

Energieffektiv belysning i djurstallar – del 1

Projektet har utförts som två separata delprojekt, där inst. för Biosystem och teknologi, SLU-Alnarp har utfört delprojekt 1 med att ta fram underlag för belysningsdimensionering med hjälp av belysningsprogrammet DiaLux och inst. för Biologi vid Lunds Universitet utfört delprojekt 2, en undersökning om hur väl ljusmiljön i ett stall överensstämmer med djurens ursprungliga livsmiljö, dvs vid betesdrift utomhus.

DELPROJEKT 1

Inledning

Den totala direkta energivändningen inom jordbruket uppskattades av Edström m.fl. (2005) till att vara 3,7 TWh/år varav 1,1 TWh/år var elenergi. Belysningen använder ca 10 % av elenergin i djurstallar undantaget värphöns där något mera används (Hörndahl & Neuman, 2012). Energimyndigheten (2005) visade att man i offentliga lokaler kan minska energiförbrukningen för belysning med minst 50 % genom att använda modern teknik, t. ex. andra ljuskällor eller genom att automatiskt släcka när lokalen är tom alternativt när dagsljuset är tillräckligt.

För att dimensionera belysning använder specialister på belysning idag datorprogram, exempelvis Dialux, där man utifrån lokalens mått, väggmaterialens färg och struktur väljer lämpliga armaturer och ljuskällor så att önskad intensitet och fördelning erhålls. Ljuskällorna definieras med både ljusflöde och spridningsvinkel för att även ge en jämn belysning när så krävs (Starby, 2006).

Dimensioneringsprogrammen är emellertid inte anpassade till förhållandena i lantbruksbyggnader. Exempelvis finns inte uppgifter på reflektansen för specifika material i djurstallar såsom golvytor med strömedel alternativt gödsel. Det finns inte heller uppgifter på hur ljuskälla samt ytmaterialens reflektans påverkas av nedsmutsningen i djurstallar.

Syftet med detta projekt var att öka kunskapen om hur man dimensionerar energieffektiv belysning anpassad till djurstallar med moderna dimensioneringsprogram; att ta fram reflektansen för ytmaterial som är specifika för djurstallar och undersöka nedsmutsningens betydelse; samt att jämföra beräknad belysningsstyrka och ljusfördelning med uppmätta värden.

Material och metoder

Under vintern 2012-2013 har mätningar av byggnadsytornas reflektans samt belysningsstyrkan vid artificiell belysning i rummet utförts i 6 byggnader för djur. Mätningarna har genomförts både före och efter att armaturernas kupor tvättats samt i två fall även före och efter att stallet tvättats. Belysningen i djurstallarna har beräknats med dataprogrammet Dialux och beräknad belysningsstyrka samt ljusfördelning har jämförts med resultaten från mätningarna.

Tabell 1. Beskrivning av byggnader där belysningsmätningar utförts

	Djurslag	Antal djur	Byggnadens storlek l x b x h (m)	Armaturer	Byggnadsytor	Ålder
A)	Slaktgrisstall	2 x 60 slaktgrisar	13,6 x 6,0 x 3,0	3 st 2 x 36 W Malmbergs Alpha ^{a,b)}	Golv: betong Dränerande golv: betongspalt Väggar: plywood (gul) Tak: korrugerad plåt (vit) Inredning: plast (ljusgrå)	ca 2 år
B)	Grisningsstall	40 suggor	42,0 x 7,2 x 2,8	20 st 2 x 36 W Thorn KAP II ^{a)} Thorn CorrosionForce / PM II ^{b)}	Golv: betong Dränerande golv: gjutjärn (brun) Väggar: betongelement (ljusgul) Innertak: korrugerad plåt (vit) Inredning: fibercement (ljusgul)	ca 10 år
C)	Mjölkkostall	85 mjölkkor + rekrytering	43,0 x 28,8 x 3,0 Till taknock: 10,0 m	26 st 2 x 58 W Fehco AB PMMA ^{a)} DEFA Lighting Matrosen ^{b)}	Golv: betong Väggar: betongelement Ramar: galvaniserat stål Innertak: korrugerad plåt (vit) Inredning: plywood (brun) + galv. järnrör	ca 5 år
D)	Mjölkkostall	150 mjölkkor + kalvar	48,0 x 27,7 x 3,0 Till taknock: 10,0 m	48 st 2 x 58 W Electroskandia Helplastarmatur 258 Akryl ^{a,b)}	Golv: betong Dränerande golv: betongspalt Ramar: stålramar (brunröd) Väggar: betongelement (ljusgul) Innertak: korrugerad plåt (vit) Inredning: plywood (brun) + galv. järnrör	ca 10 år
E)	Häststall	6 hästar	12,4 x 9,2 x 3,1 Till taknock: 5,2 m	8 st 2 x 58 W Ze-bra ^{a)} Glamux GPV2 258 PC ^{b)}	Golv: betong Väggar: betongelement (grå + vit) Innertak: träpanel (vit) Inredning:	ca 15 år
F)	Häststall	10 hästar	23,4 x 10,5 x 3,7	10 st 2 x 58 W Thorn PM238 ^{a)} Thorn CorrosionForce / PM II ^{b)}	Golv: betong (halm) Väggar: putsad (grå + vit) Innertak: trä (vit) Inredning:	ca 12 år ^{c)}

