

Slutrapport

Test av belastningsfördelning på underlag med olika mjukhetsgrad och spaltöppningar för nötkreatur

Projektnummer: O-16-20-781

Projektperiod: 15-03-2017 – 31-12-2019

Huvudsökande:

Evgenij Telezhenko, Institutionen för Biosystem och Teknologi, SLU,
evgenij.telezhenko@slu.se

Medsökande:

Christer Bergsten, Institutionen för Biosystem och Teknologi, SLU
Madeleine Magnusson, Institutionen för Biosystem och Teknologi, SLU
Michael Ventorp, Hushållningssällskapet

Del 1: Utförlig sammanfattning

The state of the art biomechanical ex vivo model of the bovine claw has been developed within the project. The model is using cadaver cattle limbs placed in a special rig, which provides stepless regulation of vertical load and stretching of deep and superficial flexor tendons, which emulates the natural static load situation of a bovine claw. In vivo measurements of 35 dairy cows were used to establish the relationships between claw and feet conformation and biomechanical variables for the validation of the model as well as building the regression equation for determining appropriate inclination and load distribution for the specimen. Ultrathin (0.10 mm) flexible pressure sensors (5101 CMP, Tekscan Inc.) with a density of 15.5 sensing elements per cm² were inserted inside the claw sole in the lateral and medial claw, close to dermo-epidermal junction. The project studied the force and pressure distribution inside the claw while during the exposure to solid concrete floors, rubber mats and a sample of a pasture, as well as a concrete slatted floor with different slot widths (25-45 mm) as well as with 3 different fabricates of soft coverings. When comparing force distribution inside the sole across concrete, rubber mats and pasture the lateral sole carried most of the load on the concrete floor ($P < 0.05$), the least load on pasture ($P < 0.05$), and with rubber mat in between ($P < 0.05$). Compare to the concrete the weight on the softer surfaces was shifted towards the toe and claw walls which was more pronounced on the pasture and less on rubber mats. The pressure exerted to the sole zones on pasture which were smallest in both lateral and medial claw while rubber mats showed less pressure compare to concrete only in the lateral sole ($P < 0.05$). The weight imbalance between lateral and medial claws was minimal when the foot was exposed to pasture surface and maximal on concrete. The exposure to the concrete floor with rough surface resulted in higher peak pressure ($P < 0.05$) compare to the smooth surface. On the slatted floors less pressure was exerted on the sole areas when floor was covered with soft materials. Increase of slot width for the concrete floor caused a significant increase in pressure towards the sole zones ($P < 0,001$) while on the slatted floors covered with soft materials this increase was less pronounced. There are very few differences in pressure distribution between the soft coverings tested. It was concluded that soft rubber floors can be recommended as providing more favourable loading than concrete floors as well as rubber coated slatted floor can have wider opening than slatted floors of concrete for better hygiene. Still the functional claw trimming is recommended for animals kept on rubber floors to achieve the optimal pressure and weight distribution.

Projekt har fått finansiering genom:

Del 2: Rapporten

Inledning

Syfte och mål

Syftet med projektet är att mäta tryckfördelning i nötkreaturs klövar vid belastning på helt golv och spaltgolv med varierande mjukhet och spaltöppningar. Målsättningen är att ta fram rekommendationer för utformning av golv för nötkreatur som bättre möter djurskyddskraven.

Bakgrund

Lönsamheten hos mjölk- och nötköttsproducenter hotas av växande problem med klövsjukdomar. En av de viktigaste riskfaktorerna är ojämn viktfordelning på hårda och grova ytor som orsakar trycksador av klövhornproducerande celler mellan klövben och hårda klövkapseln (Lischer m fl., 2002). Problem i viktfordelning mellan och inom klövar orsakas huvudsakligen av obalans mellan tillväxten och slitage av klövhornet vilka i stort sätt beror på kvaliteten på gångytan i nötkreatursstall (Telezhenko m fl., 2008, 2009). Det senaste decenniet har olika typer av gummi- och plastbeläggning på betonggolv fått spridning i svenska ladugårdar. Olika fabrikat skiljer sig i kvalitét och erbjuder olika mjukhetsgrad. Gällande djurskyddsföreskrifter gör ingen skillnad på mjukhetsgrad, trots att olika så kallade mjuka underlag kan erbjuda väldigt stora skillnader i mjukhetsgrad. Det saknas också studier som visar vilken mjukhetsgrad gummimattor bör ha för att ge optimal tryckfördelning på klövarna hos nötkreatur. Vidare saknas det också kunskap om effekt av mjuk beläggning på spaltgolv. Våra egna resultat inom flera SLF-finansierade projekt visar positiva effekter av gummimattor på spaltgolv både för mjölkkor (Bergsten m fl, 2015) och växande ungnöt (Graunke m fl., 2011). Medan gummimattor förbättrar ligg- och gångbeteende samt minskar skador i klövar och leder, så finns hygienproblem i form av smutsigare djur och mer hygienrelaterade klövsjukdomar. I teorin borde mjuka golv ge större kontaktyta för klöven än hårt golv vid belastning och därför skulle bredare öppningar kunna föreslås. Det krävs dock laboratoriestudier för olika förhållanden mellan mjukhet och öppningsgrad innan man övergår till fullskaliga tester på levande djur. Det som verkligen är viktigt för att utvärdera de möjliga golveffekterna på klövhälsan är att undersöka vikt och tryckfördelning direkt vid läderhuden längs den vikt bärande ytan. Detta projekt kommer att ge empirisk grund för vidare tillämpning i fält.

Materiell och metoder

In vivo-tester

Målet med in vivo-testerna var att utvärdera belastningen inom och mellan inner- och ytterklöv på ett standardiserat underlag samt flera möjliga relaterade exteriörparametrar, för att bättre förstå klövens biomekanik och eventuella samband mellan klövbelastning och exteriörparametrar samt att utav resultaten erhålla en beräkningsmodell för ex vivo-tester.

