



Dimensionering av belysningsstyrka i djurstallar med programmet DiaLux och en kvantitativ jämförelse av ljusmiljö i beteshagar och kostallar

Lighting design in animal buildings with DiaLux and a quantitative assessment of difference in lighting environment on pasture vs indoors for cattle

Knut-Håkan Jeppsson^a, Dan E Nilsson^b, Hans von Wachenfelt^a och Torsten Hörndahl^a

^{a)} Institutionen för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet,
Department of Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Science

^{b)} Institutionen för Biologi, Lunds Universitet
Department of Biology, Lunds University

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:34

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-65-7

Alnarp 2014



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Dimensionering av belysningsstyrka i djurstallar med programmet DiaLux och en kvantitativ jämförelse av ljusmiljö i beteshagar och kostallar

Lighting design in animal buildings with DiaLux and a quantitative assessment of difference in lighting environment on pasture vs indoors for cattle

**Knut-Håkan Jeppsson^a, Dan E Nilsson^b, Hans von Wachenfelt^a
och Torsten Hörndahl^a**

^{a)} Institutionen för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet,
Department of Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Science

^{b)} Institutionen för Biologi, Lunds Universitet
Department of Biology, Lunds University

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:34

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-871117-65-7

Alnarp 2014

© 2014. Knut-Håkan Jeppsson
Omslagsbild: Knut-Håkan Jeppsson & Dan E Nilsson

FÖRORD

Mot bakgrund av den stora besparingspotentialen är det mycket angeläget att öka kunskapen om hur man erhåller energieffektiv belysning i lantbrukets driftsbyggnader. Synsinnet hos respektive djurarter är anpassat till den naturliga miljö som de en gång utvecklades i. Det finns goda skäl att misstänka att djurens välbefinnande, tillväxt, hälsa och produktion påverkas av ljusmiljön.

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

I delprojekt 1 har reflektanser för lantbruksspecifika material som gödselbelagda golv och väggytor, strömmaterial tagits fram för användning i datorprogram för projektering av belysning. Dessutom har belysningsberäkningar av olika lantbruksbyggnader beräknats med hjälp av datorprogrammet Dialux (version 4.11) och utvärderats mot uppmätta värden för att få reda på om programvaran kan användas för projektering av belysning i djurstallar.

I delprojekt 2 har programvara utvecklats under ledning av professor Dan E. Nilsson för att kvantitativt kunna jämföra ljusfördelning och kontrastriktighet i olika miljöer. Mätningar i hagmark och stallmiljö uppvisar mycket stora skillnader.

Studien har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning där avsnittet belysningsdimensionering har genomförts av en projektgrupp bestående av Torsten Hörndahl, Hans von Wachenfelt och Knut-Håkan Jeppsson, och avsnittet om ljusmiljö har utförts av Dan E. Nilsson. Torsten Hörndahl initierade projektet och samarbetet med Dan E. Nilsson och har deltagit i diskussioner under projektets gång. Hans von Wachenfelt och Knut-Håkan Jeppsson har genomfört fältmätningarna och Knut-Håkan Jeppsson har utfört beräkningar i programmet Dialux samt sammanställt del 1 av denna rapport.

Vi tackar ägare, personal och studenter för välvilligt mottagande samt information kring byggnader och belysningsarmaturer.

Alnarp i februari 2014

INNEHÅLL

FÖRORD	5
INNEHÅLL	6
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	10
DEL 1, DIMENSIONERING AV BELYSNING I DJURSTALLAR	13
Bakgrund	13
Datorprogram för dimensionering av belysning	14
LITTERATUR OCH TEORI	16
Reflektans för olika byggnadsytor	16
Bibehållningsfaktor	18
MATERIAL OCH METODER	21
Beskrivning av byggnaderna	21
Mätmetoder	24
Reflektans	24
Belysningsstyrka och ljusfördelning	25
Databeräkningar i Dialux	26
RESULTAT	27
Reflektans	27
Belysningsstyrka och ljusfördelning	31
Databeräkningar i Dialux	35
DISKUSSION	36
Reflektansen för ytmaterial i djurstallar	36
Bibehållningsfaktor i djurstallar	36
Belysningsstyrka och ljusfördelning	40
Slutsatser	40
REFERENSER	42
DEL 2, LJUSMILJÖN I KOSTALL JÄMFÖRT MED HAGMARK	44
Inledning	44
Metod	44
Resultat och diskussion	46
Slutsatser	47
BILAGA A	49

SAMMANFATTNING

Delprojekt 1: dimensionering av belysning i djurstallar

Den totala direkta energivändningen inom jordbruket uppskattades 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. Uppskattningsvis förbrukas 69-179 GWh av elenergin till belysning i stallar för olika djurslag.

För att uppnå de rekommenderade värdena för belysningsstyrka använder specialister på belysning idag dimensioneringsprogram av typen 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.

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 ljuskällans samt ytmaterialens reflektans påverkas av nedsmutsningen i djurstallar.

Syftet med delprojekt 1 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.

Metod

Under vintern 2012-2013 har mätningar av byggnadsytornas reflektans samt belysningsstyrkan vid artificiell belysning i rummet utförts i 6 byggnader för djur. Mätningarna har utförts med hjälp av en referensskiva med känd reflektans samt ett universalinstrument för mätning av luminans, Hagner S4 Universal Photometer. Mätningarna genomfördes både före och efter att armaturernas kupor tvättats samt i två fall även före och efter att stallet tvättats. Samtliga lysrörsarmaturer var slutna och utan reflektorer. Belysningen i djurstallarna har beräknats med dataprogrammet Dialux (version 4.11) och beräknad belysningsstyrka samt ljusfördelning har jämförts med resultaten från mätningarna.

Resultat

Golven har lägst reflektans i djurstallar. Uppmätta värden ligger mellan 0,07 och 0,32. Fuktiga, nyligen tvättade och smutsiga golv har lägre reflektans (ca 0,10) än torra golvytor utanför boxarna (0,20 – 0,25). Fuktiga och smutsiga dränerande golv (betong, metall) kan ha lägre reflektans än 0,10. Strömedel på golv ökar reflektansen till ca 0,30.

Boxmellanväggar och inredning har ofta högre reflektans än golven och har reflektans mellan 0,20 – 0,40. Innerväggar i djurstallarna är ofta målade och färgen avgör till stor del reflektansen. Mätningarna visar värden mellan 0,25 – 0,60, där reflektansen är lägre för nedre delen av väggarna både pga smutsmängd men även att nedre delen av väggarna är målade med mörkare färg. Övre delen av innerväggarna hade i ett fall mycket hög reflektans (0,91).

Innertaket är ofta av ljus korrugerad plåt men kan också vara av träpanel. Plåttaken i de undersökta djurstallarna hade reflektans mellan 0,50 – 0,80. Både boxmellanväggar, innerväggar och innertak får högre reflektans efter tvättning. Reflektansen från en mjölkko (Holstein) mättes, där svart hårrem hade reflektansen 0,02 och vit hårrem 0,41.

Belysningsstyrkan i stallarna var lägst för slaktsvin och högre för ko och häst. Belysningsnivån 0,45 m över golvet uppgick till 61-75 lux för slaktsvin, 164 lux för digivande suggor, 120 resp. 154 lux för mjölkkor och 255 resp. 135 lux för häst. Tvättning av lampkupor förbättrade ljusstyrkan med 3-20 % beroende på stalltyp, mer för svinstallar än för övriga. Störst skillnad i ljusfördelning (kvoten mellan uppmätt belysningsstyrka och medelbelysningsstyrka) hade grisningsstallet medan övriga låg på ca 0,55- 1,55.

Belysningen i ett rum förändras med ljuskällans och armaturens ålder, nedsmutsning av armatur och ytor samt underhållsnivån. 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 belysningsstyrka. Skillnaden mellan uppmätt och beräknad belysningsstyrka var en faktor mellan 0,63 – 0,89. Genom att välja bibehållningsfaktor i Dialux kan effekten av ljuskällornas och armaturens ålder, nedsmutsningen av armaturer och ytor samt underhållsnivån korrigeras.

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. Boxmellanväggar har reflektans mellan 0,20 – 0,40 och innerväggar mellan 0,25 – 0,60. Innertak av korrugerad plåt har reflektans mellan 0,50 – 0,80.

Totala bibehållningsfaktorn bör sättas till värden mellan 0,60 – 0,85 i djurstallar för att erhålla korrekt belysningsstyrka vid beräkning i programmet Dialux. Lägre bibehållningsfaktor (0,60 – 0,70) i stallar som blir mycket nedsmutsade (exempelvis gris- och nötstallar) och högre bibehållningsfaktor (0,80 – 0,85) stallar som blir mindre smutsiga (exempelvis häststallar).

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

Delprojekt 2: ljusmiljön i kostall jämfört med hagmark

Synsinnet hos respektive djurarter är anpassat till den naturliga miljö som de en gång utvecklades i. Detta betyder att både själva ögat och den del av hjärnan som behandlar synintryck hos varje djurart har sina speciella egenskaper som gör att synen fungerar på bästa sätt under ljusförhållanden som liknar den miljö deras vilda förfäder levde i. Det finns goda skäl att misstänka att djurens välbefinnande, tillväxt, hälsa och produktion påverkas av ljusmiljön.

Analys av bildstatistik för utforskning av omvärldsmiljöer är en ny teknik som växt fram som en bas för kamerastyrd robotik. Med tekniken kan viktiga egenskaper i en visuell miljö identifieras. Bildstatistik ger möjligheter att både undersöka och förstå synsinnets egenskaper, men ännu har inte olika naturliga miljöer analyserats och karakteriserats med hjälp av modern bildstatistik. Att undersöka ljusmiljöns effekt på djur borde kunna möjliggöra en bättre anpassning av ljusmiljön i ett djurstall.

Syftet med delprojekt 2 var att undersöka om det är möjligt att utforma en ljusmiljö som bättre överensstämmer med djurens ursprungliga livsmiljö.

Metod

Ett analysprogram utvecklades för att kvantitativt kunna jämföra ljusfördelning och kontrastrikedom i olika miljöer. Rådata utgörs av bilder tagna med ett fisheye-objektiv med en bildvinkel på 180°. Varje bild innehåller således information om ljusfördelning och kontraster i olika riktningar. Med hjälp av ett stort antal bilder i varje miljö kan analysprogrammet beräkna medelvärden för den vertikala fördelningen ljus, färger, kontraster och färgkontraster.

Resultat

Mätningar i hagmark och stallmiljö uppvisar mycket stora skillnader. Stallmiljön utmärks av mindre total variation, mindre färger och en onaturlig fördelning av kontraster. Hagmarken karakteriseras av ett mörkt band längs horisonten (beroende på att träd och buskar linjeras upp längs horisonten), medan stallmiljön istället har ett ljust band vid horisonten (fönster).

Trots att mängden mätdata är begränsat visar resultaten på en uppenbar potential att med modern LED-belysning göra stallmiljöer betydligt mer naturliga och därmed skapa en möjlighet till ökat välbefinnande och minskad stress hos både djur och människor som befinner sig i miljön.

SUMMARY

Project part 1: lighting design in animal houses

The total energy consumption within the agricultural sector is estimated to be 3.7 TWh per year of which 1.1 TWh/year is electrical energy. The electrical energy consumed in stables for lighting use is approx. 10% with the exception of poultry which consumes somewhat more. Approximately 69-179 GWh is consumed for lighting in stables by different animal production.

Previous design guidelines for lighting was based on a specific amount of W/m^2 flooring area, which was defined for different flooring areas like animal feeding area, animal resting area and milking facility etc. The guidelines have shown to overestimate the energy use and to achieve recommended lighting intensity and light distribution, present computer based lighting design programmes (i.e. DiaLux) are based on room dimension data, wall material colour and structure combined with choice of electric fitting and source of light. The light sources are defined by both light flow and area of distribution to obtain an even light distribution where it is needed.

The lighting design programmes are not adapted for use in animal houses. There is no information on reflectance from specific materials used in animal houses like flooring, with and without straw and manure. Also there is no information regarding how the light source and the surface material reflectance are influenced by soiling.