^{a)} Befintlig armatur; ^{b)} Använd armatur vid Dialux-beräkningar; ^{c)} Armaturer ca 12 år gamla; stallen ommålat för ca 3 år sedan.

Beskrivning av byggnaderna

Byggnaderna där mätningarna genomförts beskrivs i tabell 1. Slaktgrisstallet (A) består av två parallellstallar, identiskt utformade för att genomföra forskning kring bl a klimatisering och djurmiljö vid institutionen för Biosystem och Teknologi i Alnarp (SLU). Ett av häststallen (F) är en avdelning av häststallarna vid Flyinge. Övriga djurstallar är del av privat företagsverksamhet.

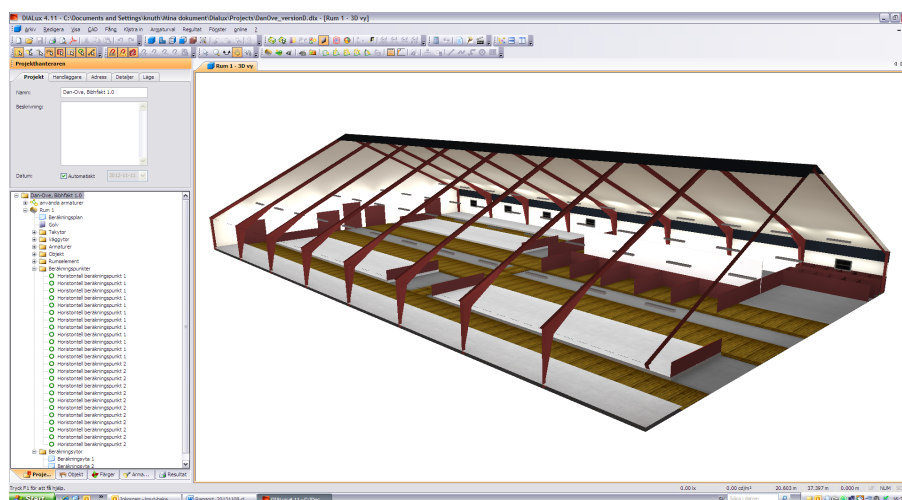
Mätmetoder

Reflektans

Reflektans är förhållandet mellan det ljusflöde som reflekteras från en yta och det ljusflöde som träffar ytan. För en svart yta är reflektansen nära 0,0 och för en vit yta nära 1,0. Reflektansmätningar har utförts för de mest dominerande byggnadsytorna i byggnaderna. Mätningarna har utförts med hjälp av en referensskiva med känd reflektans samt ett universalinstrument för mätning av luminans, Hagner S4 Universal Photometer. Mätningarna för samma yta i stallen har i de flesta fall repeterats på minst fem olika platser för att erhålla ett sannolikt medelvärde för ytan.