För att bygga en laboratoriemodell av en koklöv gjordes först mätningar i en bruksbesättning av klövform, benexteriör och viktfordelning på 35 levande förstakalvare. Samtliga förstakalvare undersöktes i andra delen av laktationen vid klövverkning. För att mäta klövformen fotograferades vänster bakklöv från utsidan, med ett skjutmått ställt mot kronranden, och från undersidan med en digitalkamera. Klövmätningar gjordes sedan från digitala bilder med hjälp av bildanalys som är beskrivet i arbete av Bergsten m fl. (2015). Följande klövmätningar gjordes: tållängd, tåvinkel, klövbredd, sulyta, samt skillnader mellan mätningarna på ytter och innerklöv. Benställning beskrevs med hjälp av skenbensvinklar (vinkeln mellan skenben och golv, från sidan och bakifrån) vilka mättes på liknande sätt från digitala bilder som tagits medan kor stod på trycksensorn när belastningsfördelning mättes. På varje bild togs varje mått 3 gånger och medelvärdet användes sedan.

Samtliga djur användes för undersökning av belastningsfördelning mellan klöv och standardiserat jämnt underlag så som beskrivet i Bergsten m fl. (2015). Måtsensorn (5250 CMP, Tekscan Inc.) hade 246 x 246 mm yta och 3,202 avkänningselement per cm². Trycksensorn låg på en 1,5 mm tjock rostfri plåt och täcktes av en 0,12 mm tjock teflonduk samt en 5 mm tjock gummiduk. Trycksensorn kalibrerades med hjälp av en hydraulisk press i överensstämmelse med tillverkarens anvisningar (Tekscan Inc.).

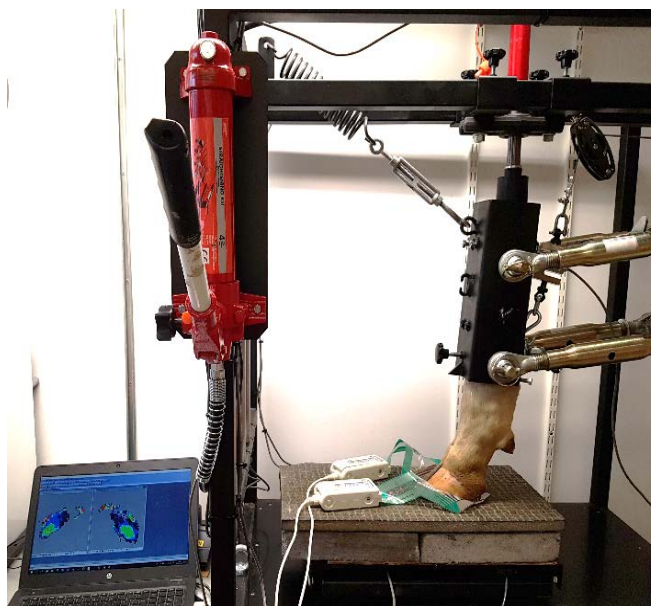
Beräkningsmodell för belastningsfördelning med hjälp av exteriörparametrar

För att bygga upp en beräkningsmodell för belastningsfördelning mellan klövar användes en så kallad "Best subset"-procedur (Minitab® 16.2.4, Minitab Inc.) som väljer ut vilka ben- och exteriörparametrar som bäst beskriver belastningsfördelningen mellan ytter- och innerklövar. Bland biomekaniska parametrar valdes procentuell andel av den totala belastningen som bärs av ytterklöven. Totalt testades 10 olika exteriörvariabler som potentiella kandidater för förutsägelsemodellen.

Ex vivo-tester

Beskrivning av ex vivo-modell av kofot

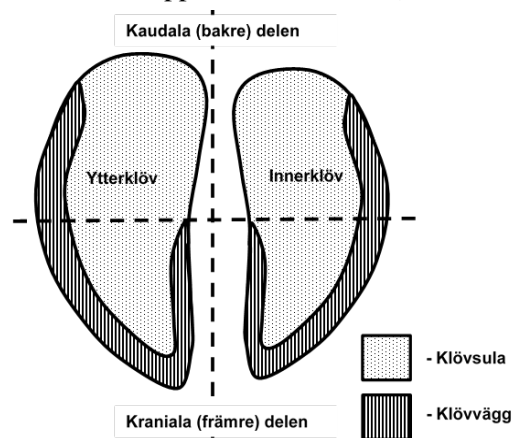
För ex vivo-tester användes färskfrusna bakben från slaktade ungnöt, avskilda vid hasleden. Samtliga klövar var inte verkade men inte heller förvuxna. I samarbete med försökstekniker Anders Prahll (SLU, Alnarp) utvecklades en test-rigg där nötkreaturs ben kunde belastas statiskt med nedåtkraft på skenbenet och spänning samtidigt kunde utföras för de djupa och ytliga böjsenorna (Figur 1). Från den proximala spetsen av skenbenet inuti slaktbenet sattes en 15 cm lång skruvstång (12 mm i diameter) som, med hjälp av en armatur och skruvar, fästes till det vertikala ställdonet i den mekaniska testriggen. Testriggen kunde fixera skenbenet i olika vinklar i två plan, vilket skulle efterlikna naturliga benställningar och ge kontroll över belastningsfördelning mellan ytter- och innerklövar. Nedåtkraften applicerades med hjälp av en hydraulisk cylinder med hydraulisk handpump (70 mPa maxtryck). Vertikal belastning kontrollerades med 4 lastcellerna (LPX, PT Ltd) i plattformen under klöven (Figur 1). Hela den vikt bärande ytan på varje klöv sågades av nära övergången mellan sulans klövhorn och läderhuden. För bestämning av sågningsdjup mättes sulans tjocklek med hjälp av hornprover tagna med tunna stålrör vinkelrätt mot den bärande ytan. Efter avsågning slipades kontaktytorna jämna med sandpapper (kornstorlek 60) så att sulhornstjockleken på översta delen blev ca 1 mm. Sen spacklades ytorna med ett tunt lager av akrylspackel, torkades och slipades ytterligare med sandpapper (kornstorlek 120). Tunna (0,10 mm), flexibla trycksensorer med 15,5 avkänningselement per cm² (5101 CMP, Tekscan Inc.) sattes mellan de spacklade och slipade ytorna och klövens sula med hjälp av en dubbelhäftande tejp på varje yta. På så vis kunde klövens storlek form och storlek återställas och trycket mätas nära de levande cellerna i epidermis, där allvarliga tryckskador brukar uppkomma. Två sensorer användes samtidigt (en för varje klöv). Djupa och ytliga böjsenor skildes åt strax ovanför kotleden och ett metallwirelös sattes på varje sena. Wirelös anslöts till en kort lina och ett block som i sin tur anslöts till draglina som passerade över ett annat block för att skapa rätt fysiologisk riktning för böjsenorna. På så vis kunde båda sensor dras med samma kraft, vilket motsvarar situationen vid mitten av stödfasen (Takahashi m fl., 2010). Linan spändes med en mekanisk vinsch och var utrustad med en draglastcell (PT4000, PT Ltd) som garanterade önskad spänning. På grund av eventuella fysiologiska förändringar i slaktben under testtiden så genomfördes de biomekaniska belastningstesterna inom en relativt kort tid efter att ett prov var preparerat med sensorer (inom ett dygn som regel), klövhornet återfuktades ständigt och behandlingarna utfördes i en randomiserad ordning.



