat positiv inverkan på marmoreringsgraden på köttet. Marmorering är en egenskap med medelhög till hög arvbarhet hos nötkreatur, vilket innebär att genetiska framsteg kan uppnås genom att selektera för marmorering inom en ras. Att objektivt kunna mäta parametrar av betydelse för ätkvaliteten på köttet redan före slakt skulle därför vara värdefullt då det möjliggör selektion av djur baserat på dessa parametrar både i avels- och bruksbesättningar och ger köttproducenter som är intresserade av att höja köttkvaliteten nya möjligheter till produktionsplanering och -uppföljning.

Denna litteraturstudie har gått igenom tekniker som i vetenskapliga studier använts för att mäta köttkvalitet på levande nötkreatur och lamm. De tekniker som inkluderas i denna rapport är ultraljud, bioelektrisk impedans (BIA), datortomografi, bentäthetsmätning, 3D-avbildning och kärnmagnetisk resonans (NMR). Hos nötkreatur kan marmorering mätas med likvärdig säkerhet med ultraljud och BIA, och det finns potential att även utveckla NMR för mätning av marmorering i ytligare muskler. Både subkutant fett (underhudsfett) och muskler kan mätas med ultraljud, BIA, datortomografi och 3D-avbildning. Färre studier har gjorts på lamm och endast datortomografi har använts för att mäta marmorering specifikt. Muskler och subkutant fett hos lamm har kunnat mätas med tillfredställande resultat med hjälp av ultraljud, BIA, datortomografi och bentäthetsmätning. Endast ultraljud och 3D-avbildning bedöms som metoder som har potential att vara praktiskt tillämpbara i Sverige i nuläget.

# Förkortningar

Förkortning	Förklaring
BCS	Body condition scoring
BF	Subkutant ryggfett
BIA	Bioelektrisk impedans
GM	<i>Gluteus medius</i>
IMF	Intramuskulärt fett
LM	<i>Longissimus dorsi</i>
NMR	Kärnmagnetisk resonans
RF	Subkutant rumpfett
USDA	United States Department of Agriculture

## Statistiska förkortningar

RMSE	Roth mean square error, dvs. standardavvikelse av residualerna
$R^2$	Anger hur stor del av variationen i en regressionsmodell som kan förklaras med hjälp av modellen
r.s.d.	Relativ standardavvikelse, dvs. värdet anger standardavvikelsens storlek i förhållande till medelvärdet
$C_p$	Mallows $C_p$ , används för att jämföra olika regressionsmodeller mot varandra. En modell med lågt $C_p$ indikerar att modellen har relativt liten varians och kan därför göra en mer precis uppskattning av den sanna regressionskoefficienten, dvs. lutningen på regressionslinjen.

# 1 Bakgrund

Köttkvalitet är ett brett begrepp som bland annat kan innefatta aspekter som slaktkroppsutbyte och sammansättning, näringsinnehåll, etisk kvalitet och ätkvalitet. Köttets ätkvalitet innefattar i sin tur egenskaper som textur och mörhet, smaklighet och saftighet (Warriss, 2000). Mörhet och smaklighet anses vara de viktigaste faktorerna som påverkar köttets ätkvalitet (Hocquette et al., 2005, Li et al., 2006). Köttets saftighet är svårt att mäta objektivt, men saftighet tros vara kopplat till fett och framför allt intramuskulärt fett (Hocquette et al., 2005), och köttets vattenhållande kapacitet. Ett kött som förlorar mycket vätska under tillagningen kan upplevas som torrt och sakna saftighet (Warriss, 2000). Smaken av kött befinner sig generellt i köttets vattenlösliga beståndsdelar, medan artspecifika smaker finns i de fettlösliga beståndsdelarna. Skillnaden i smak mellan nötkreatursraser anses vara små, men de skillnader som förekommer anses bero på andelen fett, eftersom raser som har lättare att ansätta intramuskulärt fett har en mer intensiv smak. Köttets smak kan påverkas med hjälp av olika foder eftersom foder kan påverka mängd och vilken typ av fett som lagras i musklerna (Hocquette et al., 2005). Köttets mörhet påverkas i hög utsträckning av mörningsprocessen och mängden bindväv som finns i muskeln när djuret slaktas (Hocquette et al., 2005). Yngre djur har generellt mörare kött eftersom de har mindre korsbindningar i bindväven jämfört med äldre djur (Webb and O'Neill, 2008). Efter slakt förbrukar musklerna den sista energin som finns lagrad, vilket gör att musklerna drar ihop sig. Eftersom det inte tillförs nytt syre sker detta anaeroft vilket resulterar i att det bildas mjölksyra. Detta medför en sänkning i pH och kroppen går in i *Rigor mortis*, likstelhet (Warriss, 2000). Därefter påbörjas mörningsprocessen, vilket innebär att köttets egna enzymer bryter ner myofibrillära proteiner som ger en försvagning i myofibrillerna, dvs. en beståndsdel i muskelfibrerna (Koohmaraie et al., 2002, Hocquette et al., 2005). Optimal mörhet uppnås efter 4-6 dagars mörning för lamm och 10-15 dagar för nöt (Hocquette et al., 2005). De vanligaste sätten att möra kött i Sverige är genom hängmörning, vakuummörning, eller en kombination av dessa. Hängmörning innebär att hela eller delar av slaktkroppen förvaras hängande nerkyld under hela mörningsprocessen medan vakuummörning innebär att slaktkroppen styckas ner och packas i vacuumpåsar 1–2 dagar efter slakt, där mörningsprocessen fortsätter.

Mängden intramuskulärt fett (IMF) i muskeln har inverkan på köttets mörhet och saftighet och flera studier har visat att låg andel intramuskulärt fett har en negativ inverkan på ätkvalitet. Ju högre andel intramuskulärt fett som finns i muskeln desto fler bedömer köttet som acceptabelt eller bra, men när andelen IMF överstiger 2% minskar den förbättrande effekten (Warriss, 2000). Köttets marmorering, d.v.s. andelen intramuskulärt fett insprängt mellan muskelfibrerna, påverkar köttets saftighet, smak och generell konsumentacceptans (Pannier et al., 2014). Anledningen till att marmoreringen påverkar köttets mörhet tros vara att fettet separerar muskelfibrerna från varandra och minskar på så sätt köttets rigiditet (Warriss, 2000). Marmoreringen i köttet kan endast påverkas medan djuret lever och det är flera faktorer som påverkar ansättning av marmorering i musklerna, bland annat djurets kön, ålder, ras, genetik, tillväxt och utfodring (Hocquette et al., 2005). Djurets tillväxt har en central roll i förmågan att ansätta IMF. Lätta raser, så som Angus och Hereford, har låg tillväxt, vilket gör att de kan avsätta mer energi för att lägga på sig underhudsfett och intramuskulärt fett. Vid en given slaktvikt har därför dessa raser generellt sett mer intramuskulärt fett



jämfört med tyngre raser. Mjölkraser som har lättare för att lägga på sig buk fett har i sin tur generellt högre marmorering jämfört med lätta köttraser om de slakts vid samma hull (Warriss, 2000). På samma sätt har djurets kön betydelse för ansättning av marmorering. Tjurar som har en hög muskeltillväxt har lägre ansättning av marmorering jämfört med kvigor och stutar. Kvigor har i sin tur generellt högre marmorering jämfört med stutar vid en given slaktvikt. Även tidpunkten för kastrering av tjurar har betydelse för ansättningen av IMF. Kalvar som kastreras direkt efter födseln har högre marmorerings jämfört med de som kastreras vid sex månaders ålder (Harper and Pethick, 2004). Även foder har en stor betydelse för ansättning av marmorering. Djur som fodras intensivt har generellt mer intramuskulärt fett jämfört med djur som endast gått på bete utan tillskottsutfodring. Typ av foder påverkar även vilken typ av fett som ansätts. Djuren som endast fötts upp på bete hade högre andel fleromättade fettsyror i det intramuskulära fett jämfört med de som fötts upp med intensiv utfodring (Webb and O’neill, 2008). Marmorering är en egenskap med medelhög till hög arvbarhet hos nötkreatur, vilket innebär att genetiska framsteg kan uppnås genom att selektera för marmorering inom en ras (Hocquette et al., 2006).

I Sverige bedöms slaktkroppar av nöt och lamm genom att gradera slaktkroppens form och muskelansättning på en 15-gradig skala, där huvudkategorierna är E U R O P, där varje kategori (bokstav) kan bedömas med plus och minus. En slaktkropp med hög muskelansättning får värdet E+ medan en slaktkropp med låg muskelansättning får värdet P-. Fettansättning bedöms enligt skalan 1–5, där 1 är mycket liten fettansättning och 5 är mycket hög fettansättning (Jordbruksverket, 1998). Bedömningen enligt EUROP-systemet innefattar ingen bedömning av köttets ätegenskaper. I länder som bland annat USA och Australien har man lagt större vikt vid bedömning av egenskaper kopplat till ätkvalitet hos nöt- och lammkött (USDA, 2018a, USDA, 2018b, MLA, 2016). United States Department of Agriculture (USDA) har ett system för att klassa in köttet i olika kvalitetsklasser. Bedömningsskalan för lammkött i USA baseras på mognadsgrad (delas in i ungt lamm, äldre lamm, årsgammalt får och får) och mängd fett på flanken (USDA, 2018b). Nötkött bedöms efter mognadsgrad (dvs. djurets fysiska ålder som bestäms genom benens karaktär, nedbrytningen av brosk samt köttets textur och färg) och mängd marmorering på ryggmuskeln. Marmoreringen bedöms efter tio huvudklasser, som även kan graderas med minus och plus (Tabell 1). Bedömningen är en subjektiv visuell bedömning som görs genom att jämföra slaktkroppens marmorering mot referensbilder. Marmoreringspoängen vägs sedan ihop med mognadsgrad vilket resulterar i en kvalitetspoäng som består av 7 olika nivåer. Yngre djur med hög marmoreringsgrad ger generellt en högre kvalitetspoäng (USDA, 2018a). I Sverige togs det under 2013 fram en svensk standard för bedömning av marmorering hos nötkött, som är frivillig för slakterierna att använda. Den svenska marmoreringsstandarderna är en förenklad version av USDA-standarderna och består av fem klasser där 1 är ingen marmorering och 5 är mycket marmorering (Tabell 1). Bedömningen av marmoreringsgraden görs på muskeln *Longissimus dorsi* (d.v.s. ryggmuskeln) mellan 10:e och 11:e revbenet där slaktkroppshalvorna parteras i Sverige (Stenberg, 2012).

Det är värdefullt att kunna göra uppskattningar av slaktkroppens konformation på levande djur, för att kunna avgöra när ett djur är moget för slakt. I Sverige är det vanligast att göra bedömningar av slaktkroppsegenskaper på levande djur med hjälp av exteriörbedömning och hullbedömning. Djurets kropps mått, muskelform och fettklass värderas genom visuell bedömning och palpering av kroppen (Gård & Djurhälsan, 2018).

Genom att använda olika tekniska hjälpmedel finns det dock även möjlighet att göra uppskattningar av kvalitetsegenskaper på levande djur, som till exempel marmorering, mängd kött och mängden fett på slaktkroppen, utan att göra åverkan på djuret. Syftet med denna litteraturstudie är att presentera tekniska hjälpmedel som i vetenskaplig litteratur undersökts för möjligheten att mäta och uppskatta köttkvalitetsegenskaper på levande nötkreatur och lamm, och vilka resultat som uppnåts.

Tabell 1. Tabellen anger graderingsklasser av marmorering enligt den svenska standarden i relation till dess motsvarighet på USDA-skalan (Stenberg, 2012)

Svensk modell		Amerikansk modell	
Grad (SE)	Svensk benämning	Grad (US)	Amerikansk benämning*
1	Ingen marmorering	1,33 - 2,32	Devoid
		2,33 - 3,32	Practically devoid
		3,33 - 4,24	Traces
		4,25 - 5,32	Slight
2	Begynnande marmorering	5,33 - 6,32	Small
3	Marmorerat	6,33 - 7,32	Modest
4	Väl marmorerat	7,33 - 8,32	Moderate
5	Mycket marmorerat	8,33 - 9,32	Slightly abundant
		9,33 - 10,32	Moderately abundant
		10,33 - 10,99	Abundant

\*Den amerikanska benämningen är något förenklad i tabellen eftersom varje nivå i den svenska översättningen bryter på huvudenheten av den amerikanska dvs. den svenska grad 2 omfattar de amerikanska nivåerna small (5,33), small+ (5,67) och modest- (6,00).

## 2 Material och metod

### 2.1 Avgränsningar

Denna rapport innefattar digitala metoder/tekniker för att mäta köttkvalitet på levande nötkreatur och lamm och utesluter metoder som endast innefattar analoga mätningar.

### 2.2 Litteratur

Litteratursökningarna gjordes i databaserna Scopus och Web of Science i oktober-november 2017. Sökningens utformning presenteras i Tabell 2. Varje djurslag, kategori 1 och 2 söktes var för sig och kombinerades med sökorden i kategorierna 3–5. Sökningarna omfattade artiklar från 1990 och senare. Vid sökningarna sållades de artiklar som bedömdes som relevanta ut. Sökningen resulterade i 93 relevanta träffar på artiklar om nötkreatur och 60 relevanta träffar på artiklar om lamm. Litteratur som publicerats på annat språk än svenska eller engelska uteslöts från rapporten. Ytterligare relevant litteratur har hämtats från referenslistorna i artiklarna.

Tabell 2. Sökningar i Scopus och Web of science

Kategori	Sökord
1 - Nötkreatur	beef OR bovine OR cattle OR bull* OR steer* OR heifer* OR cow* OR livestock
2 - Får/Lamm	lamb* OR sheep OR ewe* OR ram* OR mutton* OR ovine OR hogget*
3 - Teknik	equipment OR technolog* OR measur* OR instrument* OR method* OR sensor* OR technique* OR analys* OR ultrasound OR radiation OR x-ray OR "magnetic resonance"
4 - Köttkvalitet	"meat quality" OR "carcass quality" OR marbling OR tender* OR "meat classification" OR "carcass classification" OR "body composition" OR "intra muscular fat" OR "intramuscular fat" OR "fillet" OR ribeye OR "rump fat" OR "back fat"
5 - Levande	live OR "in-vivo" OR "in vivo" OR "real time"

## 2.3 Jämförelser mellan studier

Olika studier använder olika statistiska analyser och metoder för att utvärdera resultatet. För direkta jämförelser av resultaten används vanligtvis korrelation ( $r$ ) för att göra en enkel jämförelse mellan mätvärdet på det levande djuret och mätvärdet på slaktkroppen. För marmorering, som i praktiken bedöms och värderas visuellt på slaktkroppen och klassas in under olika marmoreringsgrader, är det även intressant att titta på hur noggrant och precist resultatet blir. Noggrannhet är ett mått på hur stor andel av mätvärdena som resulterat i en korrekt uppskattning av den faktiska marmoreringen, medan reliabilitet är ett mått på hur spridningen av måtten ser ut.