Belysningsstyrka och ljusfördelning

Belysningsstyrka anger det ljusflöde som faller mot en yta per areaenhet. Enheten för belysningsstyrka är lux (lm/m^2). Före mätningarna av belysningsstyrkan i byggnaderna har lysrören utbytts mot nya lysrör som varit tända ca 100 timmar. Enligt Starby (2006) sjunker ljusflödet från lysrör med 10-15% under de första 100 timmarna i drift. För att bestämma belysningsstyrka (illuminans) och ljusfördelning i försöksstallarna har hela eller delar av stallen delats upp i mätpunkter med 1,0-4,0 meters avstånd. Mätningarna har utförts vid två nivåer över golvet; dels 0,85 m som motsvarar en människas arbetshöjd, dels 0,45 m som kan motsvara ett djurs "arbetshöjd". En ljusmätare, Hagner Screenmaster, som placerats på ett stativ med reglerbar höjd har använts för mätning av belysningsstyrkan. Ljusfördelning för respektive nivå över golvet har beräknats som kvoten mellan uppmätt belysningsstyrka och medelbelysningsstyrka för samtliga mätpunkter vid respektive nivå.



Figur 1. Exempel på 3D ritning av mjölkstall (D) för belysningsberäkning med datorprogrammet Dialux.

Databeräkningar i Dialux

Beräkningar av belysningsstyrka för försöksstallarna har utförts i dataprogrammet Dialux (figur 1). En 3D ritning över respektive försöksstall har ritats in i Dialux där ytornas reflektans har angetts enligt uppmätta värden i stallarna. Belysningsarmaturer med specifikationer enligt företagen har placerats in i 3D ritningarna. Belysningsstyrkan har beräknats för samma mätpunkter och nivåer över golvet som vid de manuella mätningarna beskrivna ovan.

Resultat och diskussion

Reflektans

Reflektansmätningarna i slaktgrisstallarna (A) och grisningsstallet (B) utfördes både före och efter tvättning av stallet. Samtliga golvytor var obehandlade. Betonggolvet i slaktgrisboxarna hade reflektanser mellan 0,10 – 0,32. Lägst reflektans om golvet var smutsigt av gödsel eller fuktigt efter tvätt och högst reflektans för nyströat golv. Betongspalten hade lägst reflektans i stallet, 0,07 respektive 0,09. Betonggolven utanför boxarna hade ungefär samma reflektans som betonggolv i boxarna utan strö.

Inredningen i slaktgrisstallet (A) var av grå plast och hade en reflektans mellan 0,22 – 0,32 där det lägsta värdet var från områden närmast golvet som var mycket smutsiga. Innerväggarna i stallet var av gulmålad plywood och hade en reflektans på 0,40 respektive 0,52. Den otvättade väggytan var dammig vilket gav en lägre reflektans. Innertaket var av vit korrugerad plåt och hade den högsta reflektansen i stallet.

Det dränerande golvet i grisningsstallet (B) var av brun metallspalt och hade lägre reflektans än betonggolvet, 0,06 – 0,10 jämfört med 0,17 – 0,19. Boxmellanväggarna var av gulmålade fibercementskivor med reflektansen 0,29 – 0,35 och innerväggarna av gulmålad puts hade reflektansen 0,24 – 0,27. Den vita korrugerade plåten i innertaket hade en reflektans omkring 0,52 – 0,57.

Reflektanserna i de både mjölkostallarna (C och D) redovisas i tabell 2. Fuktiga och smutsiga gödselgångar av helt betonggolv eller betongspalt hade mycket låga reflektanser kring 0,07. För torra och rena gödselgångar av helt betonggolv var reflektansen 0,25. Liggbås med sågspån hade lite högre reflektans än liggbås med halm, 0,28 respektive 0,22. Innerväggarna i ett av stallarna var av obehandlade betongelement med reflektanser kring 0,50. I det andra stallet var betongelementen målade med en ljusgrön färg vilket gav en reflektans på 0,61. Innertaken var i båda stallarna av vit korrugerad plåt med reflektanserna 0,52 respektive 0,70.

I ett av mjölkostallarna gjordes även ett försök att bestämma reflektansen för mjölkornas (Holstein) hårrem. Svart hårrem hade reflektansen 0,02 och vit hårrem 0,41. Endast en mätning utfördes av respektive färg på hårremmen.

Betonggolven i häststallarna (E och F) hade reflektanser mellan 0,07 och 0,27. Det högre värdet med halm på golvet. Mörkbruna boxmellanväggar av trä hade mycket låg reflektans på 0,03 medan teak hade reflektansen 0,15. Nedre delen av innerväggarna (mot box) hade reflektanserna 0,28 respektive 0,57 och över boxnivå 0,51 respektive 0,94.