The aim of project part 1 was to increase knowledge in how to design energy efficient lighting adapted to animal houses with the help of modern PC based light design programmes; obtain reflectance from specific surface materials for animal houses and investigate the importance of soiling; and compare calculated light intensity and distribution with measured values.

Method

During the winter of 2012-2013 the surface material reflectance were measured along with artificial lighting intensity in 6 animal buildings. The measurements were achieved by using a reference plate with known reflectance and a universal instrument for obtaining luminance, Hagner S4 Universal Photometer. The measurements were performed both before and after cleaning of the light globes and in two cases before and after stable cleaning. All fluorescent-lamp fittings were sealed without reflectors. The lighting intensity in the stables have been calculated in the PC based light design programme DiaLux (version 4.11) and calculated light intensity and light distribution have been compared with the measurement results.

Results

The floor reflectance of the animal houses is the lowest. Measured values are between 0.07 och 0.32. Wet, newly cleaned and soiled floors had lower reflectance (approx. 0.10) than dry floors outside the pen area (0.20 – 0.25). Moist-wet and soiled drained floors (concrete, metal) could have lower reflectance than 0.10. Straw on floor surfaces increase the reflectance to approx.0.30.

Pen dividing walls and fittings often have higher reflectance than the floors (0.20 – 0.40). The interior walls of animal houses are often painted and the chosen colour

decides to a high degree the reflectance. Measured values ranged between 0.25 – 0.60, where the lower reflectance belongs to the lower part of the wall, because of soiling but also because of the lower wall part is painted in a dark colour. The upper part of the interior wall had in one case a very high reflectance (0.91).

The ceiling is often made of light coloured corrugated metal sheet or wood panel. The metal sheet ceilings had a measured reflectance of 0.50 – 0.80. Both pen dividing walls, interior walls and ceiling received higher reflectance values after cleaning. The reflectance from a Holstein cow was measured where the black hair comb had a reflectance of 0.02 and the white hair comb had 0.41.

The lighting intensity was lowest in pig stables and higher for cattle and horse stables. The level of light intensity level at 0.45 m above the floor was 61-75 lx for the slaughter pig stables, 164 lx for the suckling pig stable, 120 and 154 lx respectively for dairy cow stables and 255 and 135 lx respectively for the horse stables. Cleaning the light globes increased the light intensity by 3-20% depending on type of stable, more in pig stables than for the others. The largest difference in light distribution (quota between measured and average light intensity value) was found in the suckling pig stable while the others ranged between 0.55-1.55.

The lighting of a room changes with the ageing of the electric fitting, soiling of the fitting and the surface areas and the level of maintenance. Calculations in the light design programme DiaLux are carried out with a maintenance factor of 1.0 along with measured values of reflectance for cleaned surface areas. For all buildings the calculated lighting intensity was higher than the measured. The difference between the measured and the calculated light intensity, expressed as a factor, was between 0.63-0.89. By choosing the level of the maintenance factor in DiaLux, the age effect of light source and electric fittings, soiling of fittings and surface areas along with the level of maintenance could be revised.

Conclusions

The light design programme DiaLux is a good aid in calculating light intensity in animal houses to obtain a more energy efficient and accurate lighting design. The reflectance from floor surface areas in animal houses varied between 0.07 och 0.32 which depends on degree of soiling and wetness, type of floor and degree of straw. The pen dividing walls had a reflectance of 0.20 – 0.40 and the interior walls 0.25 – 0.60. The metal sheet ceilings had a measured reflectance of 0.50 – 0.80.

The total maintenance factor (including electric fitting, soiling of the fitting and the surface areas and the level of maintenance) should be set to 0.60-0.85 in animal houses to receive correct lighting intensity in using DiaLux. A lower preservation factor (0.60 – 0.70) should be chosen in stables with a higher degree of soiling (i.e. pig and cattle) and a higher factor (0.80 – 0.85) for stables with a lower degree of soiling (horses).

The calculations in DiaLux showed a light distribution of $\pm 15\%$ compared to measured values. The design of interior fittings and how it's drawn in DiaLux can affect the light distribution in the stable. To obtain more accurate DiaLux calculations a standardized drawing procedure should be introduced on all interior fittings that can affect light intensity and light distribution.

Project part 2: comparison between light environment in cattle house and on pasture

The faculty of vision in animal species are adapted to the natural environment where they ones were developed in. This means that both the eye itself and the part of the brain that treat visual impressions in each animal has it's specific qualities that makes the vision function in the best way under light conditions that are similar to the environment in which their wild ancestors once lived in. There are god reasons to believe that animal wellbeing, growth, health and production is affected by the light environment.

Analysis of picture processing statistics for exploration of surrounding environment is a new technic that has developed as a base for camera guided robotics. With the technic important qualities in the visual environment can be identified. Picture processing statistics offers both the possibility of investigate and understand the vision qualities, but so far has no natural environments been analysed and characterized by modern picture processing statistics. Investigating the light environment effect on animals should make it possible to make a better adaption of the light environment for animals in animal houses.

The aim of project part 2 was to investigate if it was possible to design a light environment in animal house for cattle that agrees better with the original environment of the animals.

Method

An analysing program was developed for quantified assessment of different light distributions and contrast variety in different environments. Raw data was obtained through pictures taken by a fisheye-objective with a picture angle of 180°. Accordingly each picture contains information of light distribution and contrast in various directions. With a large set of pictures taken from each environment, the analysing program is able to calculate means of the vertical light distribution, colour, contrasts and colour contrasts.

Results

The measurements in pasture and stable environment showed very large differences. The stable environment was characterised by a smaller total variation, less colour and an unnatural distribution of contrasts. The pasture environment was characterised by a dark band along the horizon (depending on that trees and bushes are lined up along the horizon), whereas the stable environment had a bright band along the horizon (windows) instead.

In spite of the limited amount of data, the results show that there is an evident potential of creating a stable environment with LED-lighting technique that is much more natural and with that a possibility to create more wellbeing and less stress in both animals and humans existing in that environment.

DEL 1, DIMENSIONERING AV BELYSNING I DJURSTALLAR

Bakgrund

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). Genom att använda data från Hörndahl (2007) kan man uppskatta att 69-179 GWh av elenergin förbrukas till belysning i stallar för olika djurslag (tabell 1).

Tabell 1. Antal djur i Sverige 2012 och elektrisk energi använd till belysning.

	Antal djur (SCB, 2012)	Belysning kWh/djur, år ¹	Energi till belysning GWh/år
Mjölkkor	348 000	100 - 250	35 – 87
Övriga nöt	1 152 000	5 - 50	6 – 58
Värphöns	6 735 000	1,5 – 2,4	10 – 16
Suggor	140 000	130 ²	18
		Summa	69 - 179

1) Enligt Hörndahl, 2007.

2) Energianvändningen för hela produktionen är omräknad och relaterad till suggor i produktion (SIP)

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 ett företag med 100 mjölkkor kan besparingen av elenergi innebära 10 000 – 25 000 kr lägre elkostnad per år vid ett energipris på 1 kr/kWh.

Det finns rekommendationer för hur belysningen ska ordnas så att människor får en god arbetsmiljö. Dessa bygger på önskad belysningsstyrka (lux) på arbetsytan eller i lokalen samt att bländning ska minimeras. Man har även krav på färgåtergivning (SS-EN12 464). Arbetsmiljöverkets föreskrifter anger endast att ljusstyrka och färgåtergivning måste vara lämplig för arbetsuppgiften och att varningsskyltar, nödstoppdon etc. måste vara lätta att uppfatta (AFS 2009:2).

Jordbruksverkets Föreskrifter (SJVFS 2010:15) anger endast i generella termer djurens behov av dagsljus samt utformning av dag- och nattbelysning. Teknisk specifikation för ekonomibyggnader (SIS-TS 37:2012) anger riktvärden för belysningsstyrka (lux) och ungefärligt effektbehov för lysrör. Riktvärdena är nära det som anges i Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2009:2) och Svensk Standard (SS-EN 12 464-1).

När det gäller projektering av belysning för lantbrukets byggnader utgår man från ovanstående rekommendationer. Dock används sällan en belysningskonsult vid

projektering för dessa byggnader utan man utgår från äldre riktvärden (Sundahl, 1977) på installerad effekt i förhållande till golvytans storlek (W/m^2).

Om installationen sker enligt Sundahls (1977) värden kommer högre ljusintensitet än avsett att erhållas, då belysningseffektiviteten (lm/W) är högre med moderna lysrör och driftsdon än med de äldre som rekommendationerna baseras på. Följaktligen installeras onödigt hög effekt, vilket leder till högre kostnader både för installation och drift vilket styrks av studier av belysning i mjölkstallar (Jørgensen, 2006; Haraldsson & Henrysson, 2011). Studierna visar att endast 1 av 14 stall inte uppnådde belysningsnivåer på 100 lux. Övriga hade medelvärden på 300-500 lux.

För att uppnå de rekommenderade värdena för belysningsstyrka använder specialister på belysning idag dimensioneringsprogram av typen Dialux (Dial, 2010) 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 & Mattsson, 1980).

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.

Datorprogram för dimensionering av belysning

Det finns ett antal olika datorprogram för dimensionering av belysning. De flesta ger möjlighet att visualisera dvs. skapa en bild av rummet som ger en uppfattning av belysningen. Beräkningsprogrammen använder olika modeller för sina beräkningar vilket påverkar resultaten (Wall, 2009). Tre program som har stor utbredning är Dialux, Relux och Radiance.

Dialux är utvecklat av det tyska företaget Dial GmbH. Programmet och utvecklingen av nya versioner bekostas av ett stort antal tillverkare av belysningsarmaturer. Dessa företag tillhandahåller datafiler via internet med data över deras produkter. Dialux är ett omfattande program för beräkning av inomhus-, utomhus- eller trafikbelysning. Dialux Light innehåller guider som gör att den som är ovan vid programmet lätt kommer fram till en lösning.

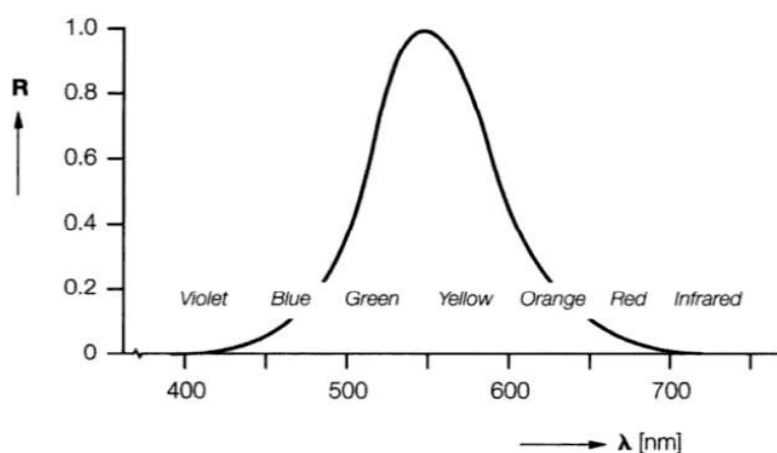
Relux utvecklas av det schweiziska företaget Relux Informatik AG. Programmet bekostas till viss del av ett antal medlemmar eller tillverkare av belysningsarmaturer men alla applikationer är inte gratis. Datafiler tillhandahålls av tillverkarna via internet. Även detta program omfattar inomhus-, utomhus samt trafikbelysning. Vid

inomhusberäkningar kan man beräkna både artificiell belysning och dagsljus. Modellen kan placeras på olika orter med angivande av longitud och latitud men även roteras i olika riktningar i markplanet.

Radiance består av ett antal program för analys och visualisering av belysning utan begränsningar för geometri och material som kan simuleras. Programmen kan simulera artificiell belysning, dagsljus och ljusintensitet i en skalenligt uppbyggd modell av ett utrymme såväl inomhus som utomhus. Modellen kan placeras på olika orter med angivande av longitud och latitud men även roteras i olika riktningar i markplanet. Simuleringen tar hänsyn till årstid, klockslag, markförhållanden (yttre reflektans), moln/solförekomst såväl som invändigt valda materials färg, ytråhet och reflektans.

