



Belysning i stallbyggnader

- Energieffektiv belysning och god djurvälstånd

Lighting in animal houses

- *energy efficient lighting and animal welfare*

Torsten Hörndahl, Eva von Wachenfelt & Hans von Wachenfelt

Institutionen för Lantbrukets byggnadsteknik

Department of Rural buildings

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:8

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-39-8

Alnarp 2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Belysning i stallbyggnader

- Energieffektiv belysning och god djurvälstånd

Lighting in animal houses

- energy efficient lighting and animal welfare

Torsten Hörndahl, Eva von Wachenfelt & Hans von Wachenfelt

Institutionen för Lantbrukets byggnadsteknik

Department of Rural buildings

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:8

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-39-8

Alnarp 2013

© 2012. Torsten Hörndahl, Hans von Wachenfelt och Eva von Wachenfelt
Omslagsbild: Torsten Hörndahl

FÖRORD

Ljus betraktas som en självklar del i vardagen för att kunna fullfölja arbetsuppgifter under alla årstider. Dagsljuslängd, ljusstyrka och spektralfördelning har betydelse för djurens välbefinnande och produktion. Särskilt viktigt är att kunna kontrollera djurens hälsa.

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. Enligt Jordbruksverkets Föreskrifter ska djur ha tillgång till ljus från fönster eller annat insläpp av dagsljus. Belysningen ska vara fast monterad och anpassad så att djuren inte upplever obehag eller kan skada sig på den. Djurstallar ska ha en dämpad belysning under dygnets mörka timmar med undantag av fjäderfästallar.

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. Då dimensioneringsunderlaget är föråldrat och ljuskällorna blivit effektivare, medför en belysningsdimensionering baserad på det gamla underlaget att de flesta stallar får för höga kostnader både för installation och drift.

Djuren har inte heller samma seende som människan. Exempel på detta är att nötkreatur och hästar inte uppfattar rött ljus och att många fåglar (bl.a. kalkoner) ser våglängder av ultraviolett ljus. Studier visar att djurens välbefinnande, tillväxt, hälsa och produktion (t.ex. mjölk eller ägg) påverkas av ljusmiljön.

Syftet med projektet var att ta fram förslag på hur moderna ljuskällor och armaturer kan användas i djurstallar. Projektet har innefattat litteraturstudier och sammanställning av material från de senaste forskningsrönen av bästa teknik. Data har sökts för att ta reda på hur produktionsdjur (häst, ko, gris och fjäderfä) uppfattar ljusstyrka, ljusflöde, spektralfördelning och färgtemperatur som underlag för val av ljuskälla samt lämplig placering av armatur.

Studien har finansierats av Jordbruksverkets landsbygdsprogram med stöd från Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden och har sammanställts av Torsten Hörndahl, Eva von Wachenfelt och Hans von Wachenfelt vid Lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. Synpunkter på manuskriptet har tacksamt mottagits från Dan E Nilsson och Almut Kelber, Vision Group, Biologiska institutionen vid Lunds Universitet.

Alnarp i december 2012
Christer Nilsson
Professor

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	4
SAMMANFATTNING	6
1 LJUSMILJÖ I DJURSTALLAR	11
1.1 Inledning	11
1.2 Ljus	11
1.3 Hur ser människan?	12
1.3 God ljusmiljö	13
1.5 Belysningstekniska begrepp	13
1.6 Belysningsstyrka (alternativ ljusintensitet, illuminans)	14
1.8 Färgtemperatur och färgåtergivning	15
1.9 Referenser ljusmiljö	16
2 BELYSNINGSTEKNIK	17
2.1 Inledning	17
2.2 Armaturer	17
2.3 Ljuskällor	18
2.4 Glödljus	18
2.5 Lysrör och kompaktlysrör	19
2.6 Induktionslampan	21
2.7 Övriga urladdningslampor	21
2.8 Lysdiod - LED	23
2.9 Sammanfattning	24
2.10 Referenser belysningsteknik	25
3 NÖTKREATUR	26
3.1 Introduktion	26
3.2 Hur ser kor?	26
3.3 Ljusets hormonpåverkan	27
3.4 Ljusets produktionspåverkan	29
3.5 Diskussion	31
3.6 Sammanfattning nötkreatur	34
3.7 Referenser nötkreatur	35
4 GRIS	39
4.1 Inledning	39
4.2 Hur ser grisar?	39
4.3 Ljusintensitet	40
4.4 Rumslig synskärpa, färgseende och känslighet mot ljusflimmer	40
4.5 Årstidsbunden variation och reproduktion	41
4.6 Välfärd	42
4.7 Diskussion	42
4.8 Sammanfattning gris	43
4.9 Referenser gris	44

5	HÄST	45
5.1	Inledning	45
5.2	Hur ser hästar?	45
5.3	Dagslängdens påverkan	47
5.4	Sammanfattning häst	47
5.5	Referenser häst	48
6	ÄGGLÄGGANDE HÖNS OCH SLAKTKYCKLINGAR	50
6.1	Inledning	50
6.2	Hur ser fjäderfä?	50
6.3	Synskärpa	51
6.4	Ljuskärgens inverkan	51
6.5	Ljusintensitet	52
6.6	Känslighet mot flimmer	54
6.7	Dagslängdens påverkan	54
6.8	Sammanfattning	56
6.9	Referenser fjäderfä	57

SAMMANFATTNING

Kraven på energieffektivare belysning har gjort att fler typer av ljuskällor börjat användas i djurstallar. Det saknas dock en aktuell sammanställning av hur lantbrukets produktionsdjur påverkas av både naturligt och artificiellt ljus. Utgångspunkten för detta projekt har varit att ta reda hur nötkreatur, gris, häst och fjäderfä uppfattar sin omgivande miljö samt hur deras synsinne reagerar på olika våglängder och intensitet samt under hur lång period det är ljust (fotoperiod). En annan utgångspunkt har varit att utformning av belysningen i djurstallar borde utgå från djurens behov och preferenser då det finns goda skäl att anta att djurens välbefinnande, tillväxt, hälsa och produktion (t.ex. mjölk eller ägg) påverkas av ljusmiljön (Ulrich, 1979; Bourdon, 1997). Eftersom det med modern belysningsteknik finns mycket goda förutsättningar att anpassa belysningen så att den efterliknar naturliga utomhusmiljöer, öppnas intressanta möjligheter att anpassa belysningen så att den förbättrar djurens välbefinnande och produktion utan att arbetsmiljön försämras i stallarna.

Syftet med projektet var att ta fram förslag för hur energieffektiva ljuskällor och armaturer kan användas i djurstallar