Figur 1. Test-rigg med slaktben med trycksensorer placerade inuti klöven

Analys av ex vivo biomekanisk data

Andel av den totala belastningen för varje klöv definierades med hjälp av regressionssekvationen beskriven ovan inom analys för in vivo-mätningar. De djupa och ytliga böjsenorna belastades med ca 70 % av den totala vertikala belastningen, vilket motsvarar värdena uppmätta hos hästar (Takahashi m fl., 2010). För analysen delades bärytan på varje klöv (lateral och medial) med metoden som beskrivs i Telezhenko m fl. (2008) in i zoner av vägg (inklusive inner- och yttervägg) och sula (inklusive hårda sulan och elastiska ballen) samt kraniala (främre) och kaudala (bakre) zoner (definieras genom delning av varje klöv i två halvkor, se Figur 2). För varje zon vid maxbelastning bestämdes applicerad kraft i Newton (N), medeltryck (N/cm^2) och topptryck (N/cm^2). Kalibreringen skedde efter trycksensorerna var placerade in i klövsulan med hjälp av lastcellerna i belastningsplattform. Två-punkt kalibrering gjordes för varje trycksensor med belastningen motsvarande 20 % och 80 % av maximala belastningen. Följande effekter testades med ex-vivo modellen: 1) jämförelse av tryck på insidan och utsidan av klövsulan; 2) belastning- och tryckfördelning på klöv på naturliga och artificiella underlag med olika mjukhetsgrad (betong, gummimatta och betesmark); 3) tryckfördelning på klöv på betongytor med olika ytstruktur; 4) tryckfördelning på klöv på spaltgolv med varierande spaltöppningsbredd och mjukhetsgrad.



Figur 2. Zonfördelning av klövarnas vikt bärande yta.

Jämförelse av tryck på insidan och utsidan av klövsulan

För att jämföra resultaten av tryckfördelningen inuti och utanför sulan genomfördes mätningar på 4 slaktben där en annan trycksensor placerades på utsidan mellan sulan och golvytan, som representerades av gummimatta (KURA-P, Kraiburg Gummiverk, Tyskland) och betong. Den utövade vertikala kraften var i genomsnitt 1400 N. Vid mätningar på klövens utsida skyddades sensorn med en 0,12 mm tjock polytetrafluoretylen-doppad glasfiberväv och i fallet med betongytan täcktes den dessutom med en 1 mm tjock gummiduk.

Belastnings- och tryckfördelning på naturliga och artificiella underlag med olika mjukhetsgrad

Tio bakben av mjölkkor från ett slakteri förbereddes för testerna enligt ovan. Alla klövar testades i slumpmässig ordning på följande ytor: helt betonggolv med borstning som ytbehandling, 24 mm gummimatta (KURA P, Gummiwerk Kraiburg Elastik GmbH, Tyskland) och ett prov med betesmark (genomsnittligt konindex var 1,8 MPa) som motsvarade mjukheten för måttlig betad mark med sandhaltig jord (Daniel m fl., 2002). Benställningen erhöles så att belastningsförhållandet mellan ytter- och innerklöv på en jämn yta motsvarade den på levande djur (enligt de exteriöra mätningarna och regressionssekvationen från in-vivo mätningarna enligt ovan). Efter det bevarades samma benställning för samtliga tester för olika underlag för samma prov. Det utfördes i genomsnitt 1440 N belastning per fot. Belastningsfördelning definierades som % av den totala belastningen i varje klövzon (Figur 2), medan medel- och topptryck var normaliserade för varje 100 kg av den totala belastningen.

Tryckfördelning på ytor med olika ytstrukturer

Medel- och topptryck studerades inuti klövsulan på fyra slaktbakben av ungnöt vid belastning på betonggolv med olika ytstruktur. De olika ytstrukturerna var två olika standard ytbehandlingar av nygjuten betong: borstning (grovt) och stålglättning (slät). Ben- och sensorpreparering var gjorda som enligt ovan.

Tryckfördelning på spaltgolv med olika mjukhetsgrad och spaltöppningsbredd

Åtta bakben från slaktade ungnöt preparerades enligt ovan. Tryckfördelning inuti klövsulan testades på fyra olika spaltgolv: betong, Comfort Slat Mat (I.C.E. Comfort Slat Mat Ltd, Irland), KURA-P (Kraiburg Gummiverk, Tyskland) och SFC-S (DeLaval, Sweden). DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft – German Agricultural Society) tester av mjukheten för de olika golvbeläggningarna visade att metallklöv under belastning av 2000 N kunde sjunka för 5 mm i Comfort Slat Mat, 3,85 mm i KURA-S och 4,8 mm i SFC-S. Följande spaltöppningar testades: 25, 30, 35, 40 och 45 mm. Det utfördes i genomsnitt 1200 N belastning per fot. Följande positioner av klöven över spaltöppningen testades: klöven står helt på en stav, klöven står på en stav med tår hängande över spaltöppningen, klöven står över stav med ballen hängande över spaltöppningen, klöven står på tvären över spaltöppningen med tår och ballen i kontakt med golvet. Bara resultat av testen för klövar tvärs över spaltöppning med tår och ballen med golvkontakt presenteras i rapporten.