LITTERATUR OCH TEORI

Ljus är en typ av elektromagnetisk strålning. Det synliga spektrumet är det våglängdsområde av den elektromagnetiska strålningen som människans öga kan uppfatta. Normalt är synligt ljus våglängder från ca 400 nm (nanometer) till ca 700 nm, men hos enskilda personer kan det vara våglängder mellan 380 och 780 nm (Starby, 2006). Commission Internationale de L'Éclairage (CIE) har fastlagt en standard för hur en normal observatör uppfattar ljus.



Figur 1. Standardkurva för hur en normal observatör uppfattar ljus. R= relativ känslighet, λ = våglängd. (Narisada & Schreuder, 2004)

En artificiell ljuskälla (exempelvis ett lysrör) avger en viss ljusmängd per tidsenhet vilket kallas ljusflöde. Enheten för ljusflöde är lumen (lm) och för ljusmängd lumensekund (lms). Ljusstyrka är ljusets intensitet från en ljuskälla i en viss riktning och mäts i enheten candela (cd). Luminans är en ytas ljusstyrka per ytenhet i en viss riktning och anges i candela per kvadratmeter (cd/m^2). Belysningsstyrka anger det ljusflöde som faller mot en yta per areaenhet. Enheten för belysningsstyrka är lux (lm/m^2).

Reflektans för olika byggnadsytor

I ett rum (exempelvis ett djurstall) reflekteras ljuset i tak-, vägg- och golvytor men även i andra ytor i stallet exempelvis inredning och utfodringsautomater. Alla ytor reflekterar ljus. Reflektion innebär att ljusflödet som träffar ytan återkastas från ytan. Om ytan är blank (polerad) blir reflektionen spekulär (riktad), exempelvis reflektion i en spegel. I en ojämn (matt, opolerad) yta blir reflektionen diffus. En ideal diffust reflekterande yta har samma luminans oberoende av betraktelseriktning. Från de flesta ytor är reflektionen både spekulär och diffus. Reflektans (ρ) är förhållandet mellan det ljusflöde som reflekteras från en yta och det ljusflöde som träffar ytan. Reflektansfaktorn är reflektansen uttryckt i procent. För en svart yta är reflektansen nära 0,0 och för en vit yta nära 1,0 (se figur 2).



Figur 2. För en svart yta är reflektansen nära 0,0 och för en vit yta nära 1,0.

En yta (ett material) har varierande reflektans för olika våglängder av ljuset. Detta kallas reflektansspektra. Att en yta har en viss färg beror på att ytan reflekterar vissa våglängder av ljuset olika starkt. Detta gör också att ett material med olika färg kan ha olika reflektanser för synligt ljus. I tabell 1 finns exempel på reflektans för olika material och färger. En ytas reflektans beror också på vilken våglängd av elektromagnetisk strålning som faller mot ytan. Dagsljus eller direkt solljus ger alltså en annan reflektans än synligt ljus. Ett annat uttryck för solljusets reflektans är albedo.

Reflektansen från ett material kan också bero på den riktning som infallande ljus träffar ytan samt den riktning från ytan som det reflekterande ljuset har. Detta kallas bi-direktionella reflektans-distributionsfunktionen (BRDF). Genom att mäta BRDF för en yta kan ytans ljusspridningsegenskaper karakteriseras. För en ideal diffust reflekterande yta är BRDF en konstant (Dana et al., 1996).

Tabell 1. Exempel på reflektansen för olika material och färger (Dialux 4.11)

Material	Reflektans	Färg	Reflektans
Metall	0,80	Ren vit	0,86
Gips, puts	0,78	Citrongul	0,49
Trä (ljust)	0,52	Ljusgrön	0,44
Murbruk, kalkbruk	0,47	Ljusblå	0,23
Betong, cement	0,27	Cementgrå	0,24
Tegel	0,20	Lerbrun	0,13
Trä (mörkt)	0,15	Djup svart	0,04

Vid ljusberäkningar av ett rum krävs i många fall uppgift på reflektanserna för tak, väggar och golv. Om de exakta värdena inte mäts upp anger Ljusamallen (2013) att följande reflektanser kan användas i beräkningen (tak/vägg/golv):

Lokal	Reflektanser för tak / vägg / golv, enligt Ljusamallen (2013)
Kontor	0,80 / 0,60 / 0,30
Industri	0,50 / 0,30 / 0,20
Teknikutrymmen	0,50 / 0,30 / 0,20
Allmänna utrymmen	0,80 / 0,60 / 0,30.

I en arbetslokal påverkar luminansfördelningen lokalens belysningsmiljö. Luminansfördelningen i synfältet bestämmer ögonens adaptationsnivå vilket påverkar arbetsuppgiftens synbarhet men också hur stimulerande arbetsmiljön är. Luminanserna på alla ytor är viktiga och bestäms av reflektansen och belysningsstyrkan på ytorna. Lämpliga reflektansområden för de viktigaste inre ytorna i en arbetslokal är: (SS-EN 12464-1).

- tak	0,6 - 0,9
- väggar	0,3 - 0,8
- arbetsytor	0,2 - 0,6
- golv	0,1 - 0,5

Bibehållningsfaktor

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. Fyra delfaktorer beskriver bibehållningsfaktorn; ljuskällans bibehållningsfaktor, ljusarmaturens bibehållningsfaktor, ljuskällans mortalitetsfaktor och rumsytornas bibehållningsfaktor enligt ekvation 1 (Belysningsplanering, 2011);

$$\text{Bibehållningsfaktorn} = \text{LLMF} \times \text{LMF} \times \text{LSF} \times \text{RSMF} \quad (1)$$

där

LLMF = Ljuskällans bibehållningsfaktor (lamp lumen maintenance factor) och definieras som kvoten mellan ljusflödet från en ljuskälla vid en given tidpunkt under dess liv och det initiala ljusflödet.

LMF = Ljusarmaturens bibehållningsfaktor (lamp maintenance factor) och definieras som kvoten mellan driftverkningsgraden för en armatur vid en given tidpunkt och den initiala driftverkningsgraden.

LSF = Ljuskällans mortalitetsfaktor (lamp survival factor) är andelen av det totala antalet ljuskällor som fortfarande fungerar vid en given tidpunkt under definierade förhållanden och tändningsfrekvens.

RSMF = Rumsytornas bibehållningsfaktor (room surface maintenance factor) definieras som kvoten mellan rumsytornas reflektans vid en given tidpunkt och deras initiala reflektans.

Enligt Ljusamallen (2013) kan värden på bibehållningsfaktorn tas från tabell 2 vid ljusberäkningar av typiska lokaler. Värdena i tabellen förutsätter att släcknade ljuskällor byts. Någon bibehållningsfaktor för lantbruksbyggnader finns inte i litteraturen.

Tabell 2. Bibehållningsfaktor för olika ljuskällor i typiska lokaler (Ljusamallen, 2013)

Lokal	Bibehållningsfaktor för olika ljuskällor i typiska lokaler			
	Raka lysrör med spärnskikt för låg ljusnedgång och högnatriumlampor	Övriga lysrör, kompaktlysror och nyare metallhalogenlampor ¹⁾	Metallhalogenlampor ²⁾	LED-moduler utan konstantljusfunktion ³⁾
Kontor	0,85	0,80	0,65	0,80
Skola	0,85	0,80	0,65	0,80
Hotell	0,85	0,80	0,65	0,80
Restaurant	0,85	0,80	0,65	0,80
Sjukhus	0,85	0,80	0,65	0,80
Butik	0,85	0,80	0,65	0,80
Stormarknad	0,80	0,75	0,60	0,75
Sporthall	0,80	0,75	0,60	0,75
Industri	0,80	0,75	0,60	0,75

¹⁾ Med nyare metallhalogenlampor avses de lampor med keramiska brännare som har en ljusnedgång i paritet med bra kompaktlysror

²⁾ I gruppen inkluderas övriga metallhalogenlampor med keramiska brännare eller brännare av kvartsglas

³⁾ LED-modulers livslängd är ofta relaterade till 70 % bibehållet ljusflöde. Tabellen är byggd på ett bibehållet ljusflöde från ljuskällan, LLMF, av 80 %.

Ljusamallen (2013) anger också värden för ljusarmaturens och ljuskällans bibehållningsfaktorer (tabell 3 och 4).

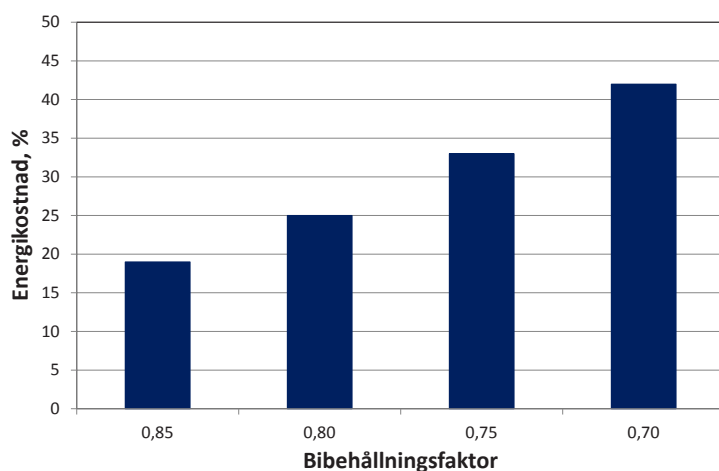
Tabell 3. Ljusarmaturens bibehållningsfaktor (LMF) som motsvarar nedsmutsning av armatur med hänsyn tagen till armaturtyp, omgivningen och rengöringsintervall (Ljusamallen, 2013)

Antal år mellan rengöringarna	2,0		3,0		4,0		5,0	
	Omgivning		Omgivning		Omgivning		Omgivning	
	ren	smutsig	ren	smutsig	ren	smutsig	ren	smutsig
Öppen armatur	0,96	0,85	0,94	0,77	0,92	0,72	0,90	0,66
Sluten armatur	0,98	0,87	0,96	0,84	0,94	0,78	0,92	0,71
Uppljusarmatur	0,91	0,68	0,84	0,54	0,77	0,40	0,71	0,29

Tabell 4. Ljuskällans bibehållningsfaktor (LLMF) vid LSF 90% (Ljusamallen, 2013)

Exempel på ljuskällor	LLMF vid LSF 90%
Raka lysrör med spärrskikt för låg ljusnedgång och högnatriumlampor	0,90
Övriga lysrör, kompaktlysror och bästa metallhalogenlampor	0,85
Metallhalogenlampor övriga	0,75
LED	0,85

Vid projekteringen av belysningsanläggningen kan valet av bibehållningsfaktor påverka energikostnaden (Planeringsguiden, 2013). Om man vid planeringen av belysningen väljer för låg bibehållningsfaktor överdimensioneras belysningsstyrkan i rummet och energikostnaden ökar (figur 3).



Figur 3. Valet av bibehållningsfaktor kan öka energikostnaden (efter Planeringsguiden, 2013)

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.

Beskrivning av byggnaderna

Byggnaderna där mätningarna genomförts beskrivs i tabell 5. 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. Figur 4 visar interiörer från respektive stall.

Tabell 5. 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 CorriasionForce / PM II ^{b)}	Golv: betong Dränerande golv: gjutjärn (brun) Väggar: betongelement (ljusgul) Innertak: korrugerad plåt (vit) Inredning: fibercement (ljusgul)	ca 10 år
C) Mjölkostall	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 Ramkonstruktion: galvaniserat stål Innertak: korrugerad plåt (vit) Inredning: plywood (brun) + galv. järnrör	ca 5 år
D) Mjölkostall	150 mjölkkor + kalvar	48,0 x 27,7 x 3,0 Till taknock: 10,0 m	48 st 2 x 58 W Electroskandia Hjelpstarmatur 258 Akryl ^{a,b)}	Golv: betong Dränerande golv: betongspalt Ramkonstruktion: 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)	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 CorriasionForce / PM II ^{b)}	Golv: betong (halm) Väggar: putsad (grå + vit) Innertak: trä (vit) Inredning: trä (brun)	ca 12 år ^{c)}

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



Figur 4. Interiörer från byggnaderna där belysningsmätningar utförts.