Ofta används flera olika mätpunkter för att tillsammans göra en uppskattning av olika slaktkroppsegenskaper. Exempelvis mängd magert kött eller mängd fett på slaktkroppen, vilket generellt är egenskaper som inte kan mätas på det levande djuret. I dessa fall används regressionsanalys och i många fall stegvis regressionsanalys, som innebär att alla mätvärden först inkluderas i en modell och därefter plockas variabler med högt  $p$ -värde successivt bort tills endast signifikanta variabler kvarstår. Resultatet presenteras i dessa fall oftast i form av  $R^2$ , som är ett mått på hur stor del av variationen i den beroende variabeln (dvs. slaktkroppsvärdet som ska uppskattas) som kan förklaras med hjälp av modellen.

Även när det kommer till bedömning av testens säkerhet används olika mått för olika studier. Det vanligaste måttet är Roth Mean Square Error (RMSE) som beskriver standardavvikelsen för residualerna, dvs. hur spridda mätpunkterna är i förhållande till regressionslinjen. Ett annat mått som förekommer är Relativ standardavvikelse (r.s.d.) som är ett mått som beskriver standardavvikelsen i förhållande till storleken på medelvärdet och anges därför i procent. Ju lägre r.s.d. desto lägre spridning. Ytterligare ett mått för att beskriva säkerheten i ett test är Mallows  $C_p$  ( $C_p$ ).  $C_p$  används för att jämföra olika regressionsmodeller mot varandra. En modell med lågt  $C_p$  indikerar att modellen har relativt liten varians och kan därför göra en mer precis uppskattning av den sanna regressionskoefficienten, dvs. lutningen på regressionslinjen.

Det förekommer att regressionsmodellerna valideras för att undersöka hur bra de kan uppskatta det faktiska slaktkroppsvärdet. Det vanligaste sättet att validera en modell är

genom att dela upp datasetet i två grupper, en grupp som används för att bygga upp modellen och en grupp som används för att validera modellen för att se hur bra de skattade värdena stämmer överens med de faktiska värdena. Vid stora datamängder delas grupperna upp i förhand och används antingen bara för att bygga modellen eller bara för att validera modellen. Vid mindre dataset kan alla data användas både för att bygga upp modellen och för att validera modellen genom korsvalidering.

Det är inte enbart den statistiska metoden som varierar mellan studierna. Även genomförandet av mätningarna varierar mellan studierna. Vid ultraljudsmätning, som är den mest studerade metoden och även den metod som idag används kommersiellt, finns det två olika sätt att hantera och analysera bilderna som tas på djuren. I den ena metoden samlas bilderna in och analyseras med hjälp av ett medföljande mjukvaruprogram. Det andra alternativet är att bilderna skickas till ett professionellt ultraljudslab som analyserar bilderna.

Även metoden för att göra de jämförande mätningarna på slaktkroppen varierar mellan olika studier. För marmorering finns det två olika metoder för att bestämma slaktkroppen marmoreringsgrad. Vissa studier jämför mätningen på det levande djuret med en kemiskt analyserad andel intramuskulärt fett i en del av kroppen, vanligtvis muskeln *Longissimus dorsi*. Andra studier jämför levandemätningen mot slaktkroppens marmoreringsgrad, som bestäms genom en visuell bedömning genom att jämföra muskelns marmorering mot referenskort eller genom digital bildanalys. Det finns även en stor variation i metoder för att bestämma andra slaktkroppsegenskaper, vilket framgår i tabellerna nedan.

## 3 Tekniker för att mäta köttkvalitet på levande djur

I detta avsnitt presenteras en sammanställning av de tekniker för att mäta köttkvalitet på levande nötkreatur och lamm, som undersökts och utvärderats i den vetenskapliga litteraturen, och vilka resultat som uppnåtts.

### 3.1 Ultraljud

Det finns två olika typer av ultraljudsmätare, A- mode som mäter ekots amplitud mot tid där avståndet mellan ekon är relaterat till vävnadsgränssnitt (Stanford et al., 1998) och ger en endimensionell bild av vävnaden (Medicinsk ordbok, 2018) och B- mode som även kallas "real-time". Real-time ger en tvådimensionell bild av vävnaden som visar sig som en gråskalig bild. B-mode är en nyare variant av ultraljudsmätare och har visat sig vara bättre på att göra mätningar jämfört med A-mode (McLaren et al., 1991). Det finns flera olika märken och modeller av ultraljudsskannare. De vanligaste ultraljudsmätarna är av fabriken Aloka, Aquilla Pro och Classic scanner. I en studie av Hassen et al. (2001) gjordes mätningar av marmorering på samma djur med två olika ultraljudsutrustningar, Aloka 500V och Classic scanner-200. Resultaten visade att det inte fanns någon signifikant skillnad i noggrannhet för att förutsäga IMF på slaktkroppen mellan ultraljudsmätarna. Det finns även olika metoder för att analysera ultraljudsbilderna.

Bilderna kan antingen skickas till företag som gör bildanalysen eller så kan de analyseras med hjälp av ett mjukvaruprogram kopplat till skannern. Denna litteraturstudie har inte hittat några studier där jämförelser gjorts av resultatet när analysen av ultraljudsbilderna gjorts på certifierat laboratorium jämfört med när det gjorts med hjälp av ett mjukvaruprogram. Vilken analysmetod som använts i respektive studie presenteras i Tabell 3.

Inom kött djursuppfödning används ultraljud för att mäta fettdjup, muskeldjup och intramuskulärt fett (IMF). Mätningarna görs ofta på olika delar av *Longissimus dorsi* (LM), som är den långa muskeln som sträcker sig utmed båda sidor av ryggraden. Mät punkter som använts i studier är intill ryggraden vid 10-13e revbenet eller vid 1-4e ländkotan. Där görs bland annat mätningar av LM-djup, LM-bredd och LM-area, ryggfettets djup (BF-djup) och graden av intramuskulärt fett (IMF) i LM. Vanligast förekommande är mätningar gjorda mellan 12-13e revbenet. Mätningens placering vid revbenen avgörs oftast av var på slaktkroppen parteringen görs, eftersom det är på denna snittyta som motsvarande marmoringsbedömning görs på slaktkroppen. Andra vanligt förekommande mät punkter i studier är där *Gluteus medius* (GM) och *Biceps femoris* möts på rumpan. Där mäts bland annat tjockleken på GM och *Biceps femoris* och djupet på subkutant rumpfett (RF-djup). Inom marmoringsbedömning görs mätningarna i huvudsak mellan 12/13e revbenet men det finns även mätningar som täcker in 11e revbenet eller som är förskjutna mot första ländkotan. I denna rapport finns inga studier rapporterade som gör mätningar vid 10/11e revbenet där slaktkropparna parteras på svenska slakterier. Bergen et al. (1997) testade att komplettera mätningen av BF-djup och LM-area vid 12/13e revbenet med mätningar vid 11/12e revbenet samt marmoringsmätning vid 10-13e revbenet för att uppskatta mängden magert kött på slaktkroppen, men fann att det inte förbättrar resultatet.

Flera studier har lyft vikten av att ha erfarna ultraljudstekniker för att göra noggranna och precisa mätningar hos nötkreatur (Emenheiser et al., 2014, Herring et al., 1994, McLaren et al., 1991). Herring et al. (1994) undersökte påverkan av ultraljudstekniker, bildtolkare och ultraljudsutrustningen och fann att både kombinationen av tekniker och utrustning och kombinationen av utrustning och bildtolkare hade signifikant påverkan på mätning av LM-area. Däremot var det endast små skillnader vid mätning av BF-djup. McLaren et al. (1991) hade både oerfarna och erfarna ultraljudstekniker som gjorde ultraljudsmätningar på nöt, lamm och gris och fann att kombinationen av djurart, maskin och tekniker istället hade signifikant påverkan på uppskattning av BF-djup. Emenheiser et al. (2014) fann att ultraljudsteknikern förklarade en obetydlig del av variationen i slaktkroppens sammansättning när de använde sig av två erfarna ultraljudstekniker. Emenheiser et al. (2010) visade även att vid upprepade mätningar på lamm var medelskillnaden större mellan mätningar gjorda av samma ultraljudstekniker eller bildtolkare jämfört med skillnaderna mellan ultraljudsmätningen och slaktkroppsmätningen.

### 3.1.1 Nötkreatur

Ultraljud är den mest studerade metoden för att uppskatta slaktkroppsegenskaper hos levande nötkreatur. Studier har visat en stark korrelation mellan ultraljudsmätningen och motsvarande mätningar på slaktkroppen och att ultraljudsmätningarna tillsammans med andra kroppsmätningar kan ge en tillförlitlig bild av slaktkroppens sammansättning. I USA är intresset för köttkvalitet stort och det finns redan ett kommersiellt

bruk av ultraljud, både för att sortera djur och uppskatta slaktkroppens sammansättning inför slakt, men även som en metod för att selektera djur för avel (Greiner, 2003d). Flera studier har visat att slaktkroppens sammansättning kan uppskattas lika bra med ultraljudsmätningar på levande djur som med visuella mätningar gjorda på slaktkroppen (da Luz e Silva et al., 2012, Greiner et al., 2003a, Greiner et al., 2003b).

Det är svårare att uppskatta muskeldjup och fettdjup på djur som är väldigt magra, väldigt feta eller som har väldigt stora eller små muskler (Greiner et al., 2003c, Smith et al., 1992). Greiner et al. (2003c) och Smith et al. (1992) visade båda att feta djur och djur med stora muskler underskattades, medan Greiner et al. (2003c) även såg att magra djur och djur med små muskler överskattades.

I en studie av Pogorzelska-Przybylek et al. (2014) gjordes ultraljudsmätningar för att bestämma EUROP-klassning. Modellerna underskattade fettproängen med 3,68 %. Studier har visat att större del av variationen generellt kan förklaras för modeller som förutspår mängden (kg) kött och fett jämfört med modeller som förutspår andelen (%) kött eller fett i förhållande till hela eller del av slaktkroppen (da Luz e Silva et al., 2012, Greiner et al., 2003a, Greiner et al., 2003b, Mendes Jorge et al., 2007a, Realini et al., 2001, Sakamoto et al., 2014).

### 3.1.1.1 Intramuskulärt fett

Studier har visat varierande korrelationskoefficient mellan ultraljudsmätning av marmoreringsgraden på levande djur och mängden intramuskulärt fett på slaktkroppen. Inom forskningen används två olika metoder för att bestämma mängden intramuskulärt fett i muskeln efter slakt. Dels kan andelen intramuskulärt fett i förhållande till andra beståndsdelar bestämmas genom att kemiskt extrahera eterlösligt fett ur köttbiten (Soxhlet extraktion). På slakterier, där kött går till kommersiellt bruk, är denna typ av bedömning inte möjligt utan då uppskattas istället marmoreringsgraden, vilket är en subjektiv bedömning där köttbiten jämförs mot standardiserade referensbilder med olika marmoreringsgrad och tilldelas en poäng utefter vilken bild den stämmer bäst överens med (Silva and Cadavez, 2012). Studier som jämfört ultraljudsmätning på levande djur mot slaktkroppens marmoreringsgrad har visat en korrelation på  $r=0,31-0,73$ , medan de studier som jämfört ultraljudsmätningen mot kemiskt framtagen % IMF har visat en korrelation på  $r=0,35-0,44$  (Tabell 3).

Tabell 3. Sammanställning av korrelationer mellan IMF uppmätt med ultraljud på levande djur innan slakt och slaktkroppens % IMF eller marmoreringsgrad för olika studier

Studie	Slaktkroppsvärde	Mätning på LM	Bildanalys	Dagar mellan skanning och slakt	Korrelation
Peña et al. (2014a)	% IMF <sup>Y</sup>	Längs med	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	<7 dagar	0,44**
Peña et al. (2014b)	% IMF <sup>Y</sup>	Tvårsnitt	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	<7 dagar	0,35**
Chambaz et al. (2002)	% IMF <sup>Y</sup>	Längs med	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	<14 dagar	0,41***
Emenheiser et al. (2014)	USDA <sup>x</sup>	Läng med	Certifierat lab	<11 dagar	0,73***
Baker et al. (2006)	USDA <sup>z</sup>	Framgår ej	Certifierat lab	Framgår ej	0,31**
Wall et al. (2004)	USDA <sup>z</sup>	Tvårsnitt	Certifierat lab	<7 dagar	0,61 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Signifikansnivå saknas, \*\*p <0,01, \*\*\*p <0,001, <sup>x</sup> marmoreringspoängen på slaktkroppen mättes med hjälp av USMARC bildanalyssystem, <sup>y</sup> % IMF bestämt genom eterextraherat fett (Soxhlet extraktion), <sup>z</sup> marmoreringspoäng baserad på visuell bedömning enligt USDA-skalan

Flera studier har visat att ultraljudsmätningen av marmorering är starkare korrelerad med slaktkroppsvärdet ju närmare slakt mätningen görs (Brethour, 2000b, Peña et al., 2014a, Peña et al., 2014b). Däremot fann Wall et al. (2004) istället att tillväxten av intramuskulärt fett var linjär från 100 dagar innan slakt och att ultraljudsmätningen var relativt konstant korrelerad med USDA-marmoreringspoäng under hela perioden. Brethour (2000b) såg att den inledande mätningen som gjordes när djuren kom till en feedlot (medel 14 månader gamla) kunde klassa djuren som USDA Choice eller inte Choice med 64 % noggrannhet, medansenare mätningar (1 och 4 månader senare, dvs. 4 och 1,5 månader innan slakt) kunde klassa djuren med 75 % noggrannhet (se Tabell 4 för relation mellan USDA marmoreringsgrad och kvalitetspoäng). Brethour (1990) kunde klassa djur med 77 % noggrannhet innan slakt och liknande resultat kunde uppnås uppemot 21 veckor innan slakt när modellen var justerad för tillväxt av IMF baserad på antal dagar på foder. I en senare studie av Brethour (2000a) kunde djuren klassas som USDA Choice med 78 % noggrannhet och USDA Premium Choice med 76 % noggrannhet 32 veckor innan slakt, vilket bedömdes som för lågt för att använda som selektionsverktyg. Song et al. (2002) jämförde ultraljudsmätning av marmorering med marmoreringsgrad efter slakt enligt den koreanska köttkvalitetsskalan 0–3, där 0 är minst marmorering och 3 är mest marmorering. I 63 % av fallen gjordes samma bedömning med ultraljud som efter slakt. För grad 0, 1, 2 och 3 gjordes rätt bedömning vid 47 %, 63 %, 64 % och 67 % för respektive grad. För grad 1 och 2 gjordes en överskattning av marmoreringen vid majoriteten av felbedömningarna.