Statistisk analys av ex-vivo data

Samtliga ex-vivo försök analyserades med hjälp av mixad GLM (Minitab® 16.2.4, Minitab Inc.). Statistiska modeller inkluderade effekt av underlaget som fix faktor och effekt av foten som slumpmässig faktor. Effekt av spaltöppningar analyserades som kategorisk och kontinuerlig faktor i separata modeller. Effekt av samspel mellan underlag och spaltöppningen testades. Multipla jämförelser gjordes med hjälp av Tukey metod. Skillnader med $P < 0,05$ räknade som statistisk signifikanta.

Resultat och diskussion

Målet för utvecklingen av en ex vivo-modell av en nötkreatursfot var att skapa en flexibel konstruktion som skulle efterlikna den naturliga biomekaniken hos nötkreaturs fötter. Denna konstruktion av en ex vivo-prototyp baseras på tidigare forskning med ex vivo-modeller av fötter inom medicin (Aydogan m fl., 2015) och en nyligen utvecklad modell av en kofot vid Leipzig Universitet (Oehme m fl., 2018). Till skillnad från modellen av Oehme m fl. (2018) har vår modell större bredd för applicerade belastningar på böjsenor samt för vertikal belastning. Dessutom ger modellen möjlighet att ändra skenbenens lutningar i två plan för att efterlikna naturlig benställning samt kontrollera belastningsfördelning mellan klövarna. Modellen kan även mäta trycket närmare läderhuden och de levande cellerna i epidermis i klövsulan för att studera risk för eventuella tryckskador mer noggrant.

In vivo-mätningar

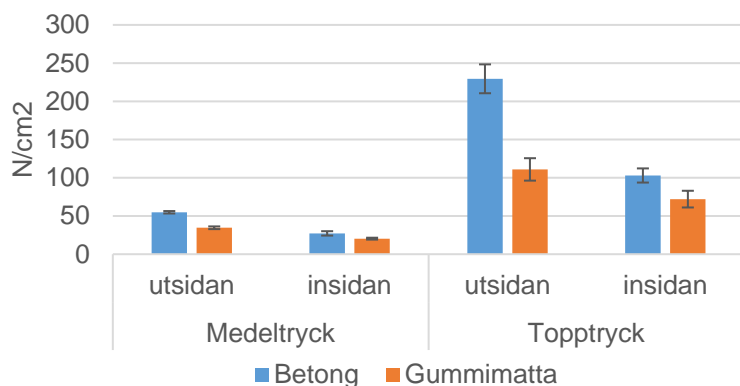
Mätningar av exteriörparametrar hos levande djur användes för att hitta markörer för biomekaniska variabler som skulle återskapas inom ex vivo-modellen. Regressionsanalys avslöjade bara svaga till medelstarka samband mellan exteriörparametrar och belastningsfördelning för klövarna. Den bästa modellen för procentuell belastning för ytterklöv beskrev 34 % av den totala variationen och inkluderade ytterklövens tållängd, tåvinkel, klövlängd, klövbredd, samt procentuell skillnad i klövlängd mellan ytter- och innerklöv. Modellen som tagits fram med ”Best subset” användes sedan i regressionsanalys (general regression procedure, Minitab 16). Regressionsekvationen för belastningsfördelning mellan klövar var följande: $Ytterklövsbelastning (\%) = 23,0453 + 0,866 * tållängd - 0,645 * tåvinkel + 1,421 * klövlängdsskillnad - 0,665 * ytterklövlängd + 1,133 * ytterklövbredd$.

I ex vivo försöken användes denna modell för bestämning av fördelning av belastning på ytterklöv på hård jämn yta. Inställningar för benställning användes för samtliga underlag inom samma slaktben.

Tryckjämförelser mellan insidan och utsidan av en klöv

Vid jämförelse av medeltrycket på utsidan och insidan av klövsulan visade tryckvärdena på utsidan konsekvent högre siffror, vilket kan förklaras med att klövhornet genom sin tjocklek absorberar underlagets inverkan (Figur 3). Gummimatta visade mindre skillnader i tryck mellan in- och utsidan

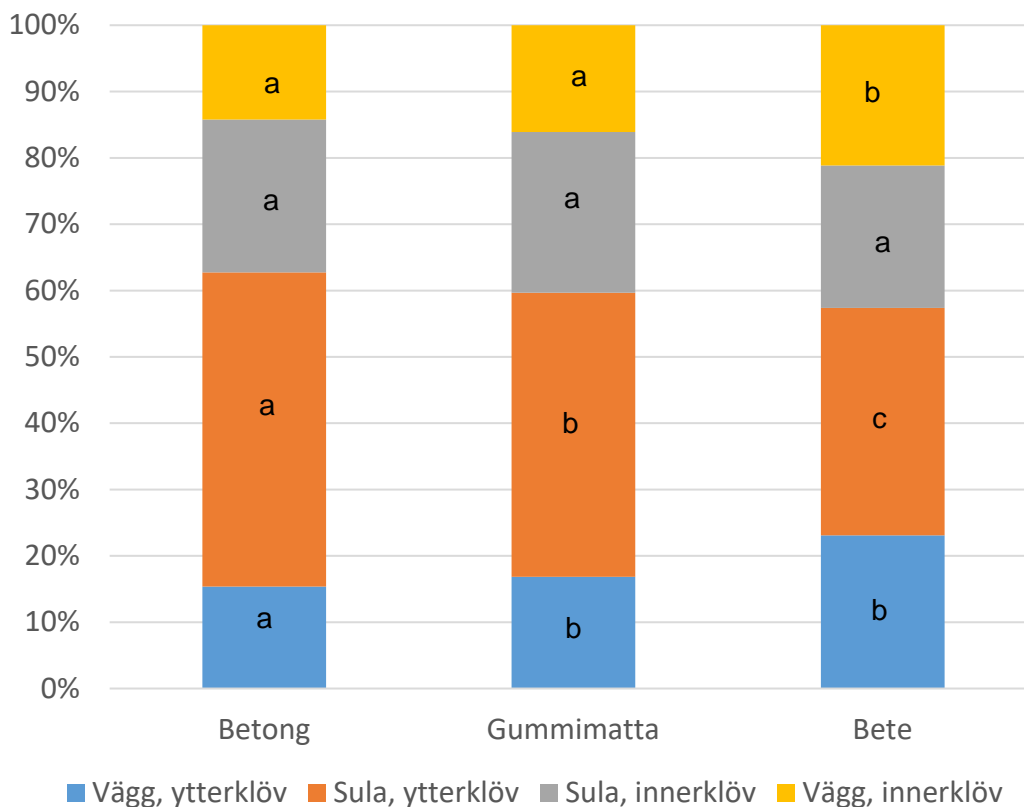
än betonggolv. Störst skillnad fanns i topptrycket, där utsidan visade 1,4 gånger högre värden än insidan på gummimatta (P <0,01) och 2,1 gånger högre (P <0,01) på betong.