Mätmetoder

Reflektans

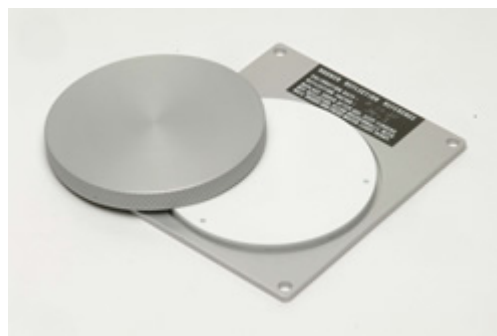
Reflektansmätningar har utförts för de mest dominerande byggnadsytorna i byggnaderna. Mätningarna har utförts med hjälp av en referensskiva med känd reflektans ($\rho_{ref} = 0.969$) samt ett universalinstrument för mätning av luminans, Hagner S4 Universal Photometer (se figurerna 5 och 6). Enligt Hagner (2013) överensstämmer instrumentets känslighet för olika våglängder av synbart ljus väl med människans känslighet (se figur 1). Reflektansen har bestämts genom att mäta luminansen från referensskivan samt från bakomliggande yta samt att beräkna reflektansen enligt ekvation 2:

$$\rho_{yta} = \frac{\rho_{ref} \cdot L_{yta}}{L_{ref}} \quad (2)$$

där ρ_{yta} är ytans reflektans; ρ_{ref} är referensskivans reflektans; L_{yta} är luminansen från ytan (cd/m^2) och L_{ref} är luminansen från referensskivan (cd/m^2).



Figur 5. Hagner S4 Universal Photometer (Bild: www.hagner.se).



Figur 6. Referensskiva för reflektansmätningar (Bild: www.hagner.se).

Mätningarna för samma yta i stallet har i de flesta fall repeterats på minst fem olika platser för att erhålla ett sannolikt medelvärde och standardavvikelse för ytan.

Belysningsstyrka och ljusfördelning

Vid karakterisering av lysrör så sker första mätningen efter 100 h inbränning, d v s den minskning som sker där är inte inräknad i lysrörets nominella ljusflöde. Enligt Starby (2006) sjunker ljusflödet från lysrör med 10-15% under de första 100 timmarna i drift. Före mätningarna av belysningsstyrkan i byggnaderna har lysrören utbytt mot nya lysrör som varit tända ca 100 timmar. För att bestämma belysningsstyrka (illuminans) och ljusfördelning i försöksstallarna har hela eller delar av stallet 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". Mätpunkternas placering i djurstallarna finns i bilaga A.

En ljusmätare, Hagner Screenmaster, som placerats på ett stativ med reglerbar höjd har använts för mätning av belysningsstyrkan (figur 7). Instrumentet har samma känslighet för olika våglängder av synbart ljus som människan (Hagner, 2013).



(Bild: www.hagner.se)

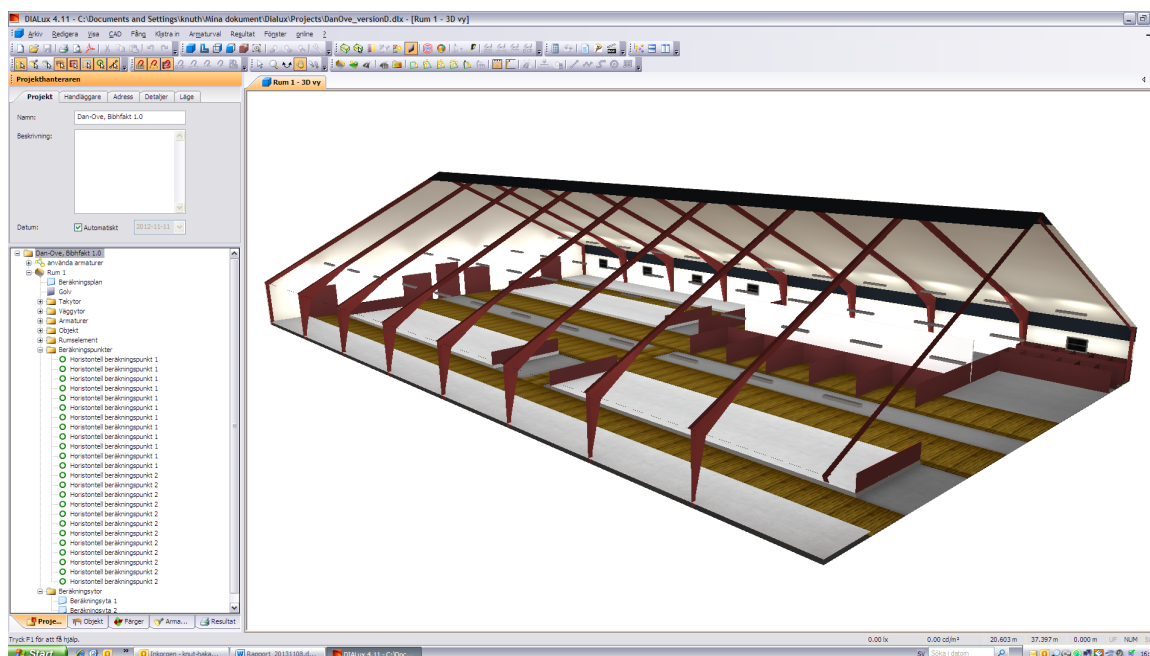
Figur 7. Stativ med ljusmätare, Screenmaster, för mätning av belysningsstyrka vid 0,85 respektive 0,45 m över golvnivå.

Ljusfördelning för respektive nivå över golvet har beräknats som kvoten mellan uppmätt belysningsstyrka och medelbelysningsstyrka för samtliga mätpunkter vid respektive nivå.

Databeräkningar i Dialux

Beräkningar av belysningsstyrka för försöksstallarna har utförts i datorprogrammet Dialux (version 4.11). En 3D ritning över respektive försöksstall har ritats in i Dialux där ytornas reflektans har angetts enligt uppmätta värden i stallarna (se figur 8 samt bilaga A). 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.

Beräkningarna är utförda med bibehållningsfaktorn 1,0 (nybyggnadsvärde) samt med medelvärden av uppmätta reflektanser. Jämförelser mellan uppmätt och beräknad belysningsstyrka har använts för att uppskatta en faktisk bibehållningsfaktor. Som kontroll av bibehållningsfaktorn utfördes även en beräkning vid maximal reflektanser.



Figur 8. Exempel på 3D ritning av mjölkstall (D) för belysningsberäkning med datorprogrammet Dialux.

RESULTAT

Reflektans

Resultaten från reflektansmätningarna är presenterade i tabellerna 6 till 9. Mätningarna i slaktgrisstallarna (A) och grisionsstallet (B) utfördes både före och efter tvättning av stallet utan djur. Samtliga golvytor var obehandlade i slaktgrisstallarna (A). 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 nystroat golv (se tabell 6).

Tabell 6. Uppmätta reflektanser i ett ca 2 år gammalt slaktgrisstall (A). Mätningar utförda före och efter tvättning av stallet utan djur.

Yta	Reflektanser		
	Medelvärde	Std av	N ¹⁾
Betonggolv i slaktgrisbox			
tvättat, fuktigt	0,11	0,05	12
smutsigt av gödsel	0,10	0,04	10
utan strö	0,14	0,01	5
lite strö	0,30	0,06	10
mycket strö	0,24	0,04	10
nystroat	0,32	0,06	5
Betongspalt i slaktgrisbox			
tvättad, fuktig	0,07	0,03	14
smutsigt av gödsel	0,09	0,03	10
Betonggolv utanför slaktgrisbox			
tvättat, fuktigt	0,11	0,05	12
otvättat	0,19	0,07	5
Inredning, grå plast			
tvättad	0,32	0,01	20
mindre smutsig	0,30	0,01	10
mycket smutsig	0,22	0,03	10
Innerväggar, gul plywood			
tvättad	0,52	0,04	10
otvättad (dammig)	0,40	0,02	5
Innertak, vit korrugerad plåt			
tvättat	0,80	0,05	10
otvättat	0,65	0,14	10

¹⁾ N = antal mätningar

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 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. Standardavvikelserna är små, 0,01 – 0,07, för alla material utom för mätningen av det otvättade innertaket.

Betonggolven i grisningsstallet (B) var också obehandlade. Det dränerande golvet var av brun metallspalt och hade lägre reflektans än betonggolvet, 0,06 – 0,10 jämfört med 0,17 – 0,19. Boxmellanväggarna var 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 på 0,52 – 0,57. Standardavvikelsen för mätningarna var mellan 0,01 – 0,09 (se tabell 7).

Reflektanserna i de båda mjölkkostallarna (C och D) redovisas i tabell 8. 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.

Tabell 7. Uppmätta reflektanser i ett ca 10 år gammalt grisningsstall (B). Mätningar utförda före och efter tvättning av stallet utan djur.

Yta	Reflektanser		
	Medelvärde	Std av	N ¹⁾
Betonggolv i grisningsbox			
tvättat	0,17	0,01	6
otvättat	0,19	0,07	6
Dränerande golv, brun metallspalt			
tvättat	0,06	0,01	6
otvättat	0,10	0,03	6
Boxvägg, gulmålad fibercementskiva			
tvättad	0,29	0,09	12
otvättad	0,35	0,06	12
Innervägg, gulmålad puts			
tvättad	0,24	0,01	6
otvättad	0,27	0,01	6
Innertak, vit korrugerad plåt			
otvättad	0,57	0,01	6
tvättad	0,52	0,05	6

¹⁾ N = antal mätningar

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. Standardavvikelsen var mellan 0,01 och 0,07.

I ett av mjölkstallarna 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 (tabell 9). 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.

Tabell 8. Reflektanser uppmätta i två mjölkstallar (C och D), ca 5 respektive ca 10 år gamla med djur. Stallarna var ej tvättade vid mätningarna.

Yta	Reflektanser			Stall
	Medelvärde	Std av	N ¹⁾	
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 gummimatta	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
Ramkonstruktion				
grå	0,34	0,05	2	C
Innertak, korrugerad plåt				
gråvit	0,70	0,04	5	C
gulvit	0,52	0,07	5	D

¹⁾ N = antal mätningar

Tabell 9. Reflektanser uppmätta i två häststallar (E och F) utan djur, varav ett ca 15 år gammalt och tvättat samt det andra ommålat för ca 3 år sedan och ej tvättat.

Yta	Reflektanser			Stall
	Medelvärde	Std av	N ¹⁾	
Betonggolv				
boxgolv	0,07	0,01	5	E
gång	0,11	0,002	5	E
halm	0,27	0,02	5	F
Boxmellanvägg				
trä, betsat i mörkbrun nyans	0,03	0,004	5	E
teak	0,15	0,04	5	F
plast, mörkgrå	0,08	0,01	5	F
Innervägg, nedre del mot box				
grå	0,28	0,01	5	E
ljusgrå	0,57	0,001	5	F
Innervägg, över boxnivå				
vit	0,51	0,006	5	E
vit	0,94	0,02	5	F
Port				
plywood, svartbrun, tvättad	0,02	0,004	5	E

¹⁾ N = antal mätningar

Belysningsstyrka och ljusfördelning

Resultaten från mätningarna av belysningsstyrkan i de båda slaktgrisstallarna (A) redovisas i tabell 10. Fyra mätserier genomfördes i båda stallarna 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 högre belysningsstyrka när kuporna är tvättade. Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta värde var 50-60 lux och ljusfördelningen var mellan 0,65-1,59.

Tabell 11 visar uppmätt belysningsstyrka i grisningsstallet (stall B). Mätningar 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.

Tabell 10. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för slaktgrisstallarna (A).