Tabell 4. Relation mellan marmoreringsgrad och kvalitetsklassning enligt USDA för djur med mognadsgrad A (ca. 9–30 månader), vilken är den djurkategori som använts i de studier som refererar till kvalitetsklassning snarare än marmoreringspoäng

USDA Marmoreringsgrad	USDA kvalitetsklassning
Slightly Abundant	Prime
Moderate Modest Small	Choice
Slight	Select
Traces Practically Devoid	Standard

Statistiska modeller som inkluderar flera ultraljudsmätningar och kroppsmått har kunnat förklara 32–67 % av variationen av % IMF och Wall et al. (2004) kunde förklara 42,7 % av variationen i USDA-marmoreringspoäng (Tabell 6). I studierna används ofta olika ultraljudsmätningar, kroppsvikt och konditionspoäng för att uppskatta mängden marmorering. Nogalski et al. (2017) använde fler mätpunkter för ultraljud, blodprov och linjära kroppsmätningar (t.ex. bröstorgans omkrets, bäckenet bredd etc.) för att uppskatta % IMF. Den slutgiltiga modellen inkluderade ultraljudsmätningar av BF-djup, GM-djup och RF-djup tillsammans med sex kroppsmått, fyra blodprovparametrar samt genomsnittlig daglig tillväxt. Modellen överskattade % IMF med i genomsnitt 0,04 %. Aass et al. (2006) och Aass et al. (2009) redovisade resultat som visar att säkrare uppskattning av % IMF kan göras på nötkreatur med  $\geq 2$  % IMF jämfört med djur som har lägre IMF-halt, men att även mätningar på magrare djur ner emot 1,14–1,35 % går bra att mäta.



Korrelationen mellan ultraljudsmätningar av BF-djup och LM-area och analyserad % IMF eller marmoreringspoäng efter slakt varierar mellan olika studier. De flesta studier har visat på ett positivt samband mellan marmorering och både BF-djup och LM-area (Tabell 5). Song et al. (2002) fann däremot en svagt negativ korrelation mellan marmoreringspoäng efter slakt enligt den koreanska marmoreringsstandarden och både BF-djup och LM-area uppskattat med ultraljud. I en studie av Bergen et al. (2005) visades ett negativt samband mellan mängden kött på slaktkroppen (g/kg) och marmoreringspoäng estimerade via ultraljud ( $r=-0,39,78$ ), vilket innebär att möjligheten att selektera djur både på mängden kött och marmoreringsgrad är begränsad. Även Hassen et al. (1999) såg att % IMF innan slakt var negativt korrelerat med mängden försäljningsprodukt i kg ( $r=-0,15$ ,  $p < 0,05$ ) och med andelen försäljningsprodukt vid 365, 382, 414 och 448 dagars ålder ( $r=-0,45$ ,  $-0,50$ ,  $-0,52$  respektive  $-0,48$ ,  $p < 0,01$ ).

Tabell 5. Korrelation mellan ultraljudsmätningar på levande djur och marmoreringspoäng eller % IMF på slaktkroppen

Studie	Marmorering slaktkropp	BF-djup	LM-area
Nogalski et al. (2017)	% IMF <sup>1</sup>	0,65**	0,17*
Peña et al. (2014b)	% IMF <sup>1</sup>	0,31**	0,20 n.s.
Emenheiser et al. (2014)	USDA <sup>2</sup>	0,48***	0,38 ***
Song et al. (2002)	Marmoreringspoäng <sup>3</sup>	-0,15**	-0,19***
Bullock et al. (1991)	USDA <sup>4</sup>	0,78**	0,72**

<sup>1</sup>% IMF bestämt genom extraherat fett, <sup>2</sup>Marmoreringspoängen på slaktkroppen mättes med hjälp av USMARC bildanalyssystem, <sup>3</sup> Marmoreringspoäng baserad på koreansk standard som är indelad i fyra nivåer, <sup>4</sup> Marmoreringspoäng baserad på visuell bedömning enligt USDA-skalan \* $p < 0,05$ , \*\*= $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$

Tabell 6. Sammanställning av regressionsmodeller för att uppskatta marmoreringsgrad eller % IMF i slaktkroppen från flera studier

Studie	Ras	Analysmetod	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse	Oberoende variabler	Validering
Peña et al. (2014b)	Charolais Limousine Retinta	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	% IMF	0,34	C <sub>p</sub> =10,52	LM-area BF-djup % IMF RF-djup GM-djup	-
Peña et al. (2014a)	Charolais Limousine Retinta	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	% IMF	0,42	C <sub>p</sub> =2,0	IMF <sub>1-7</sub> dgr f. slakt IMF <sub>60</sub> dgr f. slakt IMF <sub>90</sub> dgr f. slakt	-
Aass et al. (2006)	Angus, Hereford, Limousin, Charolais, Simmental, Blond D'Aquitaine, Norsk röd boskap, korsning	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	% IMF	0,48	RMSE=0,55	% IMF baserad på flera mätningar Hudens tjocklek LM- djup BF-djup	R <sup>2</sup> =0,48 RMSE=0,46
Aass et al. (2009)	Inte specificerat	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	% IMF	0,67	C <sub>p</sub> =6,0	BF-djup BF-djup <sup>2</sup> LM- djup Skillnad i % IMF mellan två positioner	R <sup>2</sup> =0,80 RMSE=0,66
Chambaz et al. (2002)	Simmental, Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine, Piedmontese, Angus	Mjukvaruprogram (Pie QUIP)	% IMF	0,32	RMSE=1,14	% IMF Hudtjocklek Levandevikt	R <sup>2</sup> =0,42 RMSE=0,93
Wall et al. (2004)	Angus Simmental Red angus Charolais	Certifierat lab	USDA <sup>z</sup>	0,47	RMSE=0,56	% IMF Logaritmen av BF- djup Mätningar gjordes 65 dgr före slakt	-

<sup>z</sup> marmoreringspoäng baserat på visuell bedömning enligt USDA-skalan

### 3.1.1.2 Subkutant fett

Uppskattning av mängd underhudsfett på slaktkroppen har stor betydelse för att avgöra om djuret är slaktmoget. Djur med för lite respektive för mycket underhudsfett får avdrag på svenska slakterier. Bäst betalt får generellt djur med ca. 2–4 poäng enligt EUROP-klassningen beroende på djurkategori. Överflödigt fett på slaktkroppen putsas bort och har i dagsläget inget kommersiellt värde i Sverige. Mätning av underhudsfett med hjälp av ultraljud kan tillsammans med andra mått ge en uppskattning av mängden putsfett på djuret. Studier har visat att 61–79 % av variationen i mängd putsfett på slaktkroppen hos nötkaniner kan förklaras med hjälp av ultraljudsmätningar och levandevikt (Tabell 8). Korrelationen mellan ultraljudsmätning av underhudsfett och motsvarande värde på slaktkroppen är generellt högt,  $r=0,81$ – $0,99$  för BF-djup och  $r=0,91$  för RF-djup. Korrelationen mellan ultraljudsmätning och klassning enligt EUROP är generellt något lägre med  $r=0,63$  för BF-djup och  $r=0,56$  för RF-djup (Tabell 7). Crews et al. (2002) såg att skillnaden mellan måttet av BF-djup baserat på ultraljud innan slakt och det faktiska slaktkroppsmåttet var mindre än 2,5 mm för mer än 98 % av stutarna och tjurarna som ingick i studien. För kvigor var det 84,8 % som hade en skillnad som var mindre än 2,5 mm. De fann även att BF-djup kunde uppskattas bättre vid ett års ålder jämfört med vid avvänjning ( $R^2=0,80$ ,  $RMSE=1,44$  vid ett års ålder och  $R^2=0,73$ ,  $RMSE=1,70$  vid avvänjning). Baud et al. (1998) såg att BF-djup på slaktkroppen kunde uppskattas bättre med hjälp av ultraljudsmätningar gjorda mindre än 14 dagar innan slakt ( $r=0,69$ ) jämfört med mätningarna gjorda ca 90 dagar tidigare ( $r=0,46$ ).

Flera studier har undersökt om kompletterande mätpunkter utöver de vanligaste, d.v.s. LM-area, LM-djup, LM-bredd och BF-djup, kunde öka andelen variation som kunde förklaras. Realini et al. (2001) fann att ytterligare 10 % av variationen i mängd putsfett kunde förklaras genom att addera ultraljudsmätningar av GM-djup och RF-djup i modellen. Däremot var inte modellen med och utan kompletterande mätningar signifikant skilda från varandra. Williams et al. (1997) såg att 53 % ( $C_p=6,05$ ) av variationen i kg putsfett kunde förklaras med de vanliga mätningarna, men genom att lägga till ultraljudsmätningar av RF-djup och *Biceps femoris*-djup kunde detta värde ökas till 61 % ( $C_p=6,00$ ).

Tabell 7. Korrelation mellan djup på underhudsfett uppskattat med ultraljud på levande djur och motsvarande mått på slaktkroppen

Studie	Slaktkroppsvärde	Korrelationsnivå
<b>BF-djup</b>		
Greiner et al. (2003c)	BF-djup	0,89***
Mendes Jorge et al. (2007b)	BF-djup	0,99**
Smith et al. (1992)	BF-djup	0,81**
Peña et al. (2014a)	BF-djup	0,98***
Emenheiser et al. (2014)	BF-djup	0,91***
Ribeiro and Tedeschi (2012)	BF-djup	0,86 <sup>a</sup>
Baker et al. (2006) Utveckling 1	BF-djup	0,78**
Baker et al. (2006) Validering 2	BF-djup	0,81**
Song et al. (2002)	BF-djup	0,75***
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	EUROP- fettklass	0,63**
Conroy et al. (2009)	EUROP- fettklass	0,63***
<b>RF- djup</b>		
Mendes Jorge et al. (2007b)	RF-djup	0,91**
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	EUROP- fettklass	0,56**

\*\* p <0,01, \*\*\* p <0,001, <sup>a</sup> signifikansnivå ej angiven

Tabell 8. Statistiska modeller för att uppskatta mängd fett på slaktkroppen utifrån ultraljudsskanning av levande nötkreatur

Studie	Ras	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse	Oberoende variabler	Validering
Realini et al. (2001)	Hereford	Putsfett (kg)	0,75	RMSE= 6,34 kg	Levandevikt LM-area BF-djup RF-djup GM-djup	-
Sakamoto et al. (2014)	Nellore ( <i>bos indicus</i> )	Putsfett (kg)	0,79	RMSE= 4,27 kg	BF-djup RF-djup Levandevikt efter fasta	-
da Luz e Silva et al. (2012)	Zebu ( <i>bos indicus</i> )	Putsfett (kg)	0,79	C <sub>p</sub> = 3,2	Kroppsvikt efter 16h fasta BF-djup RF-djup	-
Williams et al. (1997)	Aberdeen Angus & Hereford	Putsfett (kg)	0,61	C <sub>p</sub> = 6,0	Levandevikt LM-area BF-djup RF-djup <i>Biceps femoris</i> -djup	-
Tait Jr et al. (2005)	Angus & Korsningar	Putsfett (% av totala vikten av de primära styckningsdetaljerna)	0,18	C <sub>p</sub> = 4,8	BF-djup LM-area BF-djup Levandevikt	-
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	Holstein-Friesian	Fettklass EUROP	0,63	-	Korsets höjd Bröstomfång Ålder Bålens längd BF-djup	Överskattar fettklass med 0,2 poäng

RMSE = Root mean square error, C<sub>p</sub> = Mallows C<sub>p</sub>

### 3.1.1.3 Muskelstorlek

Muskelstorleken har betydelse för det avräkningspris som lantbrukaren får för djuret vid slakt och köttets nedkylningshastighet efter slakt vilket också påverkar köttets kvalitet. I Sverige bedöms djuren efter vilken formklass slaktkropparna har och djur med svällande muskler får högre gradering enligt EUROP-systemet. Ultraljudsmätningen av muskelstorlek görs oftast på LM där mätning görs av area, djup och/eller bredd. Korrelationen mellan ultraljudsmätningen av LM-arean på levande djur och LM-arean efter slakt varierar mellan 0,43–0,98 (Tabell 9). Pogorzelska-Przybylek et al. (2014) visade att korrelationen mellan LM-area uppskattat med ultraljud och EUROP-konformationspoäng var  $r=0,54$ ,  $p < 0,01$ , och korrelationen mellan LM-djup och EUROP-konformationspoäng låg mellan  $r=0,80$ – $0,85$ .

Studier har visat att variationen i mängd försäljningsprodukt kan förklaras till 68–93% med hjälp av mätningar av framför allt muskelstorlek, fett-djup, marmorering och levandevikt (Tabell 10). Ytterligare mätpunkter av t.ex. BF-djup och LM-area vid 11/12 revbenet, GM-djup, RF-djup och marmoreringspoäng har inte visats ge en betydande ökning i precision och noggrannhet vid uppskattning av kg magert kött eller kg försäljningsprodukt på slaktkroppen (Bergen et al., 2005, Realini et al., 2001).