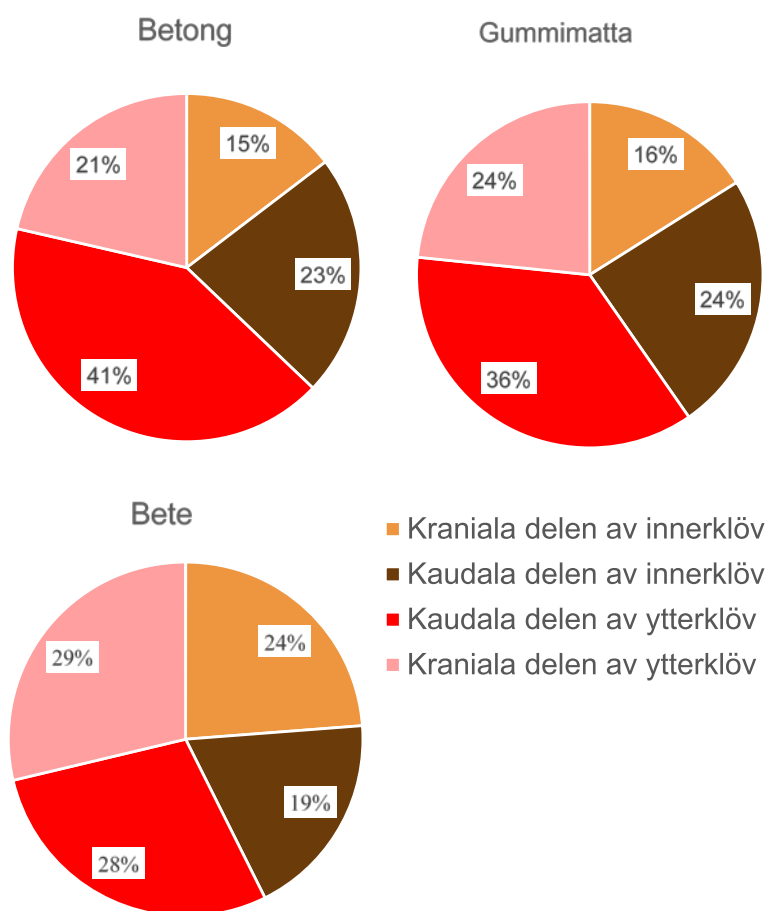
Figur 3. Värdena av medel- och topptryck mätta på ut- och insidan av en ytterklöv (Medel ± SE).

Belastnings- och tryckfördelning på naturliga och artificiella underlag med olika mjukhetsgrad

Vid jämförelse av belastningsfördelning inuti sulan mellan de tre olika underlagen bar ytterklövssulan större delen av belastningen på betonggolvet. På bete och gummimattor belastades klövväggar betydligt mer än på betong (Figur 4).



Figur 4. Belastningsfördelning på tre olika underlag, % av totala fotbelastningen. Olika bokstäver i samma klövzon visar signifikant skillnaden mellan olika underlag (P <0,05).



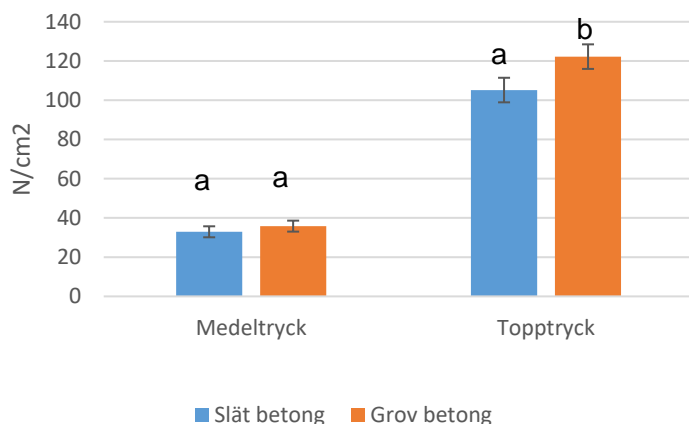
Figur 5. Belastningsfördelning mellan kaudala (bakre) delen och kraniala (främre) delen av ytter- och innerklöv på tre underlag.

På betesmarken bar den kraniala delen av klövarna mer vikt (Figur 5) än på betong ($P < 0,01$) och även mer än på gummimattor ($P < 0,05$), medan gummimattor bar större än på betong ($P < 0,05$). På bete visades signifikant jämnare belastningsfördelning mellan ytter- och innerklöv än på betong ($P < 0,05$), medan skillnaden inte var statistiskt säkerställd mellan betong och gummimatta. Detta bekräftas av försök på levande djur av Nuss m fl. (2015) som visade högre belastning på klövarnas kraniala del när djur stod på mjuka gummimattor. I deras studie fanns inte heller skillnader i viktfordelning mellan ytter- och innerklövar mellan gummi- och betonggolv. Större belastning på den kraniala (främre) delen resulterade i mindre belastning på klövsulorna på de mjuka underlagen (Figur 6). Detta resulterade i mindre tryck mot klövsulan på gummimatta ($16,6 \pm 0,96 \text{ N/cm}^2$, medel \pm SE normaliserad tryck) och bete ($12,2 \pm 0,96 \text{ N/cm}^2$, medel \pm SE normaliserad tryck) än på betonggolv ($20,2 \pm 0,96 \text{ N/cm}^2$, medel \pm SE normaliserad tryck). Alla skillnader i medeltryck på ytterklövens sula var signifikanta ($P < 0,05$).