Nivå/ Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)								Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾ (lux)
	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	A	A	B	B	C	C	D	D	A	A	
0,85 m											
1	54	52	66	59	64	57	68	62	0,78	0,69	123
2	47	52	52	51	46	47	47	46	0,67	0,69	57
3	111	105	118	115	124	113	128	116	1,59	1,39	143
4	54	64	62	68	56	61	63	62	0,78	0,85	74
5	99	112	106	118	101	113	104	114	1,42	1,48	122
6	53	68	57	70	58	60	61	63	0,76	0,90	76
Medel	70	75	77	80	75	75	78	77			100
0,45 m											
1	40	47	54	80	48	55	51	59	0,65	0,69	104
2	41	45	46	45	45	47	47	49	0,67	0,66	55
3	91	90	106	91	112	95	116	100	1,48	1,33	121
4	55	57	59	58	61	60	62	63	0,90	0,84	72
5	87	104	92	114	98	109	102	113	1,42	1,54	111
6	54	64	56	64	60	60	64	68	0,88	0,94	80
Medel	61	68	69	75	71	71	74	75			91

A: Otvättat stall/otvättade kupor

B: Otvättat stall/tvättade kupor

C: Tvättat stall/otvättade kupor

D: Tvättat stall/tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för tvättade ytor

Efter tvätt av stall och kupor var medeltalet för belysningsstyrkan ca 20 % högre, 176 respektive 164 lux. Skillnaden mellan högsta och lägsta belysningsstyrka var 300-400 lux och ljusfördelningen var mellan 0,37-1,95.

Tabell 11. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för grisningsstallet (stall B).

Nivå/ Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)				Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾	
	A		B		A		(lux)	
	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45
1	76	80	95	97	0,53	0,59	134	137
2	158	150	187	183	1,10	1,11	254	230
3	282	252	342	300	1,95	1,86	380	347
4	175	165	221	206	1,21	1,22	253	229
5	78	83	107	109	0,54	0,61	132	135
6	53	54	64	64	0,37	0,40	81	88
7	110	55	130	62	0,76	0,41	121	124
8	150	174	173	199	1,04	1,28	220	248
9	118	71	137	74	0,82	0,52	121	123
10	54	56	65	65	0,37	0,42	79	86
11	101	107	115	119	0,70	0,79	152	158
12	243	215	270	240	1,68	1,59	332	284
13	421	353	451	382	2,92	2,61	525	434
14	254	224	282	249	1,76	1,65	331	284
15	100	102	121	124	0,69	0,75	150	155
16	63	75	86	102	0,44	0,56	121	103
17	107	113	163	172	0,74	0,84	196	161
18	156	169	243	231	1,08	1,25	276	285
19	119	131	171	180	0,82	0,97	196	160
20	68	80	97	114	0,47	0,59	119	101
Medel	144	135	176	164			212	196

A: Otvättat stall/otvättade kupor

B: Tvättat stall/tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för tvättade ytor

Belysningsstyrkan var i medeltal 119 lux på nivån 0,85 m över golvet i det första mjölkkestallet (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.

Tabell 12. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för mjölkkestall C.

Nivå/ Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)				Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾	
	A		B		A		(lux)	
	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45
1	80	82	84	86	0,68	0,74	112	108
2	62	64	70	71	0,53	0,58	104	103
3	75	78	84	86	0,63	0,71	114	113
4	144	127	155	138	1,21	1,15	194	178
5	88	92	99	102	0,74	0,84	141	144
6	132	114	144	131	1,11	1,04	198	184
7	198	165	207	171	1,66	1,50	264	227
8	114	114	123	125	0,96	1,03	175	174
9	188	161	200	166	1,58	1,46	274	238
10	97	94	110	106	0,82	0,85	154	158
11	130	122	146	136	1,09	1,11	195	190
Medel	119	110	129	120			175	165

A: Otvättat stall/otvättade kupor

B: Otvättat stall/tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för otvättade ytor

Skillnaden mellan högsta och lägsta belysningsstyrka var 100-140 lux. Samtliga mätresultat visas i tabell 12. Ljusfördelningen var mellan 0,53-1,66.

Mätningarna i det andra mjölkkestallet (stall D) visade något högre belysningsstyrka (tabell 13). 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 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 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 för provytan var 180-210 lux för 0,85 m över golvet och 120-135 lux för 0,45 m över golvet. Ljusfördelningen var mellan 0,55-1,54.

Tabell 13. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för mjölkkestall D.

Nivå/ Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)				Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾	
	A		B		A		(lux)	
	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45
1	101	105	108	114	0,63	0,68	126	127
2	171	155	179	163	1,07	1,01	204	183
3	165	178	178	185	1,03	1,16	241	227
4	203	193	213	203	1,27	1,26	266	246
5	144	137	146	133	0,90	0,89	165	167
6	123	112	139	128	0,77	0,73	151	153
7	155	148	158	158	0,97	0,96	216	200
8	174	185	180	196	1,09	1,20	270	260
9	174	148	180	156	1,09	0,97	226	223
10	136	123	147	132	0,85	0,80	182	173
11	186	197	196	201	1,17	1,28	296	281
12	186	167	191	162	1,17	1,08	243	239
Medel	160	154	168	161			216	207

a: Otvättat stall/otvättade kupor

b: Otvättat stall/tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för tvättade ytor

Tabell 14. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för häststall E.

Nivå/ Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)		Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾	
	A		A		(lux)	
	0,85	0,45	0,85	0,45	0,85	0,45
1	201	183	0,71	0,72	220	209
2	302	274	1,07	1,07	340	301
3	233	209	0,83	0,82	241	223
4	252	226	0,90	0,89	283	251
5	439	402	1,56	1,57	460	418
6	260	238	0,92	0,93	298	270
Medel	281	255			307	279

A: Tvättat stall/Tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för tvättade ytor

Tabell 15. Uppmätt belysningsstyrka och ljusfördelning samt Dialux-beräkning för häststall F

Mätpunkt	Belysningsstyrka (lux)				Ljusfördelning		Dialux (1,0) ¹⁾	
	A		B		A		(lux)	
	Nivå 0,85	0,45	Nivå 0,85	0,45	Nivå 0,85	0,45	0,85	0,45
1	116	108	120	115	0,64	0,71	137	127
2	176	153	190	165	0,97	1,01	206	178
3	248	195	248	201	1,36	1,29	281	243
4	281	218	311	237	1,54	1,44	296	231
5	207	171	185	224	1,14	1,13	240	192
6	128	103	143	129	0,70	0,68	149	144
7	101	98	104	102	0,55	0,65	130	126
8	163	143	172	152	0,90	0,94	198	155
9	218	175	217	182	1,20	1,15	216	175
Medel	182	152	188	167			206	175

A: Otvättat stall/otvättade kupor

B: Otvättat stall/tvättade kupor

¹⁾ Beräkning av belysningsstyrka i Dialux med bibehållningsfaktor 1,0 samt uppmätta reflektansvärden för otvättade ytor

Databeräkningar i Dialux

Resultaten från beräkningarna av belysningsstyrka med programmet Dialux presenteras i tabellerna 10-15. Beräkningarna är utförda med bibehållningsfaktorn 1,0 (nybyggnadsvärde) samt med medelvärden av uppmätta reflektanser som för stall A, B och E var för tvättade byggnadsytor. Den beräknade belysningsstyrkan är för samtliga byggnader högre än uppmätt belysningsstyrkan. Skillnaden mellan uppmätt och beräknad belysningsstyrka är mellan 9 – 33 %. I bilaga A visas 3D-ritningarna på djurstallarna i Dialux.

DISKUSSION

Reflektansen för ytmaterial i djurstallar

Golven har lägst reflektans i djurstallarna. Värden som har mätts upp ligger mellan 0,07 och 0,32. Enligt Levinson & Akbari (2001) har fuktiga betongytor lägre albedo än torra betongytor. Samma sak observeras i djurstallarna där fuktiga, nyligen tvättade och smutsiga golv har lägre reflektans (ca 0,10) än torra golvytor utanför boxarna (0,20-0,25). Fuktiga och smutsiga dränerande golv (betong, metall) kan ha lägre reflektans än 0,10. Strömedel på golv ökar reflektansen till ca 0,30. Dränerande golv (betong, metall) har låga reflektanser (0,07-0,09).

Boxmellanväggar och inredning har ofta högre reflektans än golven och har reflektans mellan 0,20 – 0,40. Undantag är mörkt trä och plastdetaljer i häststallar där reflektansen kan ligga kring 0,05-0,15.

Innerväggar i djurstallarna är ofta målade och nyansen avgör till stor del reflektansen. Mätningarna visar värden mellan 0,25 – 0,60. Ofta är reflektansen lägre för nedre delen av väggarna både pga. smutsmängd men även att nedre delen av väggarna är målade med mörkare färg. Övre delen av innerväggarna hade i ett fall mycket hög reflektans (0,91).

Innertaket är ofta av ljus korrugerad plåt men kan också vara av träpanel. Plåttaken i de undersökta djurstallarna hade reflektans mellan 0,50 – 0,80.

Både boxmellanväggar, innerväggar och innertak får högre reflektans efter tvättning. Däremot kan betonggolv få lägre reflektans efter tvättning beroende på att de blivit fuktiga och att det tar några dagar innan de torkat upp.

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.

Bibehållningsfaktor i djurstallar

Bibehållningsfaktorn består av fyra delfaktorer; ljuskällans bibehållningsfaktor, ljusarmaturens bibehållningsfaktor, ljuskällans mortalitetsfaktor och rumsytornas bibehållningsfaktor. Genom att byta ut lysrören mot nya lysrör som varit tända ca 100 timmar kan ljuskällans bibehållningsfaktor samt mortalitetsfaktor antas ha värdet 1,0. Variationer i bibehållningsfaktorn i de undersökta stallarna har berott på ljusarmaturens samt rumsytornas bibehållningsfaktor vid mätningarna av belysningsstyrkan.

För att erhålla de verkliga bibehållningsfaktorerna för ljusarmaturer och rumsytor krävs mätningar av belysningsstyrkan i nybyggda byggnader och med nya ljusarmaturer samt att man sedan återkommer till dessa byggnader efter ett antal år för att mäta

belysningsstyrkan. Därefter kan de verkliga bibehållningsfaktorerna beräknas. Detta har inte varit möjligt i detta projekt utan mätningarna är utförda i byggnader som varit i drift under ett antal år. Jämförelser och uppskattningar av bibehållningsfaktorer har gjorts genom mätningar före och efter tvättning av rumsytorna samt kuporna på lysrörsarmaturerna. Detta innebär sannolikt att nedanstående uppskattningar av bibehållningsfaktorer visar för höga värden eftersom ljusarmaturer och rumsytor inte varit nya. Samtliga lysrörsarmaturer var slutna och utan reflektorer.

I de båda slaktgrisstallarna (A) har belysningsstyrkan uppmätts för olika kombinationer av tvättade/otvättade kupor samt för tvättade/otvättade byggnadsytor (se tabell 16). Utifrån dessa mätningar har bibehållningsfaktorn för ljusarmaturen och rumsytorna uppskattats. Slaktgrisstallarna var ca 2 år gamla när mätningarna utfördes och rumsytorna tvättas ungefär vid tre tillfällen per år. Ljusarmaturerna var däremot inte tvättade sedan stallarna byggdes. Resultaten visar att två år gamla lysrörsarmaturer i slaktgrisstallar har bibehållningsfaktorn 0,94 samt att rumsytornas bibehållningsfaktor har bibehållningsfaktorn 0,97. Bibehållningsfaktorn för både ljusarmatur samt rumsytorna har beräknats till 0,91.

Grisningsstallet (stall B) var ca 10 år gammalt och har tvättats ca 3-4 gånger per år; under senare år med hjälp av tvättningsrobot. Kuporna till lysrörsarmaturerna har inte tvättats. Belysningsstyrkan i stallet före och efter tvättning av ljusarmaturer samt rumsytor visar att bibehållningsfaktorn (LMF * RSMF) är ca 0.80.