Standardavvikelserna för reflektansmätningarna var mellan 0,01 – 0,14. De högsta värdena var från mätningarna av innertaken. Detta beror förmodligen på svårigheten att mäta reflektansen från korrigerade plåttak.

Enligt Ljusamallen (2013) kan reflektansen för tak 0,50, väggar 0,30 och golv 0,20 användas vid beräkning av belysningsstyrka i industrilokaler och teknikutrymmen. För kontor och allmänna utrymmen gäller tak 0,80, väggar 0,60 och golv 0,30. Denna undersökning visar att lämpliga värden för djurstallar ligger för tak 0,60, väggar 0,40, inredning 0,30 och för golv 0,10.

Tabell 2. Reflektanser uppmätta i två mjölkstallar (C och D), ca 5 respektive ca 10 år gamla. Stallarna var ej tvättade vid mätningarna.

Yta	Reflektanser			
	Medel	Std av	N	Stall
Betonggolv				
gödselgång, fuktigt	0,07	0,01	5	C
gödselgång, torrt och rent	0,25	0,02	5	C
liggbås, mycket halm	0,22	0,02	5	C
liggbås, sågspån på gumlimatta	0,28	0,02	5	D
Betongspalt				
smutsiga med gödsel	0,07	0,01	5	D
Portar och skivor i inredningen				
plywood, brun	0,09	0,01	2	C
plywood, svart	0,03	0,01	2	C
Innervägg, betongelement				
gavel, ofärgad	0,48	0,07	5	C
långsida, ofärgad	0,53	0,05	5	C
gavel, ljusgrön	0,61	0,02	5	D
Rambalkar				
grå	0,34	0,05	2	C
Innertak, korrugerad plåt				
gråvit	0,70	0,04	5	C
gulvit	0,52	0,07	5	D

Belysningsstyrka och ljusfördelning

Belysningen i stallarna uppgick till rekommenderade belysningsnivåer. Fyra mätserier genomfördes i båda slaktgrisstallarna (A) med kombinationer av otvättat/tvättat stall samt otvättade/tvättade kupor till lysrörsarmaturerna. Belysningsstyrkan var i medeltal mellan 70 och 80 lux för nivån 0,85 m över golv och mellan 61 och 75 lux för nivån 0,45 m över golv. Medelvärdena visar ca 9 % högre belysningsstyrka när kuporna och stallet är tvättade. Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta värde i stallet var 50-60 lux och ljusfördelningen var mellan 0,65-1,59.

Mätningarna i grisningsstallet (B) utfördes före tvättning och efter tvättning av både stall och kupor till lysrörsarmaturerna. Belysningsstyrkan var i medeltal 144 lux för nivån 0,85 m över golvytan och 135 lux för 0,45 m över golvytan. Efter tvätt av stall och kupor var medeltalet för belysningsstyrkan ca 20 % högre, 176 lux respektive 164 lux.

Skillnaden mellan högsta och lägsta belysningsstyrka i stallen var 300-400 lux och ljusfördelningen var mellan 0,37-1,95.

Belysningsstyrkan var i medeltal 119 lux på nivån 0,85 m över golvet i det första mjölkstallet (stall C). Efter tvätt av kuporna ökade belysningsstyrkan till 129 lux (+ 8 %). På 0,45 m nivå över golvet var belysningsstyrkan lite lägre, 110 lux respektive 120 lux för otvättade respektive tvättade kupor. Skillnaden mellan högsta och lägsta belysningsstyrka i stallen var 100-140 lux. Ljusfördelningen var mellan 0,53-1,66.

Mätningarna i det andra mjölkstallet (stall D) visade något högre belysningsstyrka. Medelvärdena för 0,85 m och 0,45 m över golvet var 160 lux respektive 154 lux. Efter tvätt av kuporna var medelvärdena 168 lux respektive 161 lux (+ 5 %). Skillnaden mellan högsta och lägsta belysningsstyrka i stallen var 90-100 lux och ljusfördelningen var mellan 0,63-1,28.

Häststall E var tvättat och användes inte vid tidpunkten för mätningarna. Belysningsstyrkan i häststallet var i medeltal 281 lux för nivån 0,85 m och 255 lux för nivån 0,45 m över golvet (tabell 14). Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta belysningsstyrka i stallen var 220-230 lux och ljusfördelningen var mellan 0,71-1,56.