Tryckfördelning på betongytor med olika ytstrukturer

Vid jämförelse av trycket inuti klövsulan mellan slät (stålglättad) och grov (borstad) ytbehandling skilde inte medeltrycket signifikant mellan olika ytbehandlingar medan topptrycket var högre ($p < 0,05$; Figur 7) för grovytan vilket stämmer överens med resultat av Franck och De Belie (2006) som också visade högre tryck på borstad än på stålglättad yta, trots att de testade trycket på utsidan av klöven och deras värden var i allmänhet högre. Franck och De Belie (2006) beskrev också skillnader mellan stålglättad och borstad betongyta med hjälp av "center-line" ytråhets värde (Ra-värden). Ra-värden för stålglättad yta var 0,036 till 0,124 mm och för borstad yta 0,127 till 0,326 mm. Ytråheten påverkar nötkreaturs rörelser såväl positivt som negativt, genom att förbättra friktionsegenskaperna och minska

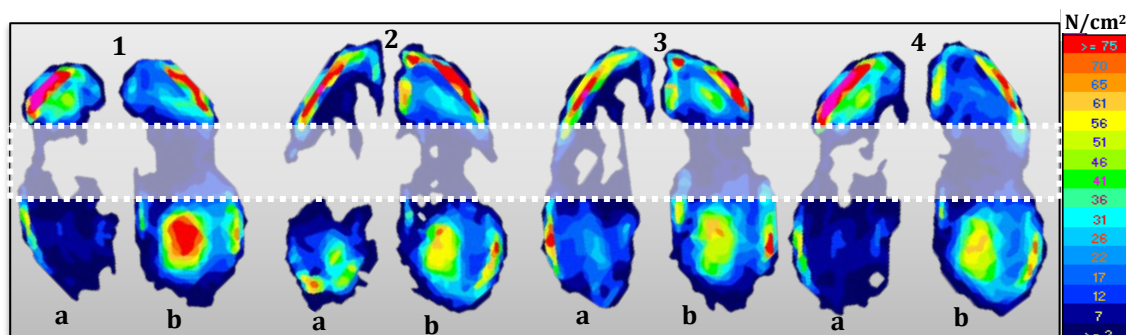
halkningar, och genom att öka klövslitage som kan leda till minskad vikt bärande av klövväggar, tunna sulor och större risk för klövskador (Telezhenko, 2007).



Figur 6. Medel- och topptryck (LSM \pm SE, för varje 100 kg belastning) på betonggolvet med olika ytstrukturer. Olika bokstäver inom samma parameter visar signifikant skillnad mellan olika ytstrukturer ($P < 0,05$).

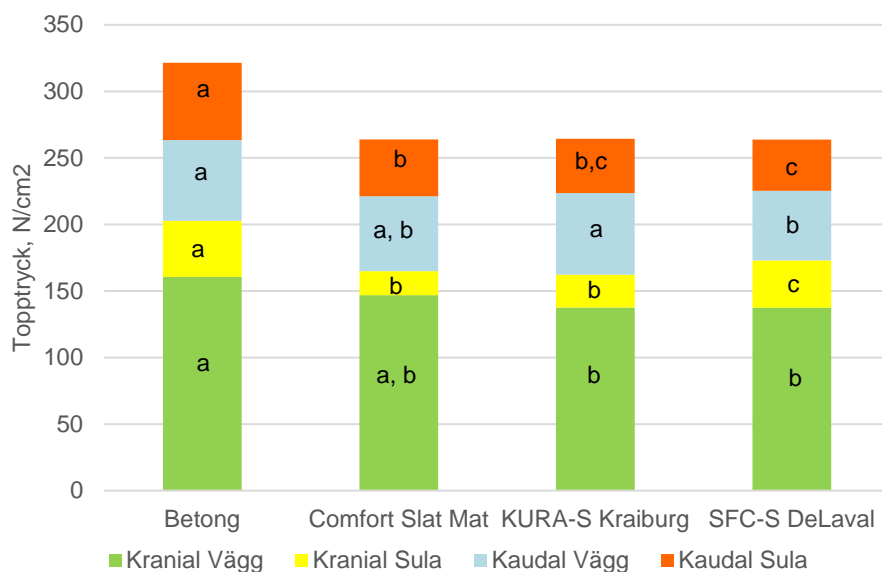
Tryckfördelning på spaltgolv med olika bredd på spaltöppningar och olika mjukhetsgrad

Fyra olika underlag med olika mjukhetsgrad och fem olika storlekar på spaltöppningar testades i ett balanserat försök där alla golvkombinationer testades på alla klövprover (Figur 7).



