

Slutrapport

Digitalisering av värdekedjan för norrländska livsmedel, förbättrat resursutnyttjande och ökade mervärden

Digitalisation of the value chain for northern foods, improved resource utilization and increased added values

Mårten Hetta¹, Gun Bernes¹, Anders Karlsson¹, Åse Lundh², Dick Sandberg³, Lars Hansson³, Karin Saedén Hallin⁴

¹Inst. för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd, SLU

²Inst. för molekylära vetenskaper, SLU

³Inst. för teknikvetenskap och matematik, LTU

⁴Norrmejerier ekonomisk förening

Sammanfattning

Projektet har undersökt möjligheter till digitalisering av värdekedjan för norrländska livsmedel. Undersökningarna har genomförts under åren 2022-2024. Ultraljud och 3D-röntgen (CT) har använts för att undersöka ostar, styckningsdetaljer och slaktkroppar av lamm. Mätningarna har genomförts av SLU och LTU, tillsammans med Norrmejerier, Nyhléns Hugosons och Burträsk slakteri. Under åren har vi presenterat projektet och visat preliminära resultat för näring och lantbrukare vid flera tillfällen på mässor och konferenser. Vi har även redovisat projektet och preliminära resultat för Norrlandsnavets referensgrupp vid flera tillfällen. Projektet och resultaten har även presenterats vid internationella konferenser. Studierna visar att ultraljud lämpar sig främst för att göra slaktmognadsbedömning av lamm men är mindre lämpligt för att karakterisera ostar. Med hjälp av 3D-röntgen har vi tillsammans genom projektet visat att det är en kraftfull metod för att karakterisera både ostar, slaktkroppar och styckningsdetaljer. Tekniken möjliggör att studera hålbildning och volym på ostarna vid olika mognad, utan påverkan på produkten. Genom att röntgentekniken går att integrera i en industriell process finns det stora möjligheter att använda den för icke förstörande kvalitetsmätningar i osttillverkningen hos främst medelstora producenter. När det gäller klassificering av slaktkroppar och styckningsdetaljer har 3D-röntgen visat sig vara ett användbart verktyg för att skatta djurens klassning och konformation samt att bestämma fördelning av olika vävnader såsom fett, muskel och ben. Tekniken med 3D-röntgen är svår att tillämpa på gårdar även om det finns mobila utrustningar internationellt som främst används på levande djur (sövda). För vetenskapliga studier är det dock en användbar teknik som kan användas för att utvärdera effekter av avelsstrategier, utfodring och hur användbara produkterna är i kök och restaurang. Slutsatserna från projektet är att såväl ultraljud som 3D-röntgen är användbara metoder för digitalisering av värdekedjan för norrländska livsmedel och rätt tillämpat har metoderna stor potential för förbättrat resursutnyttjande och ökade mervärden.

Samverkan med små och medelstora företag

Under projektet har vi samverkat med två industripartners, Norrmejerier Ek. för. (Umeå) och livsmedelsföretaget Nyhléns Hugosons (Luleå och Skellefteå). Norrmejerier har försett oss med ostar och Nyhléns Hugosons har slaktat, styckat och klassificerat lamm. Vi har även besökt och samarbetat med små och medelstora företag (SME) t.ex. Häljegård i Umeå, livsmedelsentreprenör och lammproducent, för inköp av styckningsdetaljer och planering för skanning av levande lamm (ultraljud) och datortomografi (3D-röntgen) av slaktkroppar. Projektet har också samverkat med ett annat SME, Burträsk slakteri, som hjälpt oss med att stycka slaktkropparna och klassificera materialet för utvärdering av slaktkropparnas konformation och fettklass.

Material och metoder (key activities)

Projektgruppen hade ett första möte i januari 2022 då vi gick igenom forskningsprogrammet, gjorde en preliminär planering för verksamheten och etablerade ett gemensamt forsknings-PM. Efter mötet tog vi kontakt med lammproducenter och interagerade med mejeriföretaget för urval av material (ostar) att skanna och arbeta med.