När djuren har skannats vid upprepade tillfällen och vid olika ålder har det visat sig att korrelationen mellan ultraljudsmätningen av LM-area på levande djur och motsvarande värde på slaktkroppen var densamma när mätningen gjorts när djuren kom till en feedlot som när djuren lämnade en feedlot nio månader senare ( $r=0,36$ ) (Baud et al., 1998). Crews et al. (2002) fann att LM-area kunde uppskattas lika bra vid avvänjning (8–9 månader) som vid ett års ålder ( $R^2=0,88$ , RMSE= 4,85 vid avvänjning och 4,78 vid ett års ålder). Däremot fann forskarna även att de genetiska korrelationerna hade låg precision och därför inte var lämpliga att stoppa in i avelsindex. Baud et al. (1998) fann att det inte var någon skillnad i korrelation för LM-area mellan slaktkroppsvärdet och ultraljudsmätningar gjorda när djuren kom till en feedlot vid ett års ålder jämfört med när det lämnade vid 15–16 månaders ålder.

I en studie av Waldner et al. (1992) gjorde ultraljudsmätningar när djuren slaktades vid 12 och 16 månaders ålder och fann att djurens USDA-yield grade (dvs. en visuell klassning som graderar andelen magert kött på slaktkroppen) efter slakt kunde uppskattas bäst på djur vid 12 månaders ålder. Pogorzelska-Przybylek et al. (2014) visade att modellen för att uppskatta EUROP-konformationspoäng skiljde sig från den konstaterade konformationspoängen på slaktkroppen med 0,1 poäng på den 15-gradiga skalan.

Tabell 9. Korrelation mellan olika mätningar av muskelstorlek på LM och motsvarande mått på slaktkroppen

Studie	Slaktkroppsvärde	Korrelationsnivå
<b>LM-area</b>		
Mendes Jorge et al. (2007b)	LM-area	0,96**
Greiner et al. (2003c)	LM-area	0,86 n.s.
Smith et al. (1992)	LM-area	0,43**
Peña et al. (2014a)	LM-area	0,98***
Emenheiser et al. (2014)	LM-area	0,78***
Song et al. (2002)	LM-area	0,57***
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	EUROP-konformation	0,54**
<b>LM-djup</b>		
Conroy et al. (2009)	EUROP-konformation	0,80***
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	EUROP-konformation	0,85**

\*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001

Tabell 10. Statistiska modeller för att uppskatta mängd kött på slaktkroppen på nötkreatur

Studie	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse	Oberoende variabler	Validering
Greiner et al. (2003b)	Försäljningsprodukt, kg	0,84	RMSE= 5,24	Levandevikt BF-djup LM-area RF-djup	-
Realini et al. (2001)	Försäljningsprodukt, kg	0,81	RMSE= 8,73	Levandevikt LM-area BF- djup RF- djup GM-djup	-
Williams et al. (1997)	Försäljningsprodukt, kg	0,87	-	Levandevikt LM-ara BF-djup RF-djup	-
Greiner et al. (2003a)	Försäljningsprodukt, kg	0,83	RMSE= 5,30	BF-djup RF-djup LM-area Levandevikt Body wall thickness	R2=0,84 RMSE=5,14
da Luz e Silva et al. (2012)	Försäljningsprodukt, kg	0,93	C <sub>p</sub> = 1,2	Kroppsvikt efter 16h fasta LM-area	-
Hassen et al. (1999)	Försäljningsprodukt, kg	0,68	RMSE=13,03	BF-tjocklek LM-area Levandevikt	Korrelation mellan uppskattat värde och faktiskt värde r=0,79**



Studie	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse	Oberoende variabler	Validering
Tait Jr et al. (2005)	Försäljningsprodukt, procent	0,49	-	BF-djup LM-area % IMF Levandevikt GM-djup	-
Pogorzelska-Przybylek et al. (2014)	Konformationspoäng- EUROP	0,78	-	Konformationspoäng, levande bedömning LM-djup	Underskattar formklass med 0,1 poäng
Sakamoto et al. (2014)	Ätlig del, kg	0,93	RMSE= 6,40 kg	LM-area BF-djup Levandevikt efter fasta, kg	-
Conroy et al. (2009)	Andel kött av slaktkropp, dissekerat	0,53	r.s.d.= 22,7	Muskelpoäng (EUROP) LM-djup BF-djup	-
Bergen et al. (2005)	Andel kött av halv slaktkropp, dissekerad	0,63	r.s.d.= 18,9	BF-djup LM-area RF-djup Marmorering	-
Waldner et al. (1992)	USDA-avkastningsgrad	0,84	SD= 0,50	Levandevikt Höftens höjd BF-djup	-

RMSE = Root mean square error,  $C_p$  = Mallows  $C_p$ , \*\*=p <0,01

### 3.1.1.4 Selektera nötkreatur för avel

Ultraljud kan användas för att selektera nötkreatur för avel. Studier har visat att arvbarheten för ultraljudsmätningen är 0,13–0,40 för IMF, 0,26–0,52 för BF-djup, 0,21–0,35 för LM-area och 0,27–0,42 för RF-djup (Arnold et al., 1991, Boerner et al., 2013, MacNeil and Northcutt, 2008, Robinson et al., 1993, Yokoo et al., 2008). Dessa värden är något lägre än arvbarheten för mätningar och bedömningar gjorda på slaktkroppen (Arnold et al., 1991, Turner et al., 1990). Fler studier har konstaterat att ultraljudsmätningar lämpar sig för avelsselektion (Crews Jr and Kemp, 2002, Emenheiser et al., 2014, Greiner et al., 2003c, Pogorzelska-Przybylek et al., 2014). Norska studier har konstaterat att den höga noggrannheten för uppskattning av marmorering gör ultraljud till ett lämpligt verktyg för att selektera unga tjurar baserat på köttkvalitet, men att ytterligare studier krävs för att förfina och optimera modellen (Aass et al., 2009, Aass et al., 2006). Emenheiser et al. (2014) fann att det var skillnad i mätresultat mellan olika ultraljudstekniker, men repeterbarheten för samma tekniker var god. Vid avelsselektion menade de att det fanns ett större värde i att samma tekniker konsekvent gjorde samma bedömning inom samma djur och därför bedömde de tekniken till tillräckligt tillförlitlig. Herring et al. (1994) konstaterade att acceptansen för att använda ultraljudsmätare som verktyg för att selektera djur för avel är beroende av att det endast är kvalificerade ultraljudstekniker och bra utrustning som används.

MacNeil and Northcutt (2008) visade att den genetiska korrelationen, dvs. den variation som två egenskaper har gemensamt på grund av genetiska samspel, mellan ultraljudsmätning och slaktkroppsvärde för IMF var starkare hos tjurar än för kvigor med 0,66 respektive 0,52. För LM-area var den genetiska korrelationen starkare hos kvigor med 0,63 och 0,78 för tjurar respektive kvigor. Boerner et al. (2013) fann att ålder hade en signifikant effekt på arvbarheten av IMF hos kvigor och för tjurar hade ålder en signifikant effekt på arvbarheten av BF-djup och RF-djup. Skillnaderna var dock så pass små att de inte bedömdes ha någon betydande effekt på avelsvärdet.

### 3.1.2 Får och lamm

För lamm och får har ultraljud använts för att uppskatta slaktkroppens sammansättning i form av mängd kött och fett på slaktkroppen, men även för att uppskatta slaktkroppens form- och fettklass enligt EUROP-klassning (Esquivelzeta et al., 2012, Grill et al., 2015, Lazar et al., 2016, Orman et al., 2010, Sahin et al., 2008, Silva et al., 2005, Silva et al., 2007, Teixeira et al., 2006). Dock rapporterade Silva and Cadavez (2012) att användandet av ultraljud för att mäta köttkvalitet hos lamm försvåras av mängden päls på djuret. Ultraljudsbilderna får sämre kvalitet om det bildas luftbubblor mellan kontaktoljan och håret. Att klippa fåren innan skanning är tidsödande och får därför stor ekonomisk påverkan i stora kommersiella besättningar. För att förbättra kontakten mellan skannerns sond och muskeln kan det vara nödvändigt att trycka hårdare vilket istället leder till felaktiga mätningar eftersom fett deformeras. Detta går att motverka genom att använda mer kontaktolja, korrigera för den deformerade fettvävnaden eller använda en distans.

### 3.1.2.1 Intermuskulärt fett

Inga studier i litteratursökningen hade fokuserat på att uppskatta marmoreringen på muskler hos lamm med hjälp av ultraljud. Däremot finns ett fåtal studier där uppskattning gjorts av intermuskulärt fett, d.v.s. fett som ansätts mellan musklerna till skillnad från marmorerat fett som ansätts mellan muskelfibrerna. Uppskattningarna av mängd fett mellan musklerna är gjorda baserat på mått av LM-djup, BF-djup och LM-area. Resultaten har visat att 62–92 % av variationen av kg intermuskulärt fett kan förklaras med hjälp av BF-djup tillsammans med levandevikt (Delfa et al., 1995, Silva et al., 2006, Teixeira et al., 2006). I en studie av Silva et al. (2007) användes ultraljudsmätningar av LM-area gjorda på olika positioner längs med LM för att uppskatta slaktkroppens sammansättning. Resultaten från den studien visade att 87 % respektive 68 % av mängden intermuskulärt fett (kg) och procent intermuskulärt fett (%) kunde uppskattas med hjälp av kroppsvikt och ultraljudsmätningar av LM-area. Ytterligare studier har försökt uppskatta mängden intermuskulärt fett med hjälp av ultraljudsmätningar av LM-area, LM-djup och BF-djup, men där har mätningarna haft för liten betydelse för att inkluderas i den slutgiltiga modellen (Sahin et al., 2008, Wolf et al., 2006).

### 3.1.2.2 Subkutant fett och muskler

Korrelationen mellan ultraljudsvärdet och slaktkroppsvärdet har i studier visats vara medel till stark ( $>0,5$ ) för alla undersökta mätpunkter (Tabell 11). Däremot kunde Orman et al. (2010) visa på en signifikant skillnad mellan BF-djup, LM-djup och LM-area uppskattat med ultraljud och motsvarande värde på slaktkroppen hos både bagg- och tacklamm. Detsamma gällde för LM-bredd för bagglamm men inte för tacklamm. Grill et al. (2015) gjorde ultraljudsmätningar av BF-djup och LM-djup för att uppskatta EUROP-formklass och fettklass. Resultaten visade att korrelationen mellan LM-djup och EUROP-formklass var  $r=0,60-0,62$  medan korrelationen mellan BF-djup och EUROP-fettklass var  $r=0,66-0,78$ .

Tabell 11. Korrelationer mellan ultraljudsmätning och motsvarande värde på slaktkroppen för olika mätparametrar och studier

Studie	BF-djup	LM-djup	LM-bredd	LM-area
Hopkins et al. 2007	0,67	0,55		
Sahin et al. 2008	0,77	0,60		0,82
Theriault et al. 2009	0,76-0,81			
Orman et al. 2010	0,76-0,93	0,64-0,77		0,84-0,88
Esquivelzeta et al. 2012		$>0,61$	$>0,61$	$>0,61$

De modeller som använts för att uppskatta slaktkroppens sammansättning med hjälp av ultraljudsmätningar har kunnat förklara mellan 48–95 % av variationen i fettprocent och mellan 59–86 % av variationen i köttmängd på slaktkroppen (Tabell 12 och Tabell 13) (Tabell 12 och Tabell 13). Lazar et al. (2016) gjorde även modeller för att uppskatta storleken på enskilda styckdetaljer och kunde förklara 99,4% av variationen i ytterfiléns storlek, 96,3 % av variationen i bringans storlek och 93,8 % av variationen i revbensspjällets storlek genom att inkludera BF-djup, LM-djup, LM-area och LM-omkrets. Wolf et al. (2006) fann att den levande kroppsvikten vid skanning är den mest

betydande variabeln för att uppskatta slaktkroppens sammansättning och den inkluderas i modellerna för att uppskatta slaktkroppens sammansättning i de flesta publicerade studier (Tabell 12 och Tabell 13). Ripoll et al. (2009) såg att för grupper med varierande kroppsvikt hade kroppsvikten en central roll för att förklara slaktkroppens sammansättning, däremot var ultraljudsmätningarna viktigare i grupper med mer homogen kroppsvikt. Hopkins et al. (2007) såg däremot att levandevikten hade liten betydelse för att uppskatta både LM-djup och BF-djup på tunga tackor och hammel (kastrerad bagge). Wolf et al. (2006) såg att modellen för att uppskatta slaktkroppens muskularitet kunde förbättras ytterligare genom att lägga till benens konformationspoäng i modellen.

Precis som för nötboskap, rapporterar både Silva et al. (2007) och Wolf et al. (2006) att mängden kött (kg) kan bestämmas mer precist jämfört med andelen kött (%) i förhållande till slaktkroppens vikt. Hopkins et al. (2007) fann att BF-djup underskattades mer ju fetare djuret blev och författarna uppmanar därför till försiktighet vid mätning av feta får. Esquivelzeta et al. (2012) fann även att BF-djup underskattades och var mindre säkert på magra lamm. Resultatet för mätningarna av LM skiljde sig mellan studierna. Hopkins et al. (2007) fann att LM- djup överskattades mer ju större LM var medan Esquivelzeta et al. (2012) fann att LM- djup underskattades mer ju större muskeln var. Ripoll et al. (2009) gjorde mätningar av LM-djup och LM-bredd vid flera mätpunkter längs med LM och fann att alla mätningar var underskattade och skillnaden varierade mellan 0,8–5,9 mm mellan ultraljudsmätningen och slaktkroppen.

Flera studier lyfter möjligheten att använda ultraljud som ett verktyg inom avel (Emenheiser et al., 2010, Silva et al., 2005) genom användarvänligheten, robustheten och att ultraljud är en relativt billig teknik (Silva et al., 2005). Stanford et al. (2001) fann en hög repeterbarhet vid mätning av LM-area och LM-djup, vilket är viktigt vid avelselektion ( $R=0,542$  respektive  $0,649$ ), medan repeterbarheten för LM-bredd och BF-djup var lägre ( $R=0,236$  respektive  $0,277$ ). Författarna spekulerade i att den låga repeterbarheten för BF-djup troligen berodde på att lammen i den aktuella åldern, 2–4,5 månader, är relativt magra. Även Grill et al. (2015) upprepade samma mätning med några sekunders mellanrum. De fann att korrelationen mellan upprepade mätningar av BF-djup och LM-djup varierade mellan 0,90–0,95. Lazar et al. (2016) konstaterade att icke-linjära modeller hade väldigt hög precision, vilket gör dem lämpliga att tillämpa för att selektera lamm för köttproduktion.