I övriga stallar (C-F) har mätningar endast utförts före och efter att kuporna till lysrörsarmaturerna tvättats. Bibehållningsfaktorn för ljusarmaturerna i det ca 5 år gamla mjölkkestallet (stall C) uppskattas till ca 0.91 och i det ca 10 år gamla mjölkkestallet till ca 0.95. I ett av häststallarna med ca 12 år gamla lysrörsarmaturer uppskattas ljusarmaturens bibehållningsfaktor till ca 0.94. I det andra häststallet genomfördes endast mätningar av belysningsstyrkan då både lysrörsarmaturer och rumsytor var tvättade.

Ljusarmaturens bibehållningsfaktor i djurstallarna uppskattas till värden mellan 0.91 – 0.95 vilket jämfört med tabell 3 är ganska höga värden. Detta beror som tidigare nämnts på att mätningarna i detta projekt utförts före och efter tvättning av kuporna på lysrörsarmaturerna och därmed inte den verkliga bibehållningsfaktorn som erhålls med jämförelser mot helt nya armaturer.

Rumsytans bibehållningsfaktor i slaktgrisstallarna (A), 0,97, speglar förhållandena i ett grisstall som använts under ca 2 år och motsvarar inte rumsytornas förändring i ett grisstall under många års drift. Den mätning som är mest intressant för att få en uppfattning om ljusarmaturens och rumsytornas bibehållningsfaktorer är från grisningsstallet (B). Mätningarna utfördes så att endast ett sammanlagt värde erhöles men resultatet visar att produkten av bibehållningsfaktorerna (LMF * RSMF) minst är 0,80.

Bibehållningsfaktorn har också uppskattats genom att beräkna kvoten mellan uppmätt belysningsstyrka och beräknad belysningsstyrka med programmet Dialux (se tabellerna 10-15). Beräkningarna av belysningsstyrka med Dialux har gjorts med bibehållningsfaktorn 1,0 samt med uppmätta medelvärden för byggnadsmaterialens reflektanser. Uppskattad bibehållningsfaktor med denna metod visas i tabell 17 (bibehållningsfaktor 1).

Tabell 16. Uppskattad bibehållningsfaktor från uppmätt belysningsstyrka i slaktgrisstallarna (A)

Nivå /Mätpunkt	Belysningsstyrka												Uppskattad bibehållningsfaktor											
	Stall 1		Stall 2		Stall 1		Stall 2		Stall 1		Stall 2		RSMF ^{b)}		LMF*RSMF									
	A	B	C	D	1	2	1	2	1	2	1	2	Kvot A/B	Kvot C/D		Kvot A/C	Kvot B/D	Kvot A/D						
0.85 m																								
1	54	52	66	62	59	57	64	68	62	62	62	62	62	0,82	0,88	0,95	0,92	0,84	0,92	0,97	0,96	0,80	0,84	
2	47	52	52	46	51	47	46	47	46	46	47	46	46	0,90	1,02	0,99	1,02	1,01	1,10	1,11	1,10	1,01	1,12	
3	111	105	118	115	115	113	124	128	116	116	113	124	128	0,94	0,91	0,97	0,97	0,89	0,93	0,92	0,99	0,87	0,91	
4	54	64	62	68	68	61	56	63	62	62	61	63	62	0,87	0,94	0,89	0,99	0,96	1,05	0,98	1,10	0,86	1,04	
5	99	112	106	118	118	113	101	104	114	114	113	104	114	0,93	0,94	0,97	1,00	0,98	0,98	1,02	1,04	0,95	0,98	
6	53	68	57	70	70	60	58	61	63	63	60	61	63	0,94	0,97	0,95	0,95	0,92	1,13	0,93	1,11	0,87	1,08	
Medel	70	75	77	80	80	75	75	78	77	77	75	78	77	0,90	0,95	0,95	0,97	0,94	1,02	0,99	1,05	0,89	0,99	
0.45 m																								
1	40	47	54	54	80	55	48	51	59	59	55	51	59	0,74	0,59	0,94	0,94	0,84	0,86	1,07	1,37	0,79	0,80	
2	41	45	46	45	45	47	45	47	49	49	47	47	49	0,89	0,99	0,96	0,97	0,91	0,94	0,98	0,93	0,87	0,92	
3	91	90	106	91	91	95	112	116	100	100	95	116	100	0,86	0,99	0,96	0,96	0,81	0,94	0,91	0,91	0,79	0,90	
4	55	57	59	58	58	60	61	62	63	63	60	62	63	0,94	0,98	0,99	0,96	0,90	0,95	0,94	0,93	0,89	0,91	
5	87	104	92	114	114	109	98	102	113	113	109	102	113	0,95	0,91	0,96	0,96	0,89	0,96	0,90	1,01	0,85	0,92	
6	54	64	56	64	64	60	60	64	68	68	60	64	68	0,96	0,99	0,94	0,89	0,90	1,05	0,88	0,94	0,85	0,94	
Medel	61	68	69	75	75	71	71	74	75	75	71	74	75	0,89	0,91	0,96	0,95	0,87	0,95	0,95	1,01	0,84	0,90	
									MEDEL						0,91	0,96	0,94	0,94	1,00	1,00	1,00	0,91	0,91	

A: Otvättat stall/otvättade kupor

B: Otvättat stall/tvättade kupor

C: Tvättat stall/otvättade kupor

D: Tvättat stall/tvättade kupor

a) LMF = Ljusarmaturernas bibehållningsfaktor; b) RSMF = Rumsytornas bibehållningsfaktor

Belysningsstyrkan i stallarna har även beräknats med uppmätta maxvärden för byggnadsmaterialen. För samtliga betonggolv har därmed reflektansen för torra rena betonggolv använts (0,28). Maxvärdena för reflektanserna bör ligga närmare reflektansen för nya byggnadsmaterial och ett mer korrekt värde på bibehållningsfaktorn bör erhållas. Resultatet av denna beräkning visas i tabell 17 i kolumnen ”Bibehållningsfaktor 2”. Skillnaden mellan de två beräkningarna blev störst (0,06) för slaktgrisstallet (A) vilket endast var 2 år gammalt vilket förmodligen innebär att maxvärdena för reflektanserna i denna byggnad ligger nära ett nytt material. Detta resonemang ger att bibehållningsfaktorn i stallar som blir mycket nedsmutsade (gris- och nötkretaurstallar) bör sättas till 0,60-0,70 och i stallar som blir mindre smutsiga mellan 0,80-0,85 (häststallar).

Det är viktigt att rätt bibehållningsfaktor används vid dimensioneringen av belysningen i en byggnad. Om bibehållningsfaktorn sätts för högt kommer det att bli för låg belysningsstyrka i stallet vilket kan påverka både djurmiljön och arbetsmiljön. Om bibehållningsfaktorn sätts för lågt kommer belysningen i stallet att bli överdimensionerad vilket ger högre energikostnaden för belysningen i byggnaden (Planeringsguiden, 2013).

En faktor som inte har beaktats projektet är inverkan av djurens reflektans. Hårremmen för svart-vita mjölkkor har reflektans mellan 0,02 och 0,41. En stor del av ljuset som träffar djuren hade annars träffat betonggolven som har reflektanser mellan 0,07 och 0,32 beroende hur fuktiga, smutsiga och ströade golven är. Eventuellt har djuren därmed inte någon stor inverkan på medelbelysningsstyrkan i djurstallarna men detta bör undersökas närmare.

Tabell 17. Bibehållningsfaktor i Dialux för att likställa beräknade värden samt uppmätta värden på belysningsstyrkan

Djurstall	Bibehållningsfaktor 1 ^{a)}	Bibehållningsfaktor 2 ^{b)}
Slaktgrisstall (A)	0,72	0,66
Grisningsstall (B)	0,68	0,65
Mjölkkestall (C)	0,67	0,63
Mjölkkestall (D)	0,74	0,72
Häststall (E)	0,91	0,89
Häststall (F)	0,86	0,85

^{a)} Beräknad med uppmätta medelvärden för byggnadsmaterialens reflektanser

^{b)} Beräknade med uppmätta maxvärden för byggnadsmaterialens reflektanser

Belysningsstyrka och ljusfördelning

Medelvärdena på uppmätt belysningsstyrka i de sex stallarna ligger omkring eller strax över det ljusbehov som anges i SIS-TS 37:2012. Uppmätt belysningsstyrka för de olika mätpunkterna visar att ljusfördelningen är ganska ojämn i djurstallarna med stora skillnader mellan högsta och lägsta belysningsstyrka. Detta kan ha betydelse för mjölkavkastning, tillväxt, djurens beteende etc (Hörndahl, mfl. 2012a). I Danish Recommendations (2002) rekommenderas en variation i ljusstyrka som är mindre än 50 %. Om ordinarie belysning ska dämpas till nattbelysning bör det ske med hjälp av spänningsreglering och inte genom att släcka en del av ljuskällorna för att uppnå jämn belysning.

Efter att bibehållningsfaktorn korrigerats enligt tabell 17 (Bibehållningsfaktor 1) 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 ± 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.

Inverkan av hur inredningen ritades i programmet Dialux observerades också tydligt vid jämförelserna av belysningsstyrkan i häststallarna. Väggar i hästboxarna som var försedda med galler ritades förenklat in i Dialux i ett första skede men dessa galler togs bort från ritningarna och ersattes med helt ljusgenomsläppliga ytor för att erhålla jämnare ljusfördelning i häststallarna. En fortsatt utveckling av programmet Dialux kunde vara att göra standardritningar för inredningsdetaljer som är specifika för djurstallar och som kan ha stor betydelse för beräkningarna. Exempelvis för att kunna beräkna belysningsstyrkan i ett mjölkningsstall krävs detaljerade ritningar i Dialux.

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. Boxmellanväggar 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 0,60 – 0,85 i djurstallar för att erhålla korrekt belysningsstyrka vid beräkning i programmet Dialux. Lägre bibehållningsfaktor (0,60-0,70) i stallar som blir mycket nedsmutsade (exempelvis gris- och nötstallar) och högre bibehållningsfaktor (0,80-0,85) i stallar som blir mindre smutsiga (exempelvis häststallar).

Beräkningar i programmet Dialux visade en ljusfördelning som var $\pm 15\%$ 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, exempelvis galler i häststallar.

REFERENSER

- AFS. 2009:2. Arbetsplatsens utformning. Arbetsmiljöverket. Stockholm
Belysningsplanering, 2011.
<http://support.fagerhult.com/sv/category/belysningsplanering/>
- Dana, K.J., et al. 1996. Reflectance and Texture of Real-World Surfaces. ACM
Transactions on Graphics, Vol. 18, No. 1, January 1999, Pages 1–34.
- Dial. 2010. Light Building software. Dial GmbH. Lüdenscheid. Germany7.
- 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.
- Energimyndigheten. 2005. Modern belysningsteknik – spar energi och pengar. Broschyr
ET 2005:16. Eskilstuna.
- Danish Recommendations. 2002. Housing design for cattle, 5.2.7 Lighting. The Danish
Agricultural Advisory Center.
- Hagner, 2013.
http://www.hagnerlightmeters.com/Products/Special_Detectors/SD11.htm
- Haraldsson, L. och Henrysson, H. 2011. Belysning – i stalla för mjölkkor. Självständigt
arbete vid LTJ Fakulteten. Alnarp. SLU/LBT.
- Hörndahl, T. 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader. Rapport 145.
Institutionen för Jordbrukets biosystem och teknologi. SLU. Alnarp.
- 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.
- Hörndahl, T., von Wachenfelt, E. & von Wachenfelt, H. 2012a. Belysning i
stallbyggnader – Energieffektiv belysning och god djurvälstånd. Sveriges
lantbruksuniversitet. Fakulteten för landskapsplanering, trädgård- och
jordbruksvetenskap. Alnarp. 2012.
- Jordbruksverket. SJVFS 2010:15. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om
djurhållning inom lantbruket mm. L 100. Jönköping.
- Jørgensen, C. 2006. Lys i kvægestalde. FramTest, Bygninger nr 32A. Dansk
Landbrugsrådgivning. Landcentret. Dansk Kvæg.
- Levinson, R. & Akbari, H. 2002. Effects of composition and exposure on the solar
reflectance of portland cement concrete. Cement and concrete research, Vol. 32,
Issue 11.
- Ljusamallen. 2013. Ljusamallen. Tillgänglig:
http://ljuskultur.se/files/2013/05/LJUSAMALLEN_jan_2013.pdf
- Narisada, K. & Schreuder, D. 2004. Light Pollution Handbook in Astrophysics and
space science library, vol. 322. ISBN-13: 978-1402026652, Springer, The
Netherlands.
- Planeringsguiden. 2013. Ljus & Rum, 07 Planeringsguiden. Tillgänglig:
<http://ljuskultur.se/files/2013/11/07-Planeringsguiden-REV2013-11.pdf>
- SIS-TS 37:2012. Ekonomibygnader-Tillämpningar till Boverkets och Jordbruksverkets
regler avseende utformning av ekonomibygnader för jordbruk, skogsbruk och
trädgårdsnäring samt hästverksamhet. SIS Förlag AB. Stockholm.
- Starby, L. & Mattsson, B. 1980. Fakta om el. Ljuset. Ingenjörsförlaget AB. Stockholm

- SS-EN 12 464-1; Ljus och belysning - Belysning av arbetsplatser del 1: Arbetsplatser inomhus. SIS Förlag AB.
- Sundahl, A-M. 1977. Belysning i Lantbruksbyggnader. Rapport 243. Aktuellt från Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Wall, L. 2009. Lärobok i belysningsteknik. 5:e upplagan. Ljuskultur, Stockholm. 136 sidor.