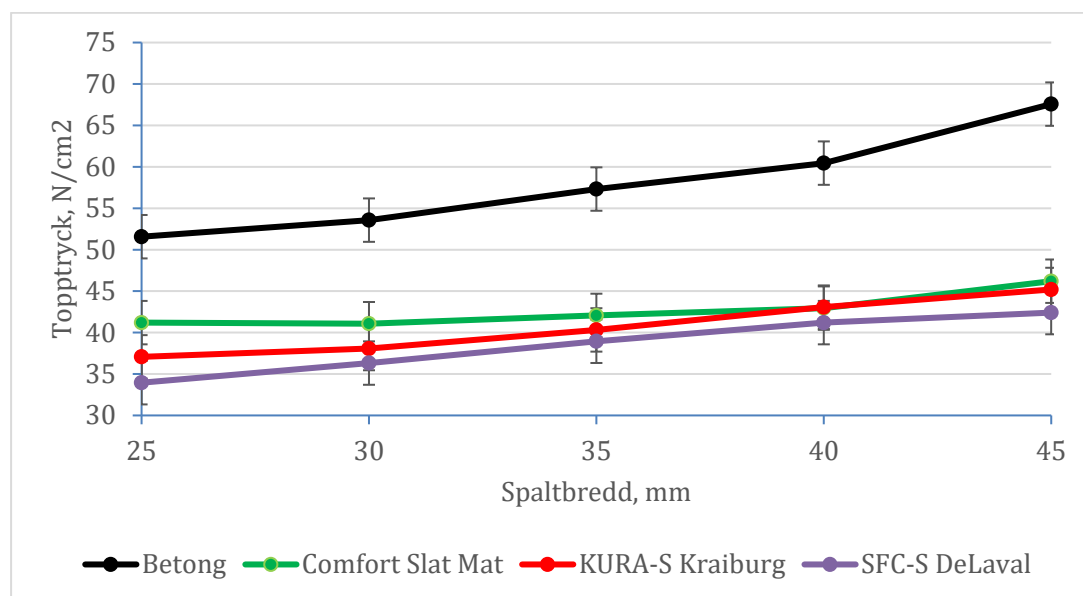
Figur 7. Färgkodade bilder av tryckfördelning (Tekscan Inc) inuti inner (a) och ytter (b) klöv på höger bakföt under belastning i vinkelrät position mot spaltöppning på olika spaltgolv med 40 mm öppningsbredd. 1. Betongspalt, 2. Comfort Slat Mat (I.C.E. Comfort Slat Mat Ltd, Irland), 3. SFC-S (DeLaval, Sweden), 4. KURA-P (Kraiburg Gummiverk, Tyskland).

Både topp- och medeltryck inuti klövsulan visade liknande skillnader mellan olika golvtyper men de största skillnaderna fanns i topptrycket i ytterklöv. Betonggolv resulterade i högre tryck på sulzoner (Figur 8). Ökat tryck på utsidan av klövsulan på betongspaltgolv har visats tidigare i ex vivo-tester och datorsimuleringsmodeller (Hinterhofer m fl., 2006; Nilsson m fl., 2006) men i vår studie var det för första gången visades att relativt högt tryck finns även på insidan av klövsulan vilket kan förklara högre uppkomst av klövskador på betongspaltgolv (Lischer m fl., 2002; Bergsten m fl., 2015).



Figur 8. Topstryck inuti ytterklöv på betongspaltgolv och tre olika mjuka beläggningar. Olika bokstäver inom samma klövzon visar signifikant skillnad mellan underlagen ($P < 0,05$).

Ökad bredd på spaltöppningar resulterade i ökande tryck särskilt inom sulzoner på ytterklöv. Dock var ökningen större på betonggolv än på mjuka underlag (Figur 9). Dessutom var trycket på mjuka underlag vid största öppningsbredden lägre än på betong med minsta öppningsbredden. Olika fabrikat av gummibeläggningar visade marginella skillnader i tryckfördelning. Skillnaderna berodde inte enbart på mjukhetsgrad utan även form. Comfort Slat Mat var det mjukaste fabrikatet men p.g.a. välvd form gav den relativt mindre kontaktyta och relativt större tryck mot väggzonen än övriga gummifabrikat. Klövväggen är dock bättre anpassad till högre tryck än sulan, eftersom belastningen sprids över en stor yta i väggens och läderhudens lameller (Borisevich, 1983). Den välvda ytan hos Comfort Slat Mat underlättar dock för djuren att hålla sig rena, vilket visades i försök av Lowe m fl. (2019).



Figur 9. Topstryck för kaudala (bakre) delen av sulan vid olika bredd på spaltöppningar på olika underlag (Medel \pm SE).

Slutsatser

För första gången kunde det visas hur belastnings- och tryckfördelningen ser ut inuti klövens undersida på bete och olika artificiella underlag. Resultaten visade att trycket, mätt inuti klöven, fördelades jämnare än när det mättes på utsidan mellan klövsulan och golvytan. Även med denna metod registrerades ett betydligt högre tryck på den bakre delen av sulan när klövar utsattes för betongytan, vilket kan förklara en högre risk för klövhornsskador på betonggolv. Mjukare ytor resulterade i att mer kraft lades på tån och klövväggarna jämfört med betongytan. När klövarna belastades på betesmark fördelades mer kraft till klövväggens kant, och det var jämnast belastningsfördelning mellan ytter- och innerklöv och mycket lite tryck mot klövens tryckkänsliga sulområden jämfört med övriga ytor. Trycket var också lägre på spaltgolv täckt med mjukare material jämfört med hård betongspalt. Mjuka beläggningar på spaltgolv resulterade i betydligt mindre ökning av topstryck vid ökade spaltöppningar i jämförelse med betongspaltgolv. Det var bara marginella skillnader i topp och medeltryck mellan olika mjuka golvfabrikat.

Mjuka mattor kan möjliggöra ökad spaltöppningsbredd med marginellt negativ effekt på klövarna, vilket kan ha positiv effekt för djurens hygien och renhet.

De nya kunskaperna kan användas för utveckling av golvunderlag som är närmare det naturliga underlag som klövarna är anpassade bäst för.

Nytta för näringen och rekommendationer

Gummibeläggningar på betonggolv visar betydande minskning av punkttryck på insidan av klövsulan (som är känslig för tryckskador) jämfört med betonggolv. Dock skilde sig tryck- och belastningsfördelning på gummimattor även från den naturliga på betesmark. Därför minskar inte behov för funktionell klövverkning för djur som hålls på gummimattor, särskilt med tanke på att gummigolv ofta resulterar i större nettotillväxt och längre tår som ökar belastningen på bakre delen av sulan. Det behövs dock mer forskning hur klövverkning kan anpassas till olika golvsystem.

Betesmark visar en mycket gynnsam fördelning av tryck inuti klövkapseln även för klövar som tidigare exponerats för betonggolv, därmed förklarar varför betessläpp kan användas för återhämtning och läkning av klövar.