Tabell 12. Sammanställning av regressionsmodeller från olika studier för att uppskatta fett på slaktkroppen hos får och lamm med hjälp av ultraljudsskanning

Studie	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse	Oberoende variabler
Silva et al. (2005)	Fett, kg i kemiskt analyserad del	0,95	r.s.d.=0,57	Levandevikt BF-djup Vävnadsdjup
Hopkins et al. (2007)	BF-djup (mm)	0,48	r.s.d.=4,10	BF-djup Levandevikt
Sahin et al. (2008)	Totalt fett, kg	0,84	r.s.d.=0,24	Levandevikt BF-djup
Ripoll et al. (2009)	Logaritmen av totalt fett, kg	0,51	r.s.d.=0,06	Logaritmen av BF-djup Levandevikt
Wolf et al. (2006)	Totalt fett, kg	0,66	r.s.d.=0,30	Kön Levandevikt BF-djup

Tabell 13. Sammanställning av regressionsmodeller från olika studier för att uppskatta kött på slaktkroppen hos får och lamm med ultraljudsskanning

Studie	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	r.s.d.	Oberoende variabler
Wolf et al. (2006)	Magert kött (kg)	0,83	0,36	Kön Ålder Levandevikt LM-djup BF-djup
Hopkins et al. (2007)	Magert kött (kg)	0,86	1,62	BF-djup Levandevikt
Sahin et al. (2008)	Muskler (kg)	0,80	0,63	Levandevikt LM-area
Ripoll et al. (2009)	Muskler (kg)	0,59	0,14	LM-djup Levandevikt
Silva et al. (2006)	Muskler (kg)	0,99	0,40	Levandevikt BF-djup LM-djup
Lazar et al. (2016)	Köttmängd (kg)	0,82	-	LM-djup LM-area LM-omkrets
Hopkins et al. (2007)	Kött (%)	0,46	2,71	BF-djup Levandevikt

## 3.2 Bioelektrisk impedans (BIA)

Bioelektrisk impedans bygger på att en svag växelström sänds genom kroppen eller kroppsdelen mellan två utplacerade elektroder. Impedans är det fysiska motstånd som kroppen/kroppsdelen har på strömmen. Mätningarna är relaterade till tvärsnittsarea, signalfrekvens och ledarens längd, alltså avstånd mellan elektroderna. Muskler ger ett lägre motstånd medan fettvävnad ger ett högre motstånd (Stanford et al., 1998). Elektroderna är antingen nålformade och sicks ner i muskeln på det levande djuret (Fukuda et al., 2016) eller självhäftande som fästs på huden (Schäff et al., 2017). För att hålla djuren lugna och stilla ges ofta lugnande medicinering innan mätning (Fukuda et al., 2016, Velazco et al., 1999). I övrigt kräver metoden att alla ytor som är i kontakt med djuret är isolerade så att de inte leder ström (Schäff et al., 2017).

### 3.2.1 Nötkreatur

I en japansk studie användes BIA för att mäta intramuskulärt fett i ryggbiffen på japanska black beef cattle (Wagyu) en månad innan slakt. Det finns en stark korrelation mellan råfettinnehåll (dvs. beståndsdel som kan extraheras med fettlösligt medel) i LM i höjd med ländkotorna och i höjd med revbenen. För att undvika att placera nålar i ryggbiffen gjordes därför mätningen indirekt genom att mäta LM vid ländkotorna istället. Resultaten visade att den intracellulära resistansen var korrelerad med den japanska marmoreringsgraden med  $r=0,61$  ( $p < 0,01$ ) och med råfettinnehåll  $r=0,71$ , ( $p < 0,01$ ) och författarna konstaterade att BIA har potential att användas för att bestämma marmoreringsgrad hos nötkreatur (Fukuda et al., 2016). På grund av en hög efterfrågan på magert nötkött hos konsumenter har flera studier under 1990-talet gjorts för att mäta mängden fettfri massa i slaktkroppen och studier har kunnat förklara 89–99 % av den totala fettfria massan hos nöt (Marchello and Slinger, 1994, Velazco et al., 1999). Marchello and Slinger (1994) fann att faktorerna levandevikt, avstånd mellan elektroderna, resistans och reaktans kunde förklara 91 % av den totala muskelmassan och 89 % av den totala fettfria massan. Slutsatsen var att impedans är en enkel mätning som inte har förstörande effekt på köttet och som har potential att användas för selektion av avelsdjur. Velazco et al. (1999) mätte fettfri massa hos tjurar vid 3, 6, 9 och 12 månaders ålder. De fann att för de yngsta djuren (3–6 månader) kunde 99 % av variationen av fettfri massa förklaras ( $SE = 0,26–0,63$ ) medan 77–97 % ( $SE = 0,62–28,01$ ) av variationen hos de äldsta djuren (9–12 månader) kunde förklaras. De efterfrågade mer forskning för att utreda hur placeringen av elektroder, mängd maginnehåll och förändringar i komposition påverkar resultatet. I en studie av Marchello et al. (1999) gjordes BIA-mätningar på slaktmogna nötkreatur och resultaten visade att 80 % av variationen i kg försäljningsprodukt kunde förklaras ( $RMSE=5,6$ ).

Metoden har även använts av Schäff et al. (2017) för att bestämma fettdepåerna på levande lakterande kor. Resultaten visade att bioelektrisk impedans kunde uppskatta fettdepåerna hos levande kor med  $R^2=0,96–0,99$  och  $RMSE=0,73–5,04$  kg, beroende på var på kroppen mätningen gjordes. Efter validering kunde  $RMSE=20,85$  % bestämmas för den bästa mätningen vilket ansågs som acceptabelt för att bestämma totalt fett. På grund av problem med utrustningen gjordes mätningar endast på 7–10 kor beroende på mätposition. Detta gör resultatet något osäkert, men slutsatsen var att metoden genom ytterligare utveckling och forskning har potential att kunna användas som ett verktyg för att uppskatta fettdepåerna hos kor.

## 3.2.2 Får och lamm

I en studie av Slinger et al. (1994) användes bioelektrisk impedans för att uppskatta den totala vikten av styckningsdetaljer hos lamm. Resultaten visade att 79 % av variationen i totalvikt styckningsdetaljer kunde förklaras och att impedans kunde identifiera de lamm som effektivare kunde bidra till hög vikt styckningsdetaljer eftersom de hade större andel magert kött. Berg and Marchello (1994) uppskattade mängden fettfri massa och fettfri mjukvävnad. Resultaten visade att levandevikten och reaktans kunde förklara 78 % av variationen i fettfri massa och 79 % av variationen fettfri mjukvävnad på levande djur. Även Avril et al. (2013) använde bioelektrisk impedans för att uppskatta slaktkroppens sammansättning. De visade att 85 % av kg fettfri massa kunde uppskattas genom en modell som inkluderar levandevikt och resistans, och 65 % av variationen i kg fettmassa kunde uppskattas med en modell som inkluderade levandevikt och konduktans. Tekniken ansågs ge lovande resultat för att uppskatta slaktkroppens sammansättning.

## 3.3 Röntgenstrålning

### 3.3.1 Datortomografi

Vid datortomografi, skiktröntgen, förs djuret in i en maskin som genererar röntgenstrålning och tekniken är densamma som den som används inom humanmedicin. Strålningen passerar genom kroppen och mängden strålning som passerar kroppen mäts. Mottagaren mäter hur mycket strålningen har minskat efter att ha passerat genom kroppen och kan på så vis beräkna densiteten på kroppen. Densiteten ger i sin tur ett standardvärde som kan relateras till exempelvis luft och ben (Stanford et al., 1998). Mätningen resulterar i en tredimensionell bild av kroppen (Marklund, 2015). Utrustningen är från början framtagen för mänsklig medicin och människans kroppsstorlek, vilket begränsar maskinen till att endast mäta mindre djur, t.ex. får och gris (Stanford et al., 1998).

Däremot finns det studier som har testat att använda datortomografi även på nötkreatur. Nade et al. (2005) utvecklade ett eget datortomografisystem där mätningar kunde göras på stående nötkreatur. Mätningen innefattade BF-djup, LM-area och *Musculus trapezius* area vilket jämfördes mot motsvarande mätningar på slaktkroppen. Resultaten visade att korrelationen mellan slaktkroppens mått och de uppskattade måtten för LM-area och BF-djup var starkt korrelerade ( $r=0,84$  och  $r=0,93$ ,  $p < 0,01$ ). För *Musculus trapezius* var korrelationen dock lägre ( $r=0,59$ ,  $p < 0,05$ ). Den lägre korrelationen för *Musculus trapezius* förklarades med att djuren rörde sig under mätningen, vilket påverkar *Musculus trapezius* mer än LM eftersom den ligger ytligare på kroppen och därmed rör sig mer. Författaren diskuterar att det kan vara svårt att mäta de små mängderna marmorering i muskeln på ett levande djur, även med hjälp av digital bildanalys, och att det är viktigt att minimera rörelserna hos djuret.

Metoden har i betydligt större utsträckning utvärderats på levande lamm och har kunnat förklara 45–65 % (Tabell 14) av variationen av % IMF (Clelland et al., 2014, Lambe et al., 2008, Macfarlane et al., 2009). Clelland et al. (2014) och Macfarlane et al. (2009) menade att mätvärden baserade på datortomografi ensamt ger tillräckligt bra mätvärden för att selektera djur för avel baserat på % IMF. Lambe et al. (2008) fann att datortomografi ensamt kan förklara ca 80 % av variationen i kg dissekerat fett och muskler (RMSE=0,27 för muskler och 0,18 för fett) hos Texel lamm. Hos skotska Black face lamm var det mindre av variationen som kunde förklaras, ca 70 % för kg fett (RMSE=0,17) och 42 % för kg muskler (RMSE=0,24). De



byggde även modeller för att uppskatta skärmotstånd och pH i muskeln, men fick låga resultat med  $R^2 < 0,15$  för båda raserna. De konstaterade att metoden kan användas för att mäta muskel och fettegenskaper för att använda i avelsprogram. Macfarlane et al. (2009) fick väldigt svaga resultat när de uppskattade andelen subkutant fett i förhållande till totalt fett med  $R^2 = 6,5$ , r.s.d. = 0,039. De använde sig av area magert kött och arean av subkutant fett taget vid sittbenet. De analyserade att anledningen kan bero på att det var för liten variation i andel subkutant fett i materialet eller att det förekom felkällor under mätningen och att de två mätpunkterna som användes inte kunde representera hela kroppen.

I en studie av Lambe et al. (2009) användes datortomografi tillsammans med kroppsmätningar, ultraljud och videobildanalys för att göra direkta uppskattningar av köttets smaklighet som bedömdes med hjälp av en tränad smakpanel. Testen utfördes på Texel och skotska Black face lamm. Datortomografi var den enskilda mätmetod som gav bäst resultat och kunde uppskatta entrecotens smak och konsumentacceptans hos Texel lamm till  $r = 0,38$  respektive 0,35 med hjälp av fettarea på ett tvärsnitt av kroppen vid 5e ländkotan. Även hos skotska Black face lamm påvisades bästa uppskattningen av stekens saftighet,  $r = 0,30$ , genom mätning av fettarean på ett tvärsnitt av kroppen vid 8e revbenet.

Navajas et al. (2007) använde sig av datortomografi för att ta fram ett muskelindex för avel baserat på mätningar vid bakbenet och vid ländryggen. Indexet för bakbenet var korrelerat med slaktkroppens index,  $r = 0,89$ , medan muskelindex vid ländryggen var korrelerat med slaktkroppens index med 0,55. Högt muskelindex var inte korrelerat med några skadliga effekter på slaktkroppens sammansättning. Även Karamichou et al. (2007) utvecklade ett avelsindex baserat på datortomografimätningar för att förbättra slaktkroppens sammansättning och konformation för skotska Blackface får. Efter att ha selekterat för det indexet under fem år har resultatet gett ett genetiskt framsteg motsvarande 0,11 fenotypiska standardavvikelse per år. Arvbarheten för indexet var 0,41 och för muskelarea uppmätt med datortomografi 0,38. Det gjordes även ultraljudsmätningar av LM-djup och BF-djup. Indexet var positivt genetiskt korrelerat med LM-djup uppskattat med ultraljud och slaktkroppsvikt, samt negativt korrelerat med fettklass. Selektion baserat på muskelindex med hjälp av datortomografi gav en liten förbättring i konformationen och uppnådde en minskad fettklass på slaktkroppen, vilket tyder på att indexet kan användas för att genetiskt förbättra slaktkroppens kvalitet hos Black face får. Jones et al. (2004) använde datortomografi för att uppskatta genetiska parametrar för Charollais, Texel och Suffolklamm. De såg att arvbarheten för levandemätningar av LM-area var  $h^2 = 0,33 - 0,51$ , medan det för muskelindex låg mellan  $h^2 = 0,30 - 0,60$ . Även Maximini et al. (2012) använde datortomografi och ultraljud för att uppskatta genetiska parametrar. Arvbarheten för datortomografimätning var högre för fett ( $h^2 = 0,36$  och 0,40), men inte för muskler ( $h^2 = 0,24$ ). Ultraljudsmätningar och datortomografimätningar var positivt korrelerade med varandra ( $r = 0,46 - 0,84$ ).

I en studie av Einarsson et al. (2014) undersöktes likheter mellan EUROP-bedömning genom VIAscan, som fungerar på likande sätt som datortomografi men man använder istället "electron beam tomography" (EBT). Istället för att mekaniskt rotera källan som sänder ut strålning runt det som ska avbildas, så skjuts strålningen elektroniskt mot en volframanod som delvis omger det som ska avbildas. Anoden i sin tur reflekterar och bryter strålningen så det bildas en strålningsbåge inuti tunneln. Rotationen skapas i sin tur genom att punkten dit strålningen skjuts förflyttas över ytan på volframanoden. Resultaten visade att arvbarheten för EUROP konformationspoäng var 0,32 för VIAscan och 0,35 för visuell bedömning och 0,29 respektive 0,31 för fettgrad enligt EUROP-systemet. Uppskattning av mängden kött i förhållande till hela slaktkroppen med VIAscan hade arvbarheten 0,39–0,63. Mängden magert

kött på de huvudsakliga styckdetaljerna hade en direkt arvbarhet på 0,17–0,21. Studien visade att slaktkroppsmätningar med hjälp av VIAscan kan vara användbara för avelsselektion på Isländska får.