DEL 2, LJUSMILJÖN I KOSTALL JÄMFÖRT MED HAGMARK

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 hagmiljö 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.

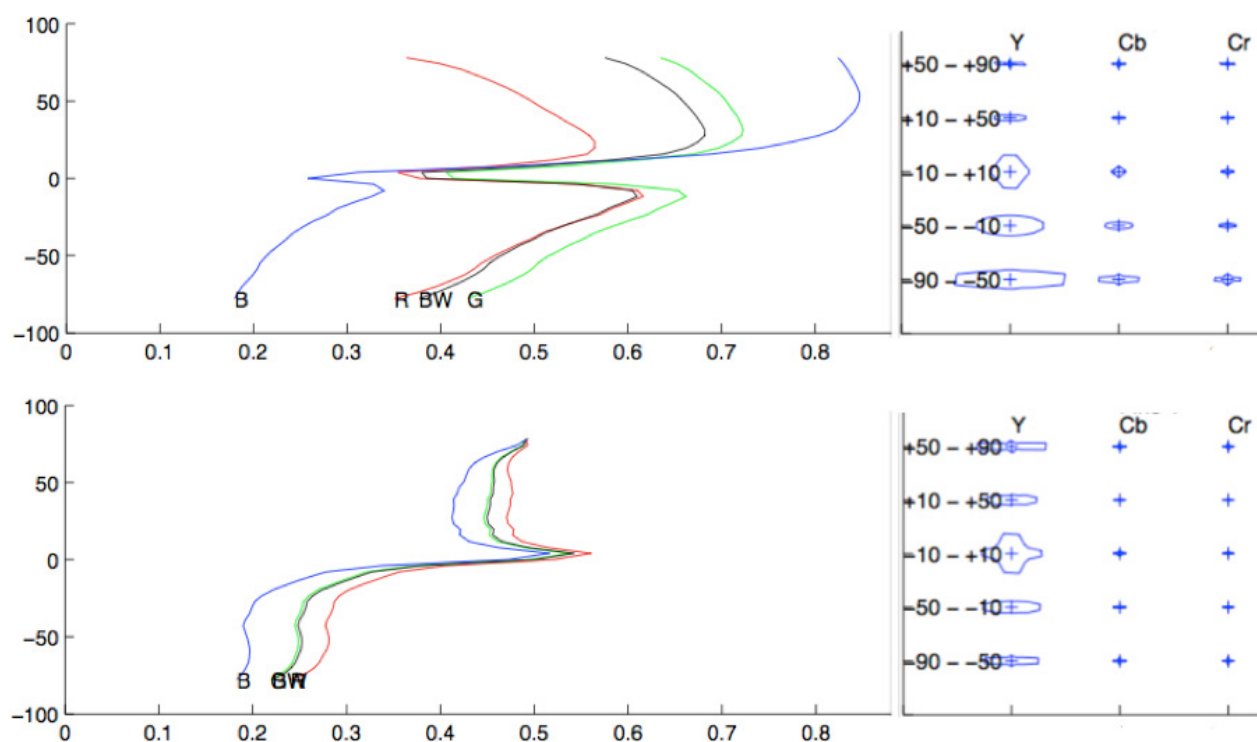
För detta ändamål utvecklade vi ett analysprogram för att räkna fram genomsnittlig vertikal fördelning av ljusintensitet, färgsammansättning och kontraster. Ett första program utvecklades i JAVA, men för att tillåta mer flexibelt experimenterande med olika beräkningsalgoritmer bytte vi till programmet 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. Intensitetskontrater 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 mörkt 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.



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 hagmiljö 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.

Även när det gäller visuella kontraster skiljer sig hagemiljön markant från stallmiljön. I hagemiljön ökar kontrasterna (Y i Figur 3) gradvis mot den nedre delen av synfältet, medan stallmiljön har ungefär samma kontrastriktedom i alla riktningar. Hagemiljön 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 kontrastriktedom mellan hagemiljöerna och stallmiljön. Det måste dock noteras att vi ännu bara har samlat data från hagemiljöer 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.

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 hagemarker och kostallar, och att en enkel analysmetod gör det möjligt att börja experimentera med hjälp av LED-belysning för att få stallmiljöer att efterlikna hagemiljöer. 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.

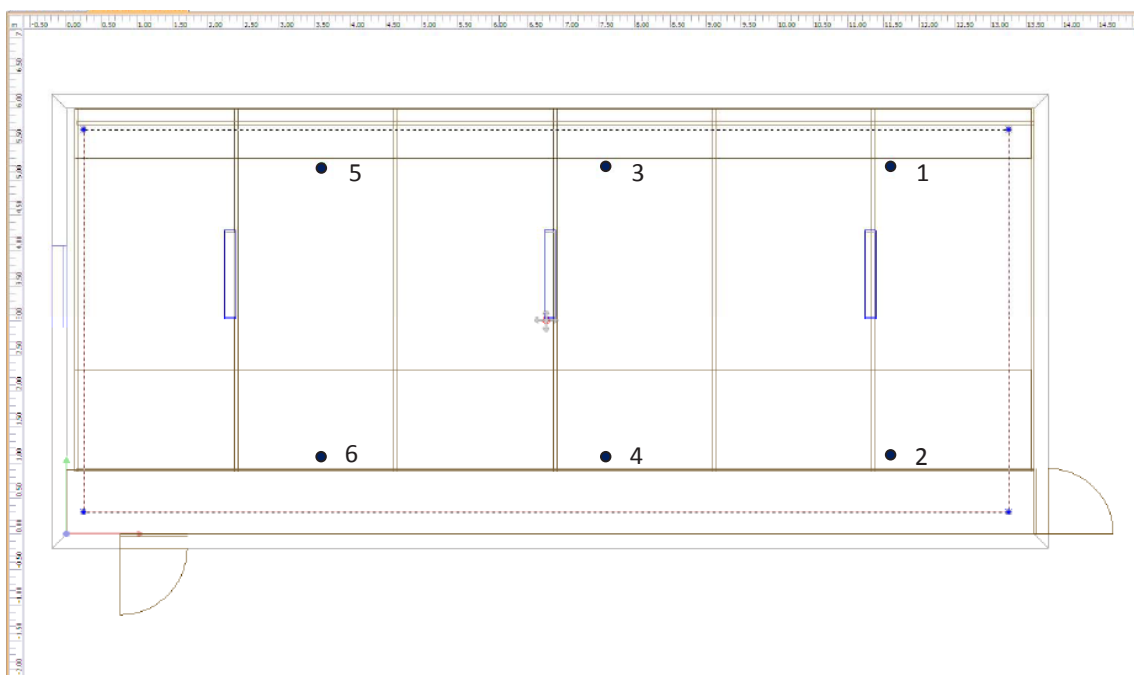
Slutsatser

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.

BILAGA A



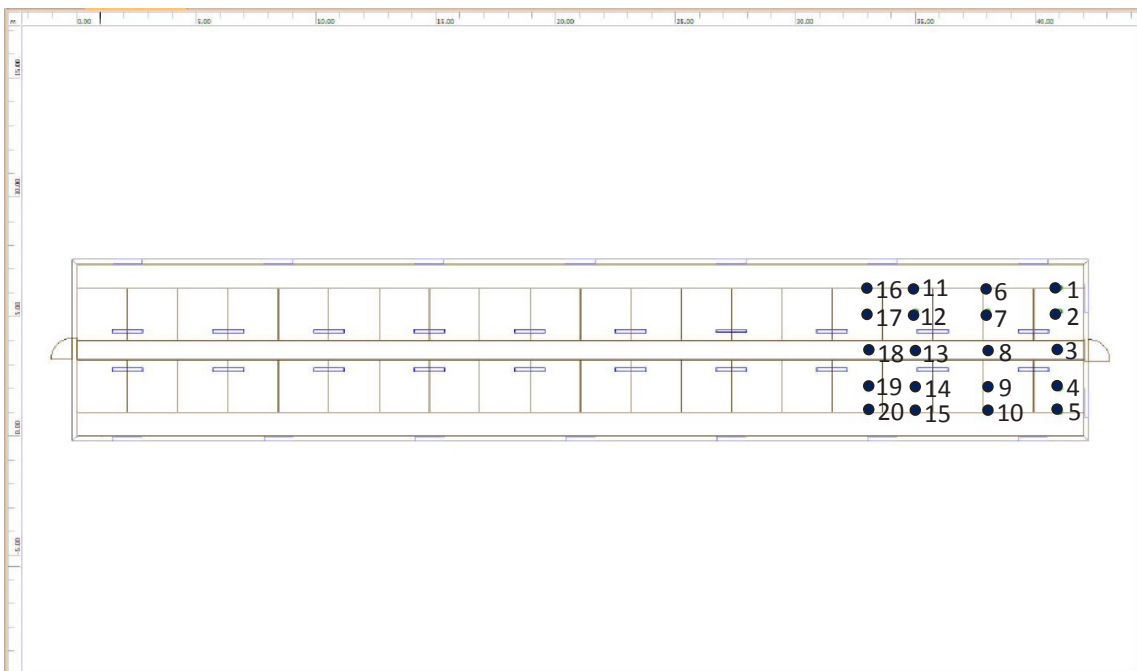
Figur A1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i slaktsvinstallarna (A) i Dialux.