Belysningsstyrkan i häststall F var i medeltal 182 lux och 152 lux för nivåerna 0,85 respektive 0,45 m över golvet (tabell 15). Efter tvätt av kuporna ökade belysningsstyrkan till 188 lux respektive 167 lux (+ 3-10 %). Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta belysningsstyrkan i stallen var 180-210 lux. Ljusfördelningen var mellan 0,55-1,54.

Bibehållningsfaktor och ljusfördelning

Belysningen i ett rum förändras med ljuskällornas och armaturernas ålder, nedsmutsningen av armaturer och ytor samt underhållsnivån. Bibehållningsfaktorn definieras som kvoten mellan belysningsstyrkan för en yta efter en viss användningstid för belysningsinstallationen och belysningsstyrkan under samma förhållanden då installationen var ny. Beräkningarna i datorprogrammet Dialux är utförda med bibehållningsfaktorn 1,0 samt med uppmätta reflektanser för tvättade byggnadsytor. Den beräknade belysningsstyrkan var för samtliga byggnader högre än uppmätt belysningsstyrkan. Skillnaden mellan uppmätt och beräknad belysningsstyrka var en faktor mellan 0,67 – 0,91. Genom att välja bibehållningsfaktor i Dialux kan effekten av ljuskällornas och armaturernas ålder, nedsmutsningen av armaturer och ytor samt underhållsnivån korrigeras. Efter att bibehållningsfaktorn korrigerats har ljusfördelningen beräknats och jämförelser har gjorts mellan uppmätta och beräknade värden. Skillnaderna i ljusfördelningen mellan uppmätta och beräknade värden ligger i de flesta fall mellan $\pm 15\%$ men vissa mätpunkter har större avvikelser. Dessa avvikelser beror förmodligen på att inredningen inte har ritats exakt efter verkligheten i programmet Dialux utan har förenklats. Dock bör alltför hög bibehållningsfaktor ej väljas då det påverkar belysningsökonomin negativt, dvs att alltför hög belysningsstyrka väljs för att kompensera bortfall genom armaturens varaktighet, nedsmutsning av belysningskupor och ljuskällans varaktighet över tiden.

Slutsatser

Dimensioneringsprogrammet Dialux är ett bra hjälpmedel för beräkning av belysningsstyrka i lantbruksbyggnader för att erhålla noggrannare dimensionering och energibesparing.

Reflektansen för golvytorna i djurstallar varierar mellan 0,07 och 0,32 och beror av hur smutsiga och fuktiga golven är samt typ av golv och mängden strömedel. Boxmellänväggar har reflektans mellan 0,20 – 0,40 och innerväggar mellan 0,25 – 0,60. Ofta är reflektansen lägre för nedre delar av box- och innerväggar pga smuts men även mörkare färgval. Innertak av korrugerad plåt har reflektans mellan 0,50 – 0,80.

Totala bibehållningsfaktorn bör sättas till värden mellan 0,70 – 0,90 i djurstallar för att erhålla korrekt belysningsstyrka vid beräkning i programmet Dialux. Lägre bibehållningsfaktor (0,70-0,80) i stallar som blir mer nedsmutsade (exempelvis gris- och nöttallar) och högre bibehållningsfaktor (0,80-0,90) i häststallar.

Beräkningar i programmet Dialux visade en ljusfördelning som var ± 15 % från uppmätta värden. Hur inredning ritas in i Dialux kan ha stor påverkan på ljusfördelningen i stallet. För att förbättra noggrannheten vid beräkningar i programmet Dialux bör det införas standardritningar på utrustning och inredning som kan ha stor betydelse för belysningsstyrkan och ljusfördelningen.

Referenser

- Edström, M., Pettersson, O., Nilsson, L. och Hörndahl, T. 2005. Energi i jordbruket. JTI-Rapport. Lantbruk och Industri 342. JTI - institutet för jordbruk och miljöteknik. Uppsala.
- Hörndahl, T., och Neuman, L. 2012. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader – en kartläggning av 16 gårdar 2005-2006 kompletterat med mätningar av två gårdar 2010-2012. Rapport 2012-19. Fakulteten för landskapsplanering, trädgård och jordbruksvetenskap. SLU. Alnarp.
- Ljusamallen. 2013. Ljusamallen – Redovisningsmall för inomhusbelysning – armaturer och planering/ljusbildning. Utgåva 15. Information från belysningsbranchen, www.belysningsbranchen.se
- Starby, L. 2006. En bok om belysning. Ljuskultur. Stockholm.