Tabell 14. Sammanställning av studier som gjort uppskattning av intramuskulärt fett genom datortomografi på får/lamm

Studie	Ras	Beroende variabel	R <sup>2</sup>	Avvikelse
Lambe et al. (2008)	Texel	% IMF	0,61	RMSE=0,42
Lambe et al. (2008)	Skotska Black face	% IMF	0,45	RMSE=0,49
Macfarlane et al. (2006)	Charollais Suffolk Texel	% IMF	0,57	r.s.d.=0,006
Clelland et al. (2014)	Texel	% IMF	0,65	RMSE=0,40

### 3.3.2 Bentäthetsmätning

En annan röntgenbaserad metod för att uppskatta slaktkroppens sammansättning kallas på svenska bentäthetsmätning (DXA). Den bygger på samma princip som datortomografi, men bildtagningen görs istället i 2D och har inte samma precision för att avbilda mjukdelar (Marklund, 2015). I en studie av Pearce et al. (2009) kunde DXA förklara 82 % av variationen av kemiskt extraherat protein och vatten, dvs. andel magert kött (r.s.d.=0,87 kg) och 86 % av variationen i andel fett i slaktkroppen hos fårrasen Merino hamlar (r.s.d.= 0,51). Genom att använda de uppskattade värdena av andel fett och protein tillsammans med levandevikten kunde 83 % av variationen av vikten urbenat kött och 86 % av variationen av fettvikt förklaras. De konstaterade att avelsprogram troligen skulle ha fördel av att skanna djur med högt avelsvärde. Även Hunter et al. (2011) använde DXA för att uppskatta slaktkroppens sammansättning hos bagglamm. Uppskattningar av total väpnadsvikt visade på hög korrelation med levandevikt (R<sup>2</sup>=0,99), mängden magert kött med kemiskt extraherat magert kött (R<sup>2</sup>=0,99) och mängden fettvävnad med kemiskt extraherat fett baserat på prover från hela kroppen (R<sup>2</sup>=0,98). De inbyggda algoritmerna var dock anpassade för att uppskatta människokroppens sammansättning, vilket gjorde att de uppskattade värdena skiljde sig från slaktkroppens. Därför behöver metoden förfinas med regressioner anpassade för får.

## 3.4 3D-avbildning

För nötkreatur har 3D-avbildning använts av McPhee et al. (2017) för att bestämma muskelpoäng på levande djur och för att sortera djur under uppfödningen. Muskelpoängen baserar sig på musklernas tjocklek och konvexitet i relation till skelettets storlek och justerat för hur feta djuren var. Djuren klassades in i en 15 gradig skala där 1 var minst muskler och 15 störst muskler. De använde sig av två stycken Red Green Blue-Depth (RGB-D) Microsoft Kinect där bilderna lades ihop för att göra 3D-avbildning av Anguskor- och stutar för att med hjälp av tekniken bestämma RF-djup och muskelpoäng. Algoritmen för att bestämma muskelpoäng och fettdjup tränades upp med hjälp av ultraljudsmätningar av muskelstorlek och fettdjup och manuell mätning av höftens höjd. Resultaten visade att kamerans uppskattning av höftens höjd var korrelerat med det visuellt observerade måttet med 0,75 för kor och 0,90 för stutar. 3D-kameran klassificerade djurens muskelpoäng rätt i 80 % av fallen för korna och 83 % av fallen för stutar. Medelskillnaden mellan uppskattat RF-djup och

fastställt RF-djup var 0,02 mm ( $p=0,62$ ) och 0,03 mm ( $p=0,42$ ) för kor respektive stutar. Det fanns alltså ingen signifikant skillnad mellan RF-djup uppmätt med 3D-avbildning och RF-djup på slaktkroppen. RMSE för RF-djup var 1,54 mm för kor och 1 mm för stutar. Ytterligare data krävs för att stärka kapaciteten för maskininlärningen enligt författarna. Metoden har även testats av Mullins et al. (2019) som utvärderade DeLaval body condition scoring (BCS) för att mäta hull på mjölkkor där en kamera gör mätningen i 3D. Kameramätningarna som gav ett kontinuerligt värde jämfördes mot traditionella hullbedömningar som gjordes utav tre erfarna djurskötare. Den manuella hullbedömningen bedömdes från 1–5 där 1 är ett extremt magert djur och 5 är ett extremt fett djur. Resultaten visade att djur som manuellt klassats mellan 3–3,75 var bäst klassade med BCS där endast 5 % av djuren över- eller underskattades. För djur som manuellt klassats till mindre än poäng 3 var det 44% som överskattades, medan för de som manuellt klassats till över 3,75 poäng var det 92 % som underskattades. Slutsatsen var att BCS kan skatta djur som ligger inom spannet 3–3,75 korrekt och lika säkert som vid manuell bedömning medan bedömningen av djur som har en poäng över eller under normalt hull är svårare att bedöma.

### 3.5 Kärnmagnetisk resonans (NMR)

Kärnmagnetisk resonans bygger på att kroppen förs in i ett magnetfält, vilket gör att protonerna i kroppen som också är magnetiska ställer in sig efter magnetfältet och roterar i en viss riktning mot det magnetiska fältet. Genom att tillsätta energi med hjälp av en radiofrekvent puls kan protonernas rotationsvinkel tippas 90 grader så de roterar vinkelrätt mot det magnetiska fältet. Så fort man slutar att tillföra energi kommer protonen börja att avge energi i form av en radiofrekvent signal, som kan fångas upp med en radiomottagare. Denna mäter signalens styrka och med vilken hastighet signalen avtar. Olika vävnader gör sig av med energin olika snabbt vilket gör att detaljrika bilder på kroppens vävnader uppstår (Peters and Ylitalo, 2006). Metoden kan därför användas för att mäta musklernas intramuskulära fett. Det finns ingen studie som använt kärnmagnetisk resonans på levande djur, men i en studie av Nakashima (2015) utvecklades en prototyp på en magnetresonansskanner, som kan göra snabba mätningar vilket är en fördel vid mätning av levande djur som rör sig. Syftet med försöket var att undersöka hur säker bedömning som kan göras av muskelns marmoreringsgrad genom att mäta andelen fett och muskler. Studien utvärderade mätningen på köttblock, för att i senare försök kunna ta vidare metoden på levande djur. Skannern som användes i studien kunde endast mäta 30 mm djupt, vilket gjorde det möjligt att mäta *Musculus trapezius* som ligger ytligt på kroppen. En större magnet som istället mäter LM skulle bli för dyr och farlig att använda på levande djur. Resultaten i studien visade att felmarginalen låg på ca 10 viktprocent, vilket tyder på att prototypen även kan göra noggranna mätningar på levande djur och att metoden eventuellt skulle kunna fungera som ett selektionsverktyg inom avel.

## 4 Diskussion

Eftersom metoderna för att utvärdera de olika mätteknikerna varierar mycket mellan olika studier är det svårt att göra rättvisa jämförelser mellan de olika teknikerna. Därför kommer det inte göras djupare jämförelser mellan metoderna utan endast generella slutsatser om varje teknik.

## 4.1 Ultraljud

Ultraljud är den teknik som har studerats i störst omfattning hos både nöt och lamm. Tekniken är robust, lätt att förflytta och hantera och kräver relativt lite hantering av djuret vid mättillfället. Det är den vanligaste metoden för att bestämma marmorering hos nötkreatur och används idag praktiskt i exempelvis USA och Kanada både för avelsvärdering och för selektering och sortering av djur i bruksbesättningar. Resultaten för ultraljudsmätning av IMF varierar mellan olika studier och en del av variationen kan troligtvis förklaras med hjälp av skillnader i metod för att göra uppföljande mätningar på slaktkroppen och skillnader i hur analysen av ultraljudsbilderna gjorts. Metoderna verkar generellt sammanfalla och korrelationerna som redovisats i denna rapport visar att de som har analyserat bilderna med hjälp av mjukvaruprogram och bedömt slaktkroppen efter kemiskt analyserad % IMF har lägre korrelation mellan ultraljudsmätningen och slaktkroppsmätningen ( $r=0,35-0,44$ ) jämfört med de studier som skickat bilderna till certifierat lab och visuellt klassat marmoreringen på slaktkroppen ( $r=0,31-0,73$ ). Det går inte att utifrån dessa studier att identifiera vilken av faktorerna bildanalysmetod eller metod för slaktkroppsmätningen som har mest avgörande effekt eller om det är någon ytterligare faktor som har betydelse, men detta är något som skulle vara intressant att undersöka närmare i framtida studier. När det gäller uppskattning av IMF % på slaktkroppen med hjälp av regressionsmodeller är det en väldigt stor spridning i resultat även om alla studier har analyserat bilderna med mjukvaruprogram. Denna litteraturgenomgång har inte hittat några studier som utvärderat ultraljud som metod för att mäta marmorering hos lamm.

Ultraljudsmätning av BF-djup eller RF-djup hos nöt har visat starka korrelationer med motsvarande värde på slaktkroppen medan motsvarande resultat för lamm och får är generellt lägre. Detta kan troligtvis bero på att pälsen hos får gör det svårare för ultraljudsmätaren att få kontakt med huden, vilket kan avhjälpas bland annat genom att trycka läsaren hårdare mot huden vilket kan deformera fett och ge felaktigt resultat (Silva and Cadavez, 2012). Korrelationen mellan ultraljudsmätning av LM-djup och motsvarande slaktkroppsvärde varierar mycket mellan olika studier med  $r=0,43-0,98$  för nöt medan det hos lamm är något jämnare resultat med en medelstark korrelation. Däremot kan regressionsmodeller generellt förklara över 80 % av variationen av mängden försäljningsprodukt hos nöt och olika mått på mängden kött på slaktkroppen hos lamm och får.

Endast en publicerad studie som jämför ultraljudsmätningar mot EUROP-konformationspoäng och fettklass hos nötkreatur har hittats i sökningarna. Mätningarna kunde i denna studie förklara upp emot 63 % av variationen i fettklass och 78 % av variationen i konformationspoäng. Dessa resultat är något sämre än de generella resultaten för modeller som förklarar mängden försäljningsprodukt och mängden putsfett. Däremot visar validering av modellen att metoden endast gör små skillnader mellan skattning och faktiskt slaktkroppsvärde. Eftersom EUROP-systemet är betalningsgrundande i Sverige och EU skulle det vara intressant att se fler studier som kan bekräfta dessa resultat.

## 4.2 BIA

BIA kräver generellt att djuren ges lugnande medicinering och placeras i en fixeringsbur med isolerade ytor som inte leder ström, vilket begränsar den praktiska användbarheten. Det finns olika typer av elektroder, dels de som fästs på huden dels de som är nålformade och sticks ner i muskeln på det levande djuret. Fukuda et al. (2016) menade att eftersom det innebär ett

ingrepp i muskeln, så vill inte uppfödare sticka nålar i den del där marmoreringen bedöms utan placerar hellre nålarna längre bort på samma muskel. Detta skulle kunna ge sämre mätresultat än att mäta den aktuella styckningsdetaljen och kan undvikas genom att använda elektroder som fästs på huden istället. Utifrån den litteratur som publicerats går det inte att göra någon rättvis jämförelse av säkerheten i mätningarna beroende på val av elektroder. Avril et al. (2013) argumenterade för nålformade elektroder eftersom det minimerar kontakten med pälsen och håller elektroderna på plats även när djuret rör sig. Dessutom går det att gå djupare i muskeln och få direktkontakt med den aktuella vävnaden. Denna utrustning skulle troligtvis vara svår att använda med den svenska djurskyddslagstiftningen och eventuellt kräva särskilt utbildad personal eller veterinär för att få göra den typen av ingrepp på djuret. Jämfört med ultraljud finns det relativt få studier publicerade där BIA används som metod för att skatta slaktkroppsp parametrar eller använda inom avelsselektion. Metoden har uppnått likvärdiga resultat som ultraljud för att uppskatta marmorering och den har potential för att användas även för att mäta fett och muskelmassa. För att metoden ska tillämpas i Sverige krävs bättre utvärdering av metoden och framför allt med elektroder som klistras mot huden. Nålar skulle möjligtvis kunna användas på avelsstationer med veterinär och kompetent och utbildad personal, där utrustningen skulle ha ett större värde jämfört med hos bruksbesättningar. En nackdel med metoden jämfört med andra metoder är att den inte ger en visuell bild av muskeln, vilket i många fall kan göra det lättare att förstå och använda metoden.

## 4.3 Röntgenstrålning

Datortomografi går bra att använda på levande lamm, som får plats i skannern, men för att skanna levande nöt krävs en specialbyggd skanner som anpassats för nötkreatur då den maskin som hittills använts är utformad för humanmedicin. Det är även svårare att begränsa rörligheten hos stående nötkreatur, vilket gör det svårare att mäta ytliga muskler som rör sig mer. Utrustningen är även dyr att använda och kräver utbildad personal, vilket kan begränsa tillgängligheten. Vid skanning av lamm ges lugnande medel och djuren placeras på rygg för att få dem tillräckligt fixerade. Detta kommenterades inte i artiklarna, men det kan argumenteras för att det kan vara ett djurskyddsproblem och innebära onödiga ingrepp på djuren. Utrustningen är inte heller mobil, vilket innebär att djuren behöver komma till utrustningen. Detta begränsar användningen av utrustningen och gör den mest lämplig att använda inom avelsvärdering för att förfina skillnader på redan högt meriterade djur på exempelvis en avelsstation, eller som referensmetod i forskningsstudier. Eftersom fårproduktionen i Sverige är relativt liten och den typen av organiserad avel inte förekommer så är nyttan av tekniken begränsad i Sverige. Den studie som gjorts på nötkreatur gjorde inga mätningar av marmorering då de bedömde det som svårt att fixera stående nötkreatur tillräckligt för att kunna ta en bra bild. Därför är det mycket mer utveckling som krävs innan datortomografi har ett kommersiellt värde för nötkreatur. Resultaten för att uppskatta % IMF på lamm var likvärdiga med de som görs med ultraljud på nöt och även uppskattning av muskler och fett gav goda resultat för både nötkreatur och lamm, även om betydligt mer forskning krävs för att dra slutsatser om röntgenmätning på nötkreatur.