Därefter kontrollerade deltagarna tillgången på instrumentering 3D-röntgen och ultraljud och gjorde förberedelser för de kommande skanningarna. Under mars månad 2022 genomförde vi en pilotstudie i Skellefteå och personal från SLU och LTU skannade tillsammans en uppsättning ostar och lammstekar på LTU/CT Wood lab. Pilotstudien resulterade i en mindre uppsättning 3D-bilder med värdefull information om hur man använder den avancerade instrumenteringen.

Därefter hade vi ett gemensamt uppföljningsmöte i april och hade en första titt på 3D-bilderna. På det möte bestämde vi oss för vilken sorts ostar vi skulle arbeta med. Utifrån pilotstudien bestämde vi oss för att arbeta med osttypen Grevé, en ost som normalt inte lagras så länge. Totalt valde vi ut 30 omogna Grevé-ostar från Norrmejerier. I slutet av maj gjorde vi 3D-röntgen och ultraljudsskanning av dessa 30 ostar. De lagrades sedan vidare för en andra skanning i oktober 2022.

Den 20 juni hade vi ett projektmöte där vi följde upp vårens arbete och planerade valet av ostar och djurmaterial till höstens mätningar. Under sommaren 2022 besökte vi vid flera tillfällen en lokal lammproducent och följde uppfoörden och skötseln av djuren. Vi hämtade information om djurens ursprung och vikter dels från djurägaren, dels från besättningssystemet Elitlamm. Vid Öjeby Lantbruksmässan 24 till 25 augusti 2022 berättade vi om projektet för lantbrukets aktörer. Vid InterNordenmötet i Skövde hade vi en presentation (poster) den 13-14 augusti 2022 för nordiska kollegor.

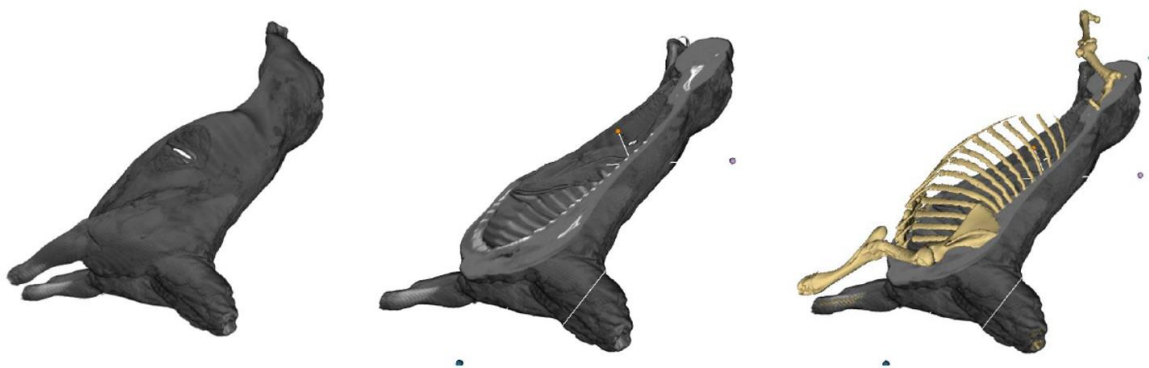
Under september 2022 gjorde vi de sista 3D-röntgen och ultraljudsskanningarna av de 30 ostarna. Scanningarna med ultraljud visade att den tekniken inte är lämplig för att undersöka ostar. Med ultraljud tekniken testade vi att scanna både ost och lamm med olika prober och frekvenser. Vi testade att scanna ostar med och utan plastfilm på ytan av produkterna i kombination med och utan den gel som används för att få full kontakt mellan prob och objekt. Ultraljudssignalen kan inte tränga igenom hål och sprickor dvs de strukturer som man vill beskriva, vilket gör att tekniken inte fungerar för ost. I samband med det skannade vi även 15 levande lamm med ultraljud på gården. Tio slaktkroppar av lamm CT-skannades på CT Wood lab i Skellefteå. Under första veckan i november hade vi planerat vi för ytterligare skanning av 15 lamm. Datortomografin fungerade tyvärr inte under denna period, så vi kunde inte utföra någon 3D-röntgen skanningen av dessa djur som planerat. Alla djuren var dock ultraljudsskannade levande och sedan klassificerade på slakteriet enligt EUROP-modellen och vi vägde enskilda styckningsdetaljer.