DELPROJEKT 2

Inledning

Trots att nötboskap domesticerats för mycket länge sedan kan man anta att de fortfarande i huvudsak har kvar sin ursprungliga anpassning till de ljusmiljöer som förekom i de naturliga miljöer de en gång levde i. Dessa anpassningar gäller ögats byggnad och funktion samt de nervkretsar i hjärnan som utnyttjar ögats information för att styra djurens beteende och fysiologi.

Ljusmiljö i de beteshagar där nötboskap hålls under årets varmare delar är troligen mycket mer lika deras ursprungliga miljö än den inomhusmiljö de hålls i under vintern. Vår hypotes är att om nötboskap utvecklats evolutionärt i en blandning av gräs och skogsbevuxet landskap är också deras ögon och nervsystem anpassade för denna miljö. Dessutom kan man anta att det funnits ett starkt överlevnadsvärde för djuren att vilja söka upp miljöer med bra bete och gott skydd mot rovdjur. För högre djur och människor ligger det naturliga miljövalet inbäddat i känslor och beteenden. Det är ändamålsenligt för varje djurart att uppfatta en lämplig miljö som behaglig, medan en dålig eller onaturlig miljö bör skapa stress för att på så sätt skapa drivkraft att uppsöka bättre miljöer.

Till skillnad mot vilda djur har nötboskap dock ingen möjlighet att själva välja den miljö de vistas i. Det finns därför en uppenbar möjlighet att boskap blir stressade om de hålls i miljöer som visuellt skiljer sig mycket från naturliga miljöer. Kostallar är miljöer som skiljer sig mycket från de mer naturliga utomhusmiljöerna. Om vi kan sätta fingern på precis vad det är som skiljer sig visuellt mellan utomhusmiljöer och kostallar finns det därför en möjlighet att med modern LED-belysning ändra ljusmiljö i kostallar så att den blir mycket mer lik en utomhusmiljö. Om en sådan stallbelysning kan leda till mindre stress och bättre välbefinnande är det möjligt att detta på ett positivt sätt påverkar boskapen, tex. genom bättre tillväxt, ökad mjölkproduktion eller ökad sjukdomsresistens. Möjligen påverkas även människor positivt av en mer naturlig ljusmiljö

Även om ovanstående resonemang och grundtanke är enkla och uppenbara, är det inte lika enkelt att objektivt beskriva visuella utomhusmiljöer på ett sådant sätt att viktiga karakteristika kan återskapas inomhus med hjälp av LED-belysning. Det var just denna problematik som föranledde delprojekt 2. Vi ville alltså utveckla en enkel metod att objektivt karaktärisera en ljusmiljö, inte bara som ett intensitetsvärde, utan så att ljusets fördelning och kontrastinnehåll kunde bestämmas.

Metod

Vi valde att använda en kamera med så kallad fisheye-optik för att samla in information om olika ljusmiljöer (Nikon D3x kamera med objektiv Sigma 8 mm/3.5). Fisheye-optiken skapar runda bilder med en bildvinkel på 180° (Figur 2). Därmed samlar varje bild in information om hur ljuset är i alla vertikala riktningar från rakt nedåt via horisontellt till rakt uppåt. Även förekomsten av kontraster i olika riktningar finns då lagrade i bilderna. Genom att ta ett stort antal bilder i en miljö kan den vertikala medelfördelningen av ljusintensiteten bestämmas liksom den vertikala fördelningen av kontraster och färger. Genom att jämföra sådana data från bilder tagna i beteshagar med samma data från kostallar kan de genomsnittliga skillnaderna snabbt identifieras.



Figur 2. Exempel på fisheye-bilder från hagemiljö respektive stallmiljö. Bildfältet är 180°, vilket innebär att innehåller information om halva den synliga omvärlden från den punkt bilden tagits. Bilderna har kalibrerats för kvantitativ mätning.