## 4.4 3D-avbildning

Det finns fortfarande begränsat med studier publicerade inom kamerateknik, men 3D-avbildning har stark potential att göra mätningar av fettdjup, kroppsconfirmation och hullbedömning på nötkreatur. Kopplingen specifikt till ätkvalitetsparametrar saknas dock

eftersom kameran bara mäter exteriör. Fördelen med tekniken är att den är oberoende av personal som sköter utrustningen då den kan automatiseras och den har god repeterbarhet. Metoden kräver dock mer utveckling och utvärdering för att visa på tillförlitliga resultat. Men Mullins et al. (2019) argumenterade dock ändå för att BCS var tillräckligt bra för att fungera som beslutsstöd på gården eftersom de flesta djur faller inom spannet där bedömningarna var korrekta. För att göra metoden mer lättillgänglig för lantbrukare skulle det vara intressant att även kunna uppskatta djurets EUROP-klassning på likande sätt som muskelpoäng klassades i studien av McPhee et al. (2017).

## 4.5 Kärnmagnetisk resonans

Även NMR är en relativt outforskad teknik som kräver ytterligare utveckling innan metoden kan användas på levande djur. Begränsningen i denna teknik är att den endast kan göra ytliga mätningar ner till 30 mm djup, vilket innebär att den inte kan mäta LM utan endast *Musculus trapezius* som ligger betydligt ytligare. Det framgår inte i studien hur den praktiska mätningen skulle gå till på levande djur. För att nå ett högt kommersiellt värde bör tekniken vara mobil för att kunna tas med ut på gård och inte kräva mer utbildning än en lättare kurs.

## 5 Slutsats

De tekniker som har utvärderats för att mäta köttkvalitet eller slaktkroppsegenskaper på levande nötkreatur och lamm är ultraljud, bioelektrisk impedans (BIA), datortomografi, bentäthetsmätning, 3D-avbildning och kärnmagnetisk resonans (NMR). Hos levande nötkreatur kan marmorering uppskattas med likvärdiga resultat för både ultraljud och BIA, men rent praktiskt är det endast ultraljud som är lämplig för kommersiellt bruk i Sverige. Det finns även potential att utveckla NMR för mätning i ytligare muskler, men den praktiska tillämpbarheten hos levande djur är ännu oklar. Både fett och muskler hos nöt kan mätas med ultraljud, BIA, datortomografi och 3D-avbildning. Även för dessa mätningar är det ultraljud och 3D-avbildning som är de metoder som har potential att användas praktiskt i Sverige. På lamm har endast datortomografi använts för att uppskatta marmorering, med resultat som är i nivå med de man funnit med hjälp av ultraljud hos nöt. Muskler och fett hos lamm kan mätas med tillfredställande resultat med hjälp av BIA, datortomografi och bentäthetsmätning.

## 6 Referenser

- AASS, L., FRISTEDT, C. G. & GRESHAM, J. D. 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Science*, 125, 177-186.
- AASS, L., GRESHAM, J. D. & KLEMETSDAL, G. 2006. Prediction of intramuscular fat by ultrasound in lean cattle. *Livestock Science*, 101, 228-241.
- ARNOLD, J. W., BERTRAND, J. K., BENYSHEK, L. L. & LUDWIG, C. 1991. Estimates of genetic-parameters for live animal ultrasound, actual carcass data, and growth traits in beef-cattle. *Journal of Animal Science*, 69, 985-992.
- AVRIL, D. H., LALLO, C., MLAMBO, V. & BOURNE, G. 2013. The application of bioelectrical impedance analysis in live tropical hair sheep as a predictor of body composition upon slaughter. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1803-1808.
- BAKER, M. J., TEDESCHI, L. O., FOX, D. G., HENNING, W. R. & KETCHEN, D. J. 2006. Using ultrasound measurements to predict body composition of yearling bulls. *Journal of Animal Science*, 84, 2666-2672.
- BAUD, S., WADE, C. M. & GODDARD, M. E. 1998. An evaluation of the use of ultrasound scanning to predict carcass traits in steers grain fed for the Japanese market. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 147-152.
- BERG, E. P. & MARCHELLO, M. J. 1994. Bioelectrical-impedance analysis for the prediction of fat-free mass in lambs and lamb carcasses. *Journal of Animal Science*, 72, 322-329.
- BERGEN, R., MILLER, S. P., MANDELL, I. B. & ROBERTSON, W. M. 2005. Use of live ultrasound, weight and linear measurements to predict carcass composition of young beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, 85, 23-35.
- BERGEN, R. D., MCKINNON, J. J., CHRISTENSEN, D. A., KOHLE, N. & BELANGER, A. 1997. Use of real-time ultrasound to evaluate live animal carcass traits in young performance-tested beef bulls. *Journal of Animal Science*, 75, 2300-2307.
- BOERNER, V., JOHNSTON, D. J. & GRASER, H.-U. 2013. Genetic relationships between live animal scan traits and carcass traits of Australian Angus bulls and heifers. *Animal Production Science*, 53, 1075-1082.
- BRETHOUR, J. R. 1990. Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle. *Journal of animal science*, 68, 2603-2613.
- BRETHOUR, J. R. 2000a. Using receiver operating characteristic analysis to evaluate the accuracy in predicting future quality grade from ultrasound marbling estimates on beef calves. *Journal of Animal Science*, 78, 2263-2268.
- BRETHOUR, J. R. 2000b. Using serial ultrasound measures to generate models of marbling and backfat thickness changes in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 78, 2055-2061.
- BULLOCK, K. D., BERTRAND, J. K., BENYSHEK, L. L., WILLIAMS, S. E. & LUST, D. G. 1991. Comparison of real-time ultrasound and other live measures to carcass measures as predictors of beef cow energy stores. *Journal of Animal Science*, 69, 3908-3916.
- CHAMBAZ, A., DUFÉY, P. A., KREUZER, M. & GRESHAM, J. 2002. Sources of variation influencing the use of real-time ultrasound to predict intramuscular fat in live beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 82, 133-139.
- CLELLAND, N., BUNGER, L., MCLEAN, K. A., CONINGTON, J., MALTIN, C., KNOTT, S. & LAMBE, N. R. 2014. Prediction of intramuscular fat levels in Texel lamb loins using X-ray computed tomography scanning. *Meat Science*, 98, 263-271.
- CONROY, S. B., DRENNAN, M. J., KENNY, D. A. & MCGEE, M. 2009. The relationship of live animal muscular and skeletal scores, ultrasound measurements and carcass classification scores with carcass composition and value in steers. *Animal*, 3, 1613-1624.
- CREWS, D. H., SHANNON, N. H., CREWS, R. E. & KEMP, R. A. 2002. Weaning, yearling, and preharvest ultrasound measures of fat and muscle area in steers, bulls, and heifers. *Journal of Animal Science*, 80, 2817-2824.

- CREWS JR, D. H. & KEMP, R. A. 2002. Genetic evaluation of carcass yield using ultrasound measures on young replacement beef cattle. *Journal of Animal Science*, 80, 1809-1818.
- DA LUZ E SILVA, S., TAROUÇO, J. U., STERMAN FERRAZ, J. B., GOMES, R. D. C., LEME, P. R. & NAVAJAS, E. A. 2012. Prediction of retail beef yield, trim fat and proportion of high-valued cuts in Nellore cattle using ultrasound live measurements. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science*, 41, 2025-2031.
- DELFA, R., TEIXEIRA, A., GONZALEZ, C. & BLASCO, I. 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and Longissimus dorsi muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Ruminant Research*, 16, 159-164.
- EINARSSON, E., EYTHORSÐOTTIR, E., SMITH, C. R. & JONMUNDSSON, J. V. 2014. Genetic parameters for lamb carcass traits assessed by video image analysis, EUROP classification and in vivo measurements. *Icelandic Agricultural Sciences*, 3-14.
- EMENHEISER, J. C., GREINER, S. P., LEWIS, R. M. & NOTTER, D. R. 2010. Validation of live animal ultrasonic measurements of body composition in market lambs. *Journal of Animal Science*, 88, 2932-2939.
- EMENHEISER, J. C., NOTTER, D. R., LEWIS, R. M., TAIT, R. G., JR., SHACKELFORD, S. D., KUEHN, L. A. & WHEELER, T. L. 2014. Use of ultrasound scanning and body condition score to evaluate composition traits in mature beef cows. *Journal of Animal Science*, 92, 3868-3877.
- ESQUIVELZETA, C., CASELLAS, J., FINA, M. & PIEDRAFITA, J. 2012. Backfat thickness and longissimus dorsi real-time ultrasound measurements in light lambs. *Journal of Animal Science*, 90, 5047-5055.
- FUKUDA, O., HASHIMOTO, D., AHMED, I. & IEEE 2016. Bioelectrical Impedance Analysis for Estimating Marbling Score of Live Beef Cattle in Japan. *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (Ieem)*, 1508-1512.
- GREINER, S. P. 2003d. *Ultrasound Applications for the Beef Industry* [Online]. Available: [https://www.sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/livestock/aps-03\\_04/aps-218.html](https://www.sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/livestock/aps-03_04/aps-218.html) [Accessed November 19, 2018].
- GREINER, S. P., ROUSE, G. H., WILSON, D. E., CUNDIFF, L. V. & WHEELER, T. L. 2003a. Accuracy of predicting weight and percentage of beef carcass retail product using ultrasound and live animal measures. *Journal of Animal Science*, 81, 466-473.
- GREINER, S. P., ROUSE, G. H., WILSON, D. E., CUNDIFF, L. V. & WHEELER, T. L. 2003b. Prediction of retail product weight and percentage using ultrasound and carcass measurements in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81, 1736-1742.
- GREINER, S. P., ROUSE, G. H., WILSON, D. E., CUNDIFF, L. V. & WHEELER, T. L. 2003c. The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81, 676-682.
- GRILL, L., RINGDORFER, F., BAUMUNG, R. & FUERST-WALTL, B. 2015. Evaluation of ultrasound scanning to predict carcass composition of Austrian meat sheep. *Small Ruminant Research*, 123, 260-268.
- GÅRD & DJURHÅLSAN. 2018. *Slaktmognadsbedömning* [Online]. Available: [https://www.gardochdjurhalsan.se/upload/documents/Dokument/Startsida\\_Not/Kunskapsbank/Management/Slaktmognadsbedomning\\_handledning.pdf](https://www.gardochdjurhalsan.se/upload/documents/Dokument/Startsida_Not/Kunskapsbank/Management/Slaktmognadsbedomning_handledning.pdf) [Accessed November 19, 2018].
- HARPER, G. & PETHICK, D. 2004. How might marbling begin? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 653-662.
- HASSEN, A., WILSON, D. E., AMIN, V. R., ROUSE, G. H. & HAYS, C. L. 2001. Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *Journal of Animal Science*, 79, 11-18.
- HASSEN, A., WILSON, D. E. & ROUSE, G. H. 1999. Evaluation of carcass, live, and real-time ultrasound measures in feedlot cattle: II. Effects of different age end points on the accuracy of predicting the percentage of retail product, retail product weight, and hot carcass weight. *Journal of Animal Science*, 77, 283-290.



- HERRING, W. O., MILLER, D. C., BERTRAND, J. K. & BENYSHEK, L. L. 1994. Evaluation of machine, technician, and interpreter effects on ultrasonic measures of backfat and longissimus muscle area in beef-cattle. *Journal of Animal Science*, 72, 2216-2226.
- HOCQUETTE, J.-F., RENAND, G., LEVÉZIEL, H. H., PICARD, B. & CASSAR-MALEK, I. 2006. The potential benefits of genetics and genomics to improve beef quality-a review. *Animal Science Papers and Reports*, 24, 173-189.
- HOCQUETTE, J.-F., RICHARDSON, R. I., PRACHE, S., MEDALE, F., DUFFY, G. & SCOLLAN, N. D. 2005. The future trends for research on quality and safety of animal products. *Italian Journal of Animal Science*, 4, 49-72.
- HOPKINS, D. L., STANLEY, D. F. & PONNAMPALAM, E. N. 2007. Relationship between real-time ultrasound and carcass measures and composition in heavy sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 1304-1308.
- HUNTER, T. E., SUSTER, D., DUNSHEA, F. R., CUMMINS, L. J., EGAN, A. R. & LEURY, B. J. 2011. Dual energy X-ray absorptiometry (DXA) can be used to predict live animal and whole carcass composition of sheep. *Small Ruminant Research*, 100, 143-152.
- JONES, H. E., LEWIS, R. M., YOUNG, M. J. & SIMM, G. 2004. Genetic parameters for carcass composition and muscularity in sheep measured by X-ray computer tomography, ultrasound and dissection. *Livestock Production Science*, 90, 167-179.
- JORDBRUKSVERKET. 1998. *Klassificering av slaktkroppar* [Online]. Available: [https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_ovrigt/ovr21.pdf](https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr21.pdf) [Accessed January 03, 2019].
- KARAMICHOU, E., MERRELL, B. G., MURRAY, W. A., SIMM, G. & BISHOP, S. C. 2007. Selection for carcass quality in hill sheep measured by X-ray computer tomography. *Animal*, 1, 3-11.
- KOOHMARAIE, M., KENT, M. P., SHACKELFORD, S. D., VEISETH, E. & WHEELER, T. L. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Sci*, 62, 345-52.
- LAMBE, N. R., NAVAJAS, E. A., FISHER, A. V., SIMM, G., ROEHE, R. & BUENGER, L. 2009. Prediction of lamb meat eating quality in two divergent breeds using various live animal and carcass measurements. *Meat Science*, 83, 366-375.
- LAMBE, N. R., NAVAJAS, E. A., SCHOFIELD, C. P., FISHER, A. V., SIMM, G., ROEHE, R. & BUNGER, L. 2008. The use of various live animal measurements to predict carcass and meat quality in two divergent lamb breeds. *Meat Science*, 80, 1138-1149.
- LAZAR, C., GRAS, M. A., PELMUS, R. S., ROTAR, C. M., GHITA, E. & BURLACU, R. 2016. Estimation of meat amount by non-linear multiple regression equations using in vivo and carcass measurements on Teleorman Black Head lambs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 25, 292-301.
- LI, C., ZHOU, G., XU, X., ZHANG, J., XU, S. & JI, Y. 2006. Effects of Marbling on Meat Quality Characteristics and Intramuscular Connective Tissue of Beef Longissimus Muscle. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 19, 1799-1808.
- MACFARLANE, J. M., LEWIS, R. M., EMMANS, G. C., YOUNG, M. J. & SIMM, G. 2006. Predicting carcass composition of terminal sire sheep using X-ray computed tomography. *Animal Science*, 82, 289-300.
- MACFARLANE, J. M., LEWIS, R. M., EMMANS, G. C., YOUNG, M. J. & SIMM, G. 2009. Predicting tissue distribution and partitioning in terminal sire sheep using x-ray computed tomography. *Journal of Animal Science*, 87, 107-118.
- MACNEIL, M. D. & NORTH CUTT, S. L. 2008. National cattle evaluation system for combined analysis of carcass characteristics and indicator traits recorded by using ultrasound in Angus cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 2518-2524.
- MARCHELLO, M. J., MCLENNAN, J. E., DHUYVETTER, D. V. & SLANGER, W. D. 1999. Determination of saleable product in finished cattle and beef carcasses utilizing bioelectrical impedance technology. *J Anim Sci*, 77, 2965-70.
- MARCHELLO, M. J. & SLANGER, W. D. 1994. Bioelectrical impedance can predict skeletal muscle and fat-free skeletal muscle of beef cows and their carcasses. *J Anim Sci*, 72, 3118-23.