Under hösten 2022 tolkade vi resultaten av CT-skanningen av Grevé-ostarna och gjorde 3D-modeller av hela ostar för att få en digital beskrivning av "osthålen" hos de unga respektive mogna ostarna. Totalt har vi karakteriserat 60 3D-bilder av ostar. Dessa har bearbetats statistiskt för att analysera 3D-resultaten som mått på mognad och kvalitet. Resultaten sammanfattades vid en mindre workshop där vi arbetade med digital ostkarakterisering. Ett av de direkta resultaten är att vi har lärt oss att använda 3D Slicer som är en bildberäkningsplattform för att utvärdera 3D-röntgenbilder.

Vi organiserade en intern workshop för digital segmentering av lammkropparna i Umeå den 9 och 10 maj 2023, för att arbeta med de lamm som skannats hösten 2022. Resultaten av utvärderingen resulterade i ett konferensbidrag och en posterpresentation vid International Congress of Meat Science and Technology i Padova, Italien 20 till 25 augusti 2023. Under hösten hade vi en presentation av projektet vid ett studiebesök från Riksdagen vid SLU Umeå den 22 september 2023. Den 10 oktober träffade vi en regional ostproducent, Svedjans ost, och ett professionellt nätverk av lokala kokkar på ett matevenemang organiserat av Länsstyrelsen i Västerbotten. Evenemanget var en del av interaktionen med intressenter för värdekedjan för norrländska livsmedel. Arbetet med 3D-röntgen och ultraljud redovisades på ett digitalt lammseminarium tillsammans med LRF den 13 mars 2024. Presentationen fick ett mycket bra mottagande och branschen ser stora möjligheter med teknikerna.