För detta ändamål utvecklade vi ett analysprogram för att räkna fram genomsnittlig vertikal fördelning av ljusintensitet, färgsammansättning och kontraster. Ett första program utvecklades i JAVA, men för att tillåta mer flexibelt experimenterande med olika beräkningsalgoritmer bytte vi till programmet MatLab som finns för både PC och Appledatorer. Även om det ännu återstår en hel del förbättringar av kosmetik och

användarvänlighet i programvaran, fungerar den mycket väl för en första jämförelse mellan den visuella miljön i beteshagar på sommaren och kostallar inomhus.

Under sommaren 2012 samlades ca 70 bilder in från kohagar i två områden i Skåne (Revinge och Hörröd). De två områdena skiljer sig främst genom att Hörröd är mer kuperat och mer skogsbevuxet än Revinge. Från varje kohage togs två bilder i motsatt riktning från varandra från en position där korna nyligen befunnit sig. Från ett kostall (C) togs ca 120 bilder från olika positioner och i olika riktningar. Samtliga bilder togs med hjälp av vattenpass så att horisontalplanet var rakt och alltid föll genom bildens mitt. Med hjälp av den utvecklade programvaran beräknades medelintensitetens fördelning längs vertikalplanet för de två hagmiljöerna utomhus och för stallmiljön inomhus.

Programvaran kan även visa fördelningen av rött, grönt och blått längs vertikalplanet samt standardavvikelse och total intensitetsomfång. Intensitetskontraster och färgkontraster (både horisontella och vertikala) beräknades i fem vertikala fält: 50°-90° uppåt, 10°-50° uppåt, från 10° över till 10° under horisonten, 10°-50° nedåt samt 50°-90° nedåt.

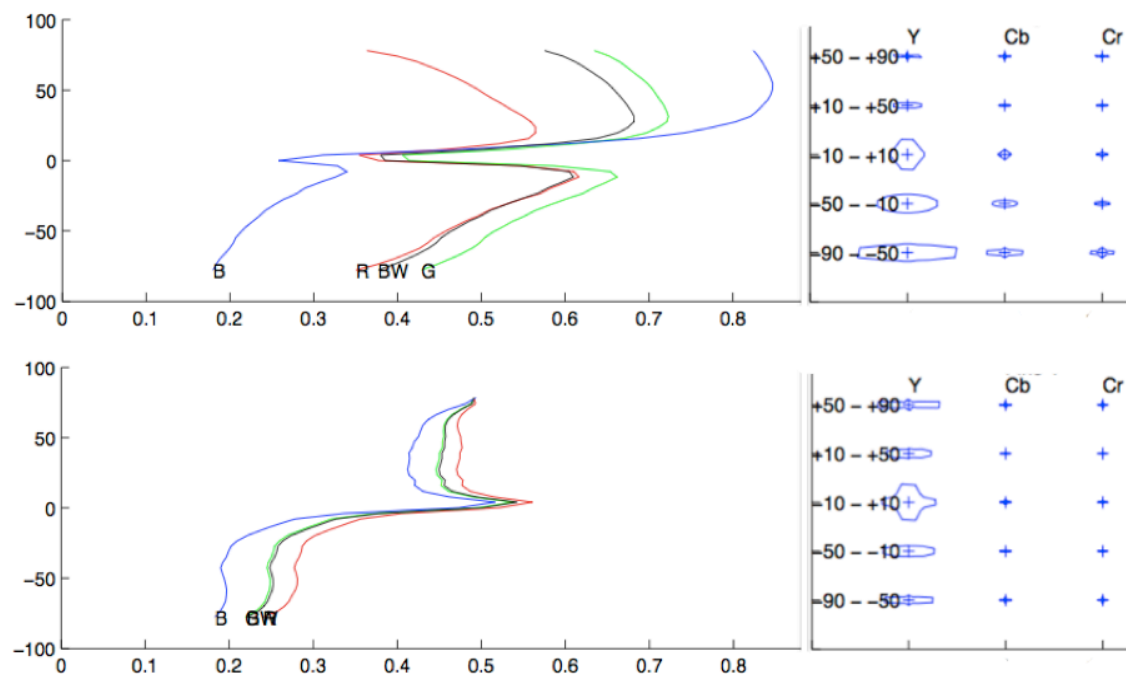
Resultat och diskussion

Skillnaden mellan de två hagområdena i Revinge och Hörröd visade sig vara obetydlig. Dvs. variationen mellan olika hagar i samma område är större än den uppmätta skillnaden mellan de olika områdena. Inomhusmiljön skiljer sig dock mycket radikalt och på flera olika sätt från utomhusmiljöerna. Vi har i dessa inledande analyser inte beaktat de absoluta ljusnivåerna, utan istället koncentrerat oss på den relativa vertikala fördelningen av ljus inom de uppmätta miljöerna. Kurvorna i Figur 3 visar tydligt att den totala vertikala variationen (det dynamiska omfånget) är större i den naturliga miljön.