- MARKLUND, N. 2015. *Avbildningsmetoder* [Online]. Available: <https://studentportalen.uu.se/uusp-filearea-tool/download.action?nodeId=1424204&toolAttachmentId=276543> [Accessed November 19, 2018].
- MAXIMINI, L., BROWN, D. J., BAUMUNG, R. & FUERST-WALTL, B. 2012. Genetic parameters of ultrasound and computer tomography scan traits in Austrian meat sheep. *Livestock Science*, 146, 168-174.
- MCLAREN, D. G., NOVAKOFSKI, J., PARRETT, D. F., LO, L. L., SINGH, S. D., NEUMANN, K. R. & MCKEITH, F. K. 1991. A study of operator effects on ultrasonic measures of fat depth and longissimus muscle area in cattle, sheep and pigs. *Journal of Animal Science*, 69, 54-66.
- MCPHEE, M. J., WALMSLEY, B. J., SKINNER, B., LITTLER, B., SIDDELL, J. P., CAFE, L. M., WILKINS, J. F., ODDY, V. H. & ALEMPIJEVIC, A. 2017. Live animal assessments of rump fat and muscle score in Angus cows and steers using 3-dimensional imaging. *Journal of Animal Science*, 95, 1847-1857.
- MEDICINSK ORDBOK. 2018. *A-mode* [Online]. Available: <http://medicinskordbok.se/component/content/article/9-b/50415-a-mode> [Accessed November 1, 2018].
- MENDES JORGE, A., ANDRIGHETTO, C., DE LIMA FRANCISCO, C., POLIZEL NETO, Â., DE CASTRO MOURÃO, R., BIANCHINI, W., RODRIGUES, É. & DE AMORIM RAMOS, A. 2007a. Predicting beef carcass retail products of Mediterranean buffaloes by real-time ultrasound measures. *Italian Journal of Animal Science*, 6, 1157-1159.
- MENDES JORGE, A., ANDRIGHETTO, C., FRANCISCO, C. L., RAMOS, A. A., BONILHA PINHEIRO, R. S. & RODRIGUES, É. 2007b. Correlations among carcass traits taken by ultrasound and after slaughter in Mediterranean (*Bubalus bubalis*) young bulls. *Italian Journal of Animal Science*, 6, 1160-1162.
- MLA. 2016. *Grading* [Online]. Available: <https://www.mla.com.au/marketing-beef-and-lamb/meat-standards-australia/msa-beef/grading/> [Accessed November 19, 2018].
- MULLINS, I. L., M. TRUMAN, C., CAMPLER, M., BEWLEY, J. & COSTA, J. H. 2019. *Validation of a Commercial Automated Body Condition Scoring System on a Commercial Dairy Farm*.
- NADE, T., FUJITA, K., FUJII, M., YOSHIDA, M., HARYU, T., MISUMI, S. & OKUMURA, T. 2005. Development of X-ray computed tomography for live standing cattle. *Animal Science Journal*, 76, 513-517.
- NAKASHIMA, Y. 2015. Development of a Single-Sided Nuclear Magnetic Resonance Scanner for the In Vivo Quantification of Live Cattle Marbling. *Applied Magnetic Resonance*, 46, 593-606.
- NAVAJAS, E. A., LAMBE, N. R., MCLEAN, K. A., GLASBEY, C. A., FISHER, A. V., CHARTERIS, A. J. L., BUNGER, L. & SIMM, G. 2007. Accuracy of in vivo muscularity indices measured by computed tomography and their association with carcass quality in lambs. *Meat Science*, 75, 533-542.
- NOGALSKI, Z., POGORZELSKA-PRZYBYLEK, P., BIALOBRZEWSKI, I., MODZELEWSKA-KAPITULA, M., SOBCZUK-SZUL, M. & PURWIN, C. 2017. Estimation of the intramuscular fat content of m. longissimus thoracis in crossbred beef cattle based on live animal measurements. *Meat Science*, 125, 121-127.
- ORMAN, A., CALISKAN, G. U. & DIKMEN, S. 2010. The assessment of carcass traits of Awassi lambs by real-time ultrasound at different body weights and sexes. *Journal of Animal Science*, 88, 3428-3438.
- PANNIER, L., GARDNER, G. E., PEARCE, K. L., MCDONAGH, M., BALL, A. J., JACOB, R. H. & PETHICK, D. W. 2014. Associations of sire estimated breeding values and objective meat quality measurements with sensory scores in Australian lamb. *Meat Science*, 96, 1076-1087.
- PEARCE, K. L., FERGUSON, M., GARDNER, G., SMITH, N., GREEF, J. & PETHICK, D. W. 2009. Dual X-ray absorptiometry accurately predicts carcass composition from live sheep and chemical composition of live and dead sheep. *Meat Science*, 81, 285-293.
- PEÑA, F., MOLINA, A., JUÁREZ, M., REQUENA, F., AVILÉS, C., SANTOS, R., DOMENECH, V. & HORCADA, A. 2014a. Use of serial ultrasound measures in the study of growth- and breed-related changes of ultrasonic measurements and relationship with carcass measurements in lean cattle breeds. *Meat Science*, 96, 247-255.

- PEÑA, F., SANTOS, R., JUÁREZ, M., AVILÉS, C., DOMENECH, V., GONZÁLEZ, A., MARTÍNEZ, A. & MOLINA, A. 2014b. The use of ultrasound scanning at different times of the finishing period in lean cattle. *Livestock Science*, 167, 381-391.
- PETERS, J. & YLITALO, M. 2006. *Magnetisk resonanstomografi* [Online]. Available: <http://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1025356&dsid=-7566> [Accessed January 04, 2019].
- POGORZELSKA-PRZYBYLEK, P., NOGALSKI, Z., WIELGOSZ-GROTH, Z., WINARSKI, R., SOBCZUK-SZUL, M., LAPINSKA, P. & PURWIN, C. 2014. Prediction of the carcass value of young holstein-friesian bulls based on live body measurements. *Annals of Animal Science*, 14, 429-439.
- REALINI, C. E., WILLIAMS, R. E., PRINGLE, T. D. & BERTRAND, J. K. 2001. Gluteus medius and rump fat depths as additional live animal ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 79, 1378-1385.
- RIPOLL, G., JOY, M., ALVAREZ-RODRIGUEZ, J., SANZ, A. & TEIXEIRA, A. 2009. Estimation of light lamb carcass composition by in vivo real-time ultrasonography at four anatomical locations. *Journal of Animal Science*, 87, 1455-1463.
- ROBINSON, D. L., HAMMOND, K. & MCDONALD, C. A. 1993. Live animal measurement of carcass traits - estimation of genetic-parameters for beef-cattle. *Journal of Animal Science*, 71, 1128-1135.
- SAHIN, E. H., YARDIMCI, M., CETINGUL, I. S., BAYRAM, I. & SENGOR, E. 2008. The use of ultrasound to predict the carcass composition of live Akkaraman lambs. *Meat Science*, 79, 716-721.
- SAKAMOTO, L. S., MERCADANTE, M. E. Z., BONILHA, S. F. M., BRANCO, R. H., BONILHA, E. F. M. & MAGNANI, E. 2014. Prediction of retail beef yield and fat content from live animal and carcass measurements in Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 92, 5230-5238.
- SCHÄFF, C. T., PLIQUETT, U., TUCHSCHERER, A., PFUHL, R., GOERS, S., METGES, C. C., HAMMON, H. M. & KROEGER-KOCH, C. 2017. Evaluation of electrical broad bandwidth impedance spectroscopy bioelectrical impedance spectroscopy, cow, deuterium oxide dilution, fat depot masses as a tool for body composition measurement in cows in comparison with body measurements and the deuterium oxide dilution method. *Journal of Animal Science*, 95, 2041-2051.
- SILVA, S. R., AFONSO, J. J., SANTOS, V. A., MONTEIRO, A., GUEDES, C. M., AZEVEDO, J. M. T. & DIAS-DA-SILVA, A. 2006. In vivo estimation of sheep carcass composition using real-time ultrasound with two probes of 5 and 7.5 MHz and image analysis. *Journal of Animal Science*, 84, 3433-3439.
- SILVA, S. R. & CADAVEZ, V. P. 2012. Real-time ultrasound (RTU) imaging methods for quality control of meats. In: SUN, D.-W. (ed.) *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries*. Woodhead Publishing.
- SILVA, S. R., GOMES, M. J., DIAS-DA-SILVA, A., GIL, L. F. & AZEVEDO, J. M. T. 2005. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science*, 83, 350-357.
- SILVA, S. R., GUEDES, C. M., SANTOS, V. A., LOURENCO, A. L., AZEVEDO, J. M. T. & DIAS-DA-SILVA, A. 2007. Sheep carcass composition estimated from Longissimus thoracis et lumborum muscle volume measured by in vivo real-time ultrasonography. *Meat Science*, 76, 708-714.
- SLANGER, W. D., MARCHELLO, M. J., BUSBOOM, J. R., MEYER, H. H., MITCHELL, L. A., HENDRIX, W. F., MILLS, R. R. & WARNOCK, W. D. 1994. Predicting total weight of retail-ready lamb cuts from bioelectrical-impedance measurements taken at the processing plant. *Journal of Animal Science*, 72, 1467-1474.
- SMITH, M. T., OLTJEN, J. W., DOLEZAL, H. G., GILL, D. R. & BEHRENS, B. D. 1992. Evaluation of ultrasound for prediction of carcass fat thickness and longissimus muscle area in feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 70, 29-37.
- SONG, Y. H., KIM, S. J. & LEE, S. K. 2002. Evaluation of ultrasound for prediction of carcass meat yield and meat quality in Korean native cattle (Hanwoo). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15, 591-595.

- STANFORD, K., BAILEY, D. R. C., JONES, S. D. M., PRICE, M. A. & KEMP, R. A. 2001. Ultrasound measurement of longissimus dimensions and backfat in growing lambs: effects of age, weight and sex. *Small Ruminant Research*, 42, 191-197.
- STANFORD, K., JONES, S. D. M. & PRICE, M. A. 1998. Methods of predicting lamb carcass composition: A review. *Small Ruminant Research*, 29, 241-254.
- STENBERG, H. 2012. *Ett svenskt system för kvalitetsklassificering av nötkött* [Online]. Available: <https://www.jordbruksverket.se/download/18.37e9ac46144f41921cd2d8f/1396012750613/Ett+svenskt+system+%C3%B6r+kvalitetsklassificering+av+n%C3%B6tk%C3%B6tt.pdf> [Accessed January 03, 2019].
- TAIT JR, R. G., WILSON, D. E. & ROUSE, G. H. 2005. Prediction of retail product and trimmable fat yields from the four primal cuts in beef cattle using ultrasound or carcass data. *Journal of Animal Science*, 83, 1353-1360.
- TEIXEIRA, A., MATOS, S., RODRIGUES, S., DELFA, R. & CADAVEZ, V. 2006. In vivo estimation of lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science*, 74, 289-295.
- TURNER, J. W., PELTON, L. S. & CROSS, H. R. 1990. Using live animal ultrasound measures of ribeye area and fat thickness in yearling Hereford bulls. *Journal of animal science*, 68, 3502-3506.
- USDA. 2018a. *Carcass Beef Grades and Standards* [Online]. Available: <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/carcass-beef-grades-and-standards> [Accessed July 25, 2018].
- USDA. 2018b. *Lamb Grades and Standards* [Online]. Available: <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/lamb-grades-and-standards> [Accessed November 11, 2018].
- WALDNER, D. N., DIKEMAN, M. E., SCHALLES, R. R., OLSON, W. G., HOUGHTON, P. L., UNRUH, J. A. & CORAH, L. R. 1992. Validation of real-time ultrasound technology for predicting fat thicknesses, longissimus muscle areas, and composition of Brangus bulls from 4 months to 2 years of age. *Journal of animal science*, 70, 3044-3054.
- WALL, P. B., ROUSE, G. H., WILSON, D. E., TAIT JR, R. G. & BUSBY, W. D. 2004. Use of ultrasound to predict body composition changes in steers at 100 and 65 days before slaughter. *Journal of Animal Science*, 82, 1621-1629.
- WARRISS, P. D. 2000. *Meat Science : An Introductory Text*, Wallingford, UNITED KINGDOM, CABI.
- WEBB, E. C. & O'NEILL, H. A. 2008. The animal fat paradox and meat quality. *Meat Science*, 80, 28-36.
- VELAZCO, J., MORRILL, J. L. & GRUNEWALD, K. K. 1999. Utilization of bioelectrical impedance to predict carcass composition of Holstein steers at 3, 6, 9, and 12 months of age. *Journal of Animal Science*, 77, 131-136.
- WILLIAMS, R. E., BERTRAND, J. K., WILLIAMS, S. E. & BENYSHEK, L. L. 1997. Biceps femoris and rump fat as additional ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 75, 7-13.
- WOLF, B. T., JONES, D. A. & OWEN, M. G. 2006. In vivo prediction of carcass composition and muscularity in purebred Texel lambs. *Meat Science*, 74, 416-423.
- YOKOO, M. J., ALBUQUERQUE, L. G., LÔBO, R. B., BEZERRA, L. A. F., ARAUJO, F. R. C., SILVA, J. A. V. & SAINZ, R. D. 2008. Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. *Livestock Science*, 117, 147-154.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 7033, 750 07 UPPSALA  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Jordbruk och livsmedel  
RISE Rapport: 2019:76  
ISBN: 978-91-89049-04-8