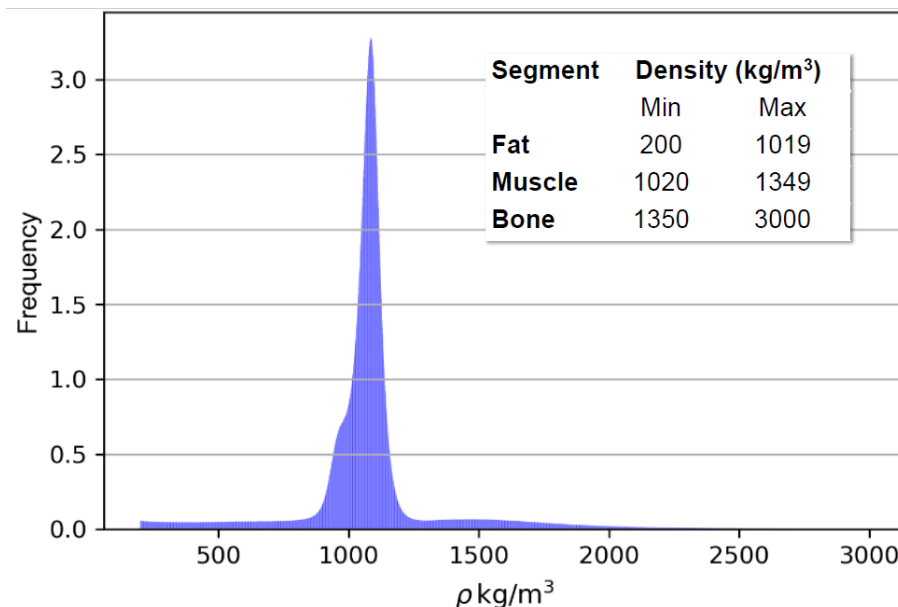
Vintern 2024 organiserade vi en digital workshop tillsammans med Scotland Rural Collage (SRUC), där vi jämförde våra respektive arbeten med 3D-röntgen för förbättrad kvalitet i lammköttproduktionen. Storbritannien har en omfattande användning av 3D-röntgen teknik i avelsarbetet för får och lamm men använder mer indirekta metoder än i vårt projekt. I Storbritannien är 3D-röntgen en proxy metod för att skatta muskelsättning, medan vår approach är att faktiskt mäta fördelningen mellan muskel, fett och ben. I Skottland mäter de främst på levande djur som är sövda medan i vårt projekt har vi mätt på slaktkroppar. Vår slutsats är att tekniken är användbar på både levande och slaktade djur men att det är mycket svårt att få till stånd en rutin med sövning av djur på gårdar och slakterier. Det är därför rekommenderat att vi fortsätter att skanna slaktkroppar och styckdetaljer i Sverige. Under hösten 2023 och våren 2024 har vi arbetat på en vetenskaplig artikel "Computed Tomography (CT) Scanning to Visualize Eye Formation and Internal Structure in Grevé Cheese". Artikeln har fått ett bra mottagande och är under granskning/revidering under 2024. En liknande artikel är planerad för 3D-röntgen scannings och mätningarna på lamm och slaktkroppar.

Resultat



Figur 1 . Sekvens av 3D-bilder baserat på 3D-röntgen av ett och samma lamm med olika virtuella snitt och segmenteringar.

I projektet har vi analyserat 30 lamm med olika vikt och klassificering samt 5 lammstekar som även har dissekerats till olika vävnadstyper. När det gäller ostar har vi tittat på 30 ostar (Grevé) vid två olika mognadstadiet. Nedan redovisas resultat i urval från projektet från lamm- och ost försöken. Figuren 1 visar på hur man kan segmentera en 3D röntgenbild av en slaktkropp i ben och muskler utan att dissekera djuret manuellt.



Figur 2. Fördelningen av densitet (voxlar) inom ett dataset som beskriver sammansättningen av totalt 10 lamm scannade med 3D-röntgen. Figuren visar klassificeringen av vävnader baserat på densitet.

Figuren 2, visar att det finns en tydlig topp i histogrammet som visar på den dominerade fraktionen muskler i relation till de två mindre fraktionerna fett och ben hos slaktkroppar av lamm.

Tabell 1. Korrelationer mellan slaktkroppskonformation (Conf.), fettklass (Fatness), slaktkroppsvikt (CW), slaktutbyte (dressing) och andelen ben (bone), muskler (Muscle), fett (Fat), tjocklek på ryggmuskeln (LD) och underhudsfett (SCF) mätt med 3D röntgen på 10 lamm.

	Conf.	Fatness	CW (kg)	Dressing (%)	Bone (vol)	Muscle (vol)	Fat (vol)	LD (mm)
Fatness	-0.13							
CW (kg)	0.41	0.19						
Dressing (%)	0.55	0.25	0.95					
Bone (vol)	0.09	-0.46	0.44	0.32				
Muscle (vol)	0.48	0.12	0.79	0.72	0.24			
Fat (vol)	-0.11	0.32	0.26	0.33	-0.13	-0.32		
LD (mm)	0.65	0.30	0.38	0.49	-0.12	0.55	-0.13	
SCF (mm)	-0.08	0.33	0.02	0.07	-0.25	-0.44	0.81	-0.15