Hagmiljön har också mer färg, vilket visas genom att de röda, gröna och blå kurvorna ligger långt från varandra. Den kanske mest iögonfallande skillnaden är att horisonten täcks av ett mörk band i utomhusmiljön medan det i stallmiljön istället finns ett ljust band på samma ställe. Den mörka horisonten i utomhusmiljöer beror på att mörka buskar och träd linjeras upp längs horisontalplanet, och i stallmiljön beror den ljusa horisonten på raden av fönster.

Även när det gäller visuella kontraster skiljer sig hagmiljön markant från stallmiljön. I hagmiljön ökar kontrasterna (Y i Figur 3) gradvis mot den nedre delen av synfältet, medan stallmiljön har ungefär samma kontrastriktning i alla riktningar. Hagmiljön är också rik på färgkontraster (Cb och Cr i Figur 3), vilket nästan saknas helt i stallmiljön. Här bör det dock påpekas att nötboskap har ett enklare färgseende än människor. I princip betyder det att endast Cb är relevant för boskapen.

Sammantaget finns alltså betydande och systematiska skillnader i ljusfördelning och kontrastriktning mellan hagmiljöerna och stallmiljön. Det måste dock noteras att vi ännu bara har samlat data från hagmiljöer på två platser mitt på dagen under klart väder i augusti, och jämfört detta med miljön i ett kostall. För att kunna stödja mer generella slutsatser måste naturligtvis avsevärt mer data samlas in under olika tider på dygnet, i olika väder och olika årstider, och detta måste jämföras med ett större antal stallmiljöer. Trots detta kan man redan nu anta att de huvudsakliga uppmätta skillnaderna kommer att bestå även efter att mer mätdata samlats in.



Figur 3. Kurvorna visar vertikal ljusfördelning för vitt ljus (svart kurva) samt för de tre komponentfärgerna rött, grön och blått. Det övre diagrammet är från haggmiljö runt Hörröd i östra Skåne (medelvärden från 37 bilder), och det nedre diagrammet är från stallmiljö C (medelvärden från 120 bilder). Diagrammen till vänster visar förekomsten av kontraster i 5 vertikala vinkelområden. De blå figurerna anger mängden kontraster i olika riktningar. Större figurer betyder att det förekommer mer kontraster i synfältet. Om figuren är horisontellt utsträckt finns mycket kontraster i horisontella svep. Y anger luminanskontrast, medan Cb och Cr indikerar färgkontrast.

Den kanske viktigaste slutsatsen är att mät och analysmetoden som utvecklats inom detta projekt har mycket stor potential. Ännu är metodiken på utprovningstadiet och en hel del återstår av finjustering, kosmetik och bättre användarvänlighet innan metoden kan publiceras och komma till bredare användning. En annan viktig slutsats är att det finns stora skillnader mellan ljusmiljön i haggmarker och kostallar, och att en enkel analysmetod gör det möjligt att börja experimentera med hjälp av LED-belysning för att få stallmiljöer att efterlikna haggmiljöer. Detta öppnar direkt för möjligheten att undersöka om den visuella miljön i stallmiljöer kan göras mer naturlig så att både djur och människor påverkas positivt.

Slutsatser

Den inom projektet utvecklade metoden att mäta och analysera ljusmiljöer är relativt enkel men ger viktig information av ny typ som inte beaktats tidigare. Trots att de mätningar som gjort måste betraktas som preliminära, visar de på stora och kvantifierbara skillnader mellan stallmiljöer och sådana miljöer som kan antas likna de naturliga miljöer där nötboskap har sitt evolutionära ursprung. Därmed har vi skapat en metod som kan användas för att utforska möjligheterna att radikalt förbättra ljusmiljön i lokaler för djurhållning.