Gummiklätt spaltgolv ger en mer jämn fördelning av tryck över känsliga område på klövsulan än betonggolv. Ökad bredd på spaltöppning resulterar i mycket mindre ökning av topstrycket på golv med mjuk beklädnad än på betonggolv. Därför kan man rekommendera ökad spaltöppningsbredd för golv med mjuk beklädnad, vilket har positiv effekt för djurens renhet och hygien. Det kan krävas dock fullskaliga tester på levande djur för eventuell omprövning av reglerna för spaltöppningar och detta projekt ger en bra empirisk grund för vidare tillämpning i fält. Att finna det optimala förhållandet mellan stavbredd och spaltöppningar för mjuka golv kan bidra till friskare och renare djur, och därmed till mindre arbete och bättre ekonomi för djurhållarna.

Referenser

- Aydogan, U., Moore, B., Andrews, S.H., Roush, E.P., Kunselman, A.R. and Lewis, G.S., 2015. Comparison of proximal and distal oblique second metatarsal osteotomies with varying Achilles tendon tension: biomechanical study in a cadaver model. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 97(23), p.1945.
- Bergsten, C., Telezhenko, E. and Ventorp, M., 2015. Influence of soft or hard floors before and after first calving on dairy heifer locomotion, claw and leg health. *Animals*, 5(3), pp.662-686.
- Borisevich, V.B. 1983. Claw deformation in cattle (Anatomical, histological, histochemical, clinical and pathoanatomical study). Doctoral dissertation autoreferat, Moscow, 39 pp.
- Daniel, J.A., Potter, K., Altom, W., Aljoe, H. and Stevens, R., 2002. Long-term grazing density impacts on soil compaction. *Transactions of the ASAE*, 45(6), p.1911.

- Franck, A. and De Belie, N., 2006. Concrete floor–bovine claw contact pressures related to floor roughness and deformation of the claw. *Journal of dairy science*, 89(8), pp.2952-2964.
- Graunke, K.L., Telezhenko, E., Hessle, A., Bergsten, C. and Loberg, J.M., 2011. Does rubber flooring improve welfare and production in growing bulls in fully slatted floor pens? *Animal Welfare-The UFAW Journal*, 20(2), p.173.
- Hinterhofer, C., Ferguson, J.C., Apprich, V., Haider, H. and Stanek, C., 2006. Slatted floors and solid floors: Stress and strain on the bovine hoof capsule analyzed in finite element analysis. *Journal of dairy science*, 89(1), pp.155-162.
- Lischer, C., P. Ossent, M. Raber, and H. Geyer. 2002. Suspensory structures and supporting tissues of the third phalanx of cows and their relevance to the development of typical sole ulcers (Rusterholz ulcers). *Vet Rec* 151: pp.694-698.
- Lowe, D.E., Lively, F.O. and Gordon, A.W., 2019. The effect of diet and covering fully slatted concrete floors with rubber strips on the intake, performance and cleanliness of dairy-origin bulls. *Animal*, pp.1-9.
- Nuss, K., Wiestner, T., Bruderer, A. and Hartnack, S., 2015. Pressure distribution of claws of lactating cows standing on different types of flooring. In *Proc. 10th Int. Conf. Lameness in Ruminants*. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile (p.98).
- Nilsson, C., Pålsson, K.H. and Ventorp, M., 2006, September. Pressure distribution on bovine claws in slatted concrete floors. In *Proceedings of XVI CIGR World Congress, Agricultural Engineering For A Better World*.
- Oehme, B., Geiger, S.M., Grund, S., Hainke, K., Munzel, J. and Mülling, C.K.W., 2018. Effect of different flooring types on pressure distribution under the bovine claw—an ex vivo study. *BMC veterinary research*, 14(1), p.259.
- Takahashi, T., Yoshihara, E., Mukai, K., Ohmura, H. and Hiraga, A., 2010. Use of an implantable transducer to measure force in the superficial digital flexor tendon in horses at walk, trot and canter on a treadmill. *Equine Vet J*, 42, pp.496-501.
- Telezhenko, E., 2007. Effect of flooring system on locomotion comfort in dairy cows. *Diss. Skara : Sveriges lantbruksuniversitet*. Vol. 2007, No. 76
- Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Ventorp, M., and Nilsson, C. 2008. Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. *J Dairy Sci.*, 91, pp.1874-1884.
- Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Nilsson, C. 2009. Effect of different flooring systems on claw conformation of dairy cows. *J Dairy Sci.*, 92, pp.2625-2633.

Del 3: Resultatförmedling

Vetenskapliga publiceringar	Telezhenko, E., Magnusson, M. and Bergsten, C. (2019). Novel approach for modelling force and pressure distribution inside bovine claws and on different surfaces. Pages 115-117 in Proceedings of the 20th International Symposium and the 12th Conference on Lameness in Ruminants. Tokyo, 115-117.
	Force and pressure distribution inside the bovine claw on concret, rubber and pasture. Ex vivo study (Preliminar titel, planerade artikel för Journal of Dairy Science, 2020)
	Force and pressure distribution inside the bovine claw on slatted floors with different softness and slot width (Preliminar titel, planerade artikel för Animal, 2020)
	Relationships between claw and leg conformation and claw biomechanics. (Preliminar titel, planerade artikel för Livestock Science, 2020)
Muntlig kommunikation	Årsmöte Svenska klövvårdsföreningen, 17 januari, 2019, Barsebäck
	20th International Symposium and the 12th Conference on Lameness in Ruminants. 11-14 March 2019, Tokyo, Japan
	Djurskyddskonferensen 2019: Framtidens goda djurskydd – ny lagstiftning, ny forskning, Uppsala, 21 november 2019.
	Seminarium: Kornas klövhälsa i framtiden; nollvision hälsa, 27 Maj, Alnarp
	Gård & Djurhälsans Nötköttsseminarium, 29-30 januari 2020, Söderköpings Brunn
	Årsmöte Svenska klövvårdsföreningen, 16 januari, 2020, Vingåker
	4th Annual CPD Day Wednesday 17th June 2020, Royal Agricultural University, Harnhill, Cirencester, UK
Övrigt	Årliga presentationer på Partnerskap Alnarp möte (2017-2019)
	Projekt info på SLU web: https://www.slu.se/institutioner/biosystem-teknologi/forskning/aktuella-projekt/pagaende-projekt/DoB/test-av-belastningsfordelning-pa-golv/