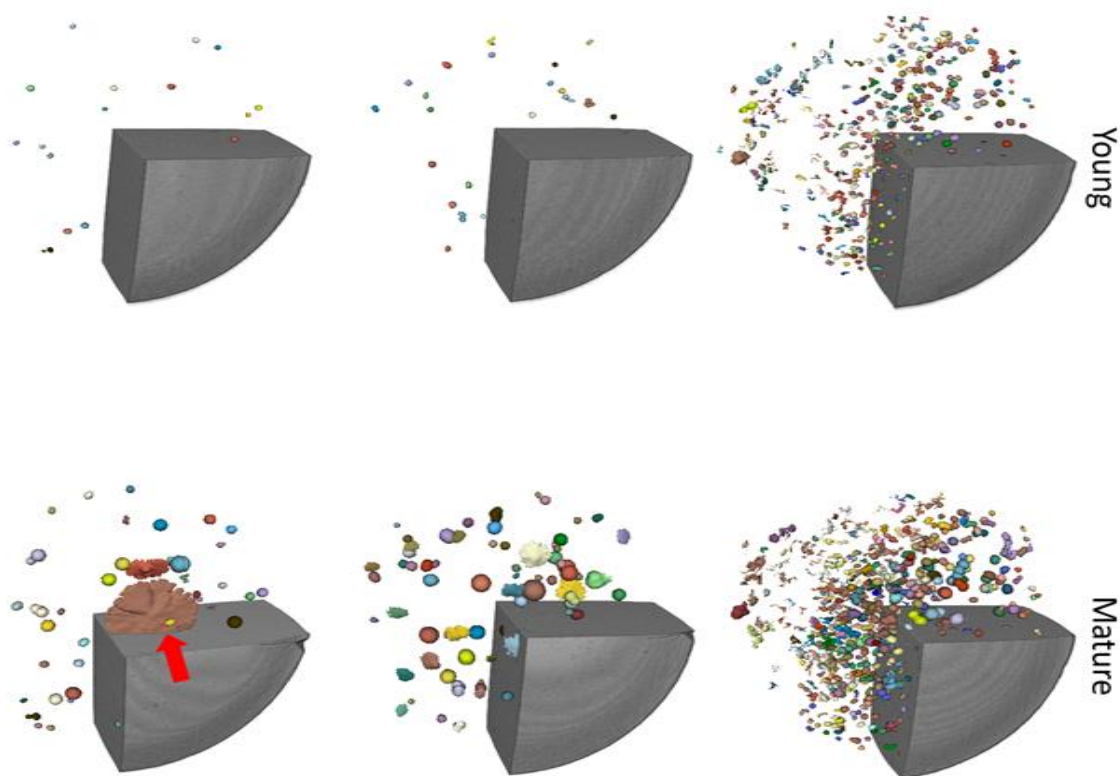
Signifikanta korrelationer är i fetstil.

Korrelationerna i Tabell 1 visar att det finns ett samband mellan ryggmuskeln tjocklek (sadeln) hos de slaktade lammerna och klassificeringen av slaktkropparna enligt EUROP skalan. Det finns ett tydligt positivt samband mellan slaktutbytet (dressing) och vikten på slaktkropparna, vilket visar på betydelsen av hög slutvikt på lammerna för att få ett bra utbyte. Djur med hög slaktvikt har även en stor andel muskler. Det subkutana fett är även korrelerat till den totala mängden fett hos slaktkropparna.

Tabell 2. Jämförelser av unga och mogna ostar (n=30) skannade vid två tillfällen.

Egenskap	Unga ostar	Mogna ostar
Ålder (dagar)	44	170
Antal hål (eyes)	116.20 ± 106.40 ^a	153.70 ± 108.40 ^a
Volym på hålen (cm ³)	0.19 ± 0.02 ^b	0.87 ± 0.37 ^a
Total hålvolum (cm ³)	23.09 ± 21.11 ^b	113.43 ± 47.09 ^a
Kvot (hål/ost)	0.002 ± 0.001 ^b	0.010 ± 0.004 ^a
Hålandel %	0.21 ± 0.19 ^b	1.07 ± 0.41 ^a
Sfärisk form	0.95 ± 0.03 ^b	0.89 ± 0.03 ^a

Kvot= hål/ost, Hålandel% = hål volym/(ost + hålvolum)*100, sfärisk form = rundhet. Mått med olika superscript (a och b) är signifikant skilda (P≤ 0.05).