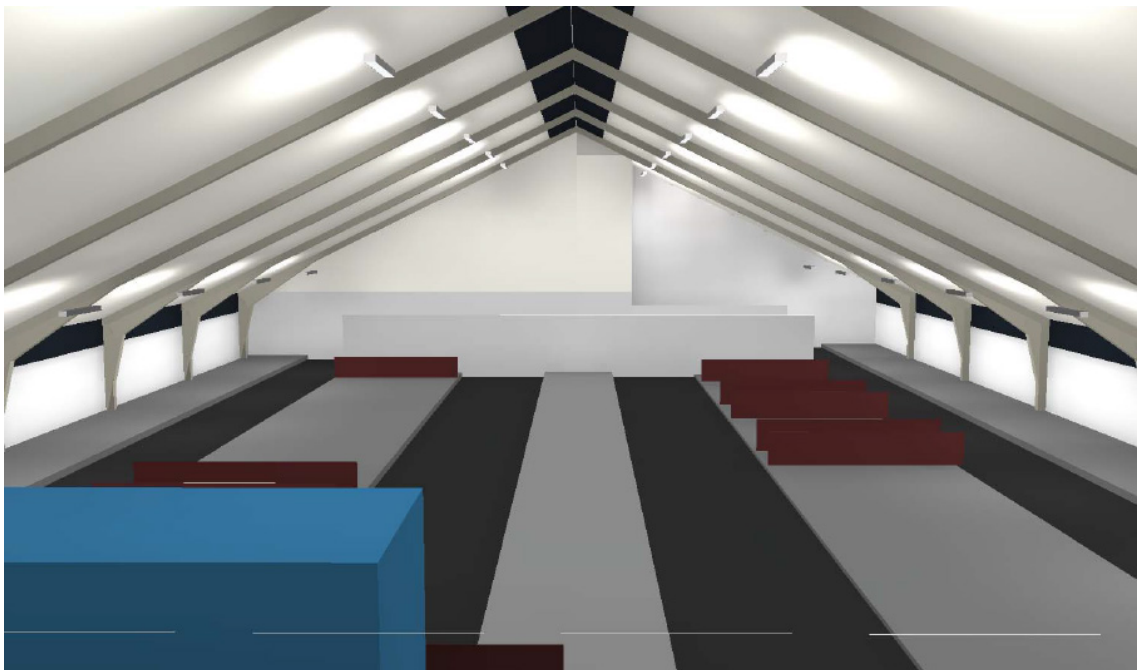
Figur A2. Planritning samt mätpunkternas placering i slaktgrisstallarna (A).



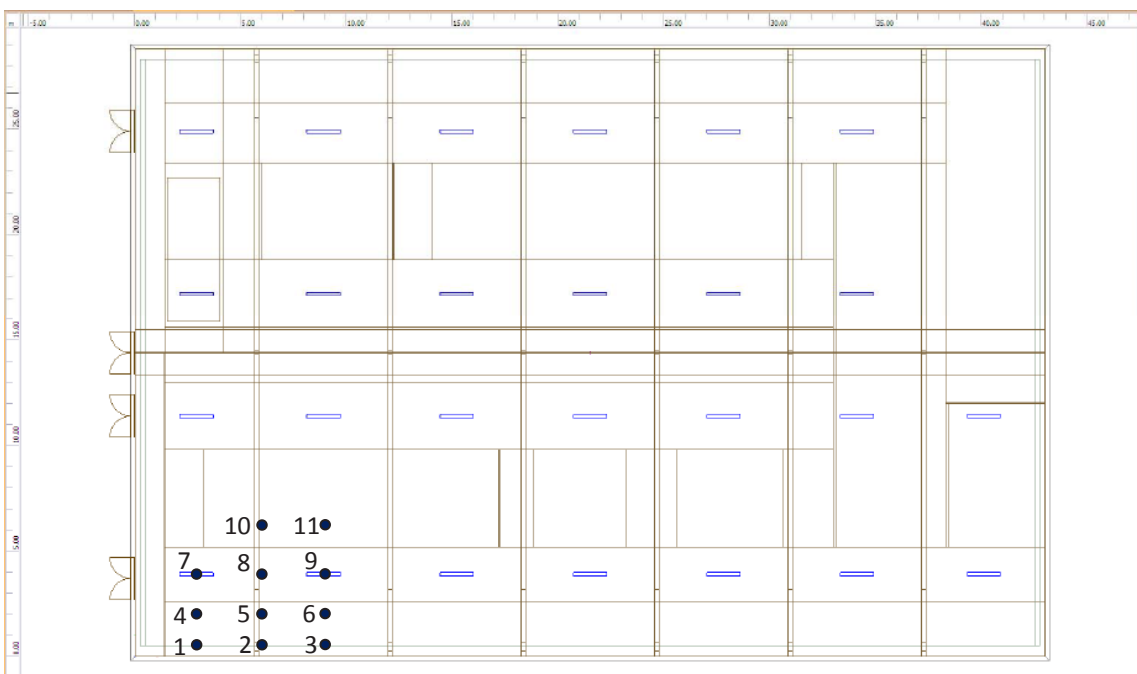
Figur B1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i grisningsstallet (B) i Dialux.



Figur B2. Planritning samt mätpunkternas placering i grisningsstallet (B).



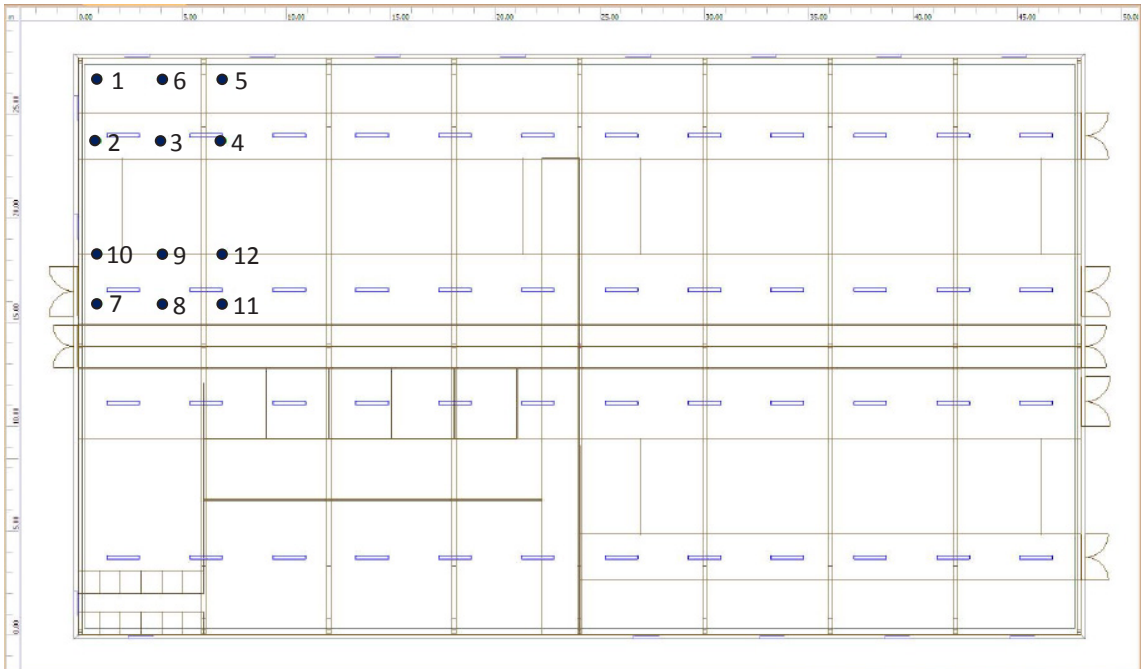
Figur C1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i mjölkkostallet C i Dialux.



Figur C2. Planritning samt mätpunkternas placering i mjölkkostallet C.



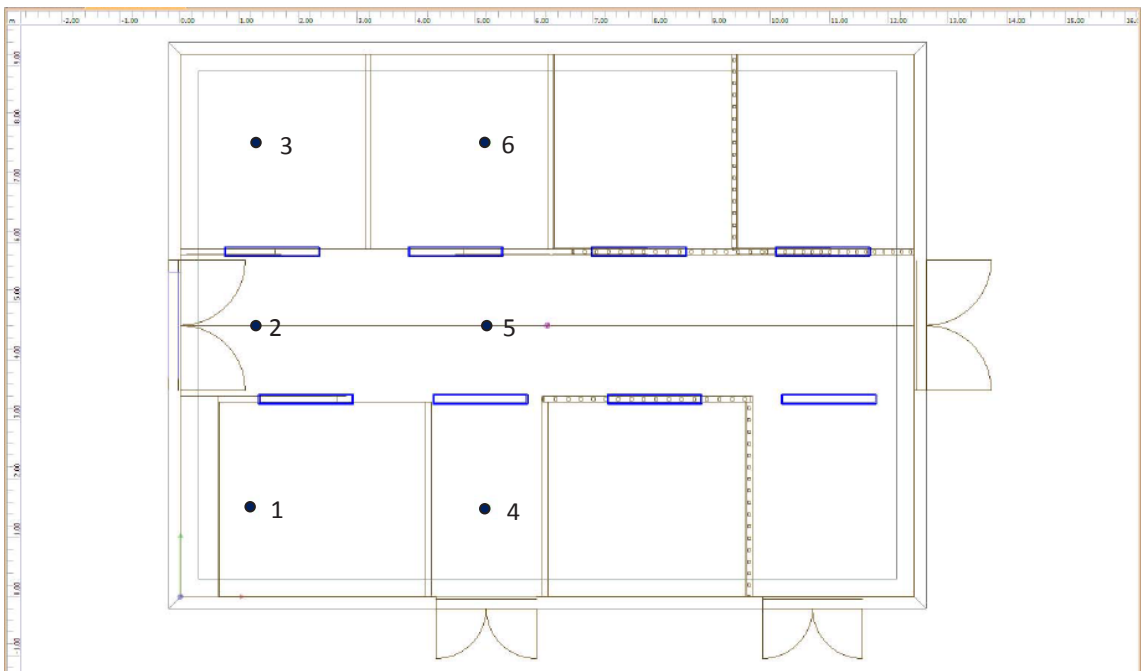
Figur D1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i mjölkkostallet D i Dialux.



Figur D2. Planritning samt mätpunkternas placering i mjölkkostallet D.



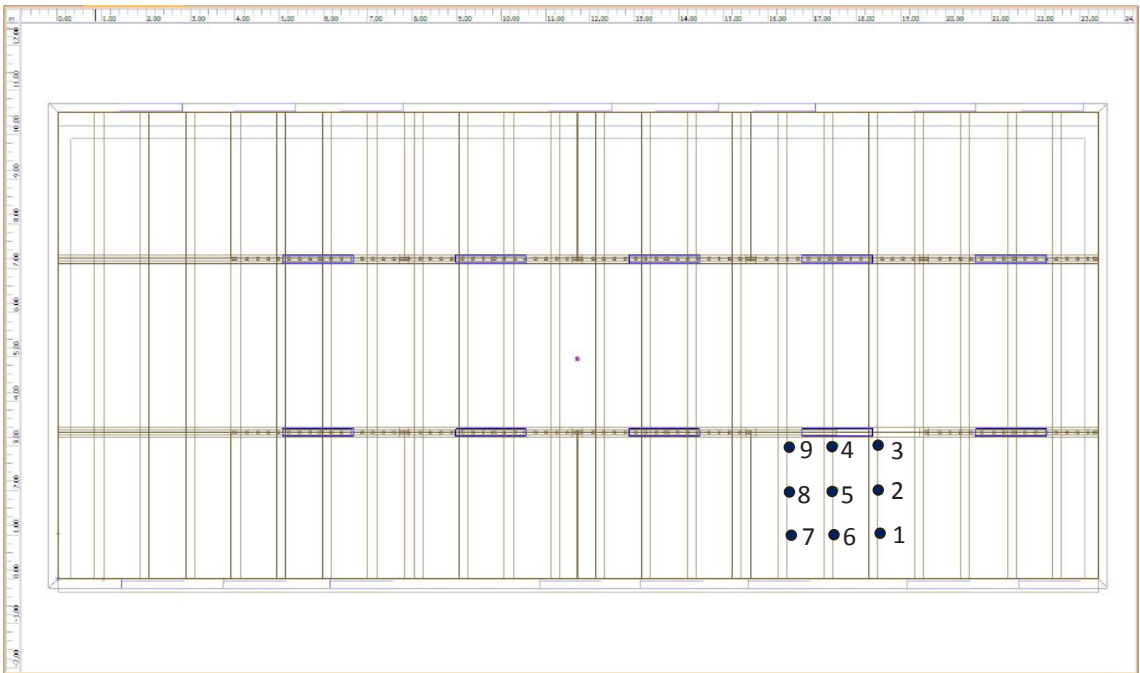
Figur E1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i häststallet E i Dialux.



Figur E2. Planritning samt mätpunkternas placering i häststallet E.



Figur F1. 3D-ritning samt visualisering av belysning i häststallet F i Dialux.



Figur F2. Planritning samt mätpunkternas placering i häststallet F.