Figur 3. 3D-röntgen bilder som visar förändringen hos tre ostar (Grevé) under mognad från 44 dagar (young) till 170 dagar (mature). Den virtuella delningen (1/4) av ostarna (grå) visar fördelningen av ostarnas hål (färger) som är ett tecken på mognadsprocessen. Den röda pilen visar en spricka i en av ostarna som skulle leda till kassation av produkten.

Slutsatser

Slutsatserna från projektet är att båda teknikerna ultraljud och 3D-röntgen är användbara metoder för lamm och 3D röntgen är lämpliga för ostar. Resultaten visar på möjligheter för digitalisering av värdekedjan för norrländska livsmedel, i det här fallet ostar (endast 3D Röntgen) och lammkött. Båda teknikerna har stor potential för förbättrat resursutnyttjande och ökade mervärden för lokala livsmedel.

Publikationer

Segerkvist, K A., Bernes G., Hansson L., Karlsson. A., Lundh, Å. & Hetta, M. (2023). Assessing carcass quality in lambs by using 3D x-ray measurements, a pilot study 69th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), 20-25 August, 2023, Padova, Italy

Priyashantha, H., Hansson, L., Forsman, P., Lundh Å. & Hetta, M. (2024). Computed Tomography (CT) Scanning to Visualize Eye Formation and Internal Structure in Grevé Cheese. Manuscript to be submitted.

Segerkvist, K A., Friman, J., Bernes G., Hansson L., Karlsson. A., & Hetta, M. (2024). Computed Tomography (CT) Scanning as a tool to characterize and classify lamb carcasses. Manuscript to be submitted.

Filmer och webpresentationer

Under hösten 2023 har vi bedrivit informationsverksamhet tillsammans med LTU och kommunikationsbyrån Winter. Korta presentationer av projektet i text och film finns på LTUs hemsida.

[Digitaliserad kvalitetsbedömning av livsmedel – 3D röntgen och ultraljud | Luleå tekniska universitet \(ltu.se\)](https://www.ltu.se)

Ekonomisk redovisning

Projektet finansierades totalt 1.000 000 kr RJN finansierade totalt 500.000 kr och Norrlandsnavet 500.000 kr. Norrlandsnavets finansiering till SLU utgör totalt 450.000 kr och Norrlandsnavets finansiering till LTU utgör 50.000 kr. Nedan redovisas hur kostnaderna har fördelats mellan olika institutioner på SLU och LTU.

Tabell 3. Budgetens fördelning mellan olika institutioner på SLU och LTU.

<i>Projektkostnad</i>	<i>SLU HUV</i>	<i>SLU HMH</i>	<i>LTU TM</i>	<i>Summa</i>
<i>Personalkostnader</i>	490882	66828		557710
<i>Driftkostnader</i>	87056			87056
<i>Resor</i>	70839	7714		78553
<i>CT Scanning LTU</i>			50 000	50000
<i>OH/lokaler</i>	190108	36776		226884
<i>Summa</i>	838 885	111 318	50 000	1000 203

SLU HUV (Husdjurens utfodring och vård)

SLU HMH (Husdjurens miljö och hälsa)

LTU (Teknik och Matematik)

Förutom de från LTU och RJN beviljade medlen har betydande medfinansiering gjorts från Norrmejerier i form av material, arbete och datainsamling. Båda universiteten SLU och LTU har utöver de beviljade medlen finansierat det vetenskapliga arbetet med in-kind arbetstid och instrumentering motsvarande minst 500 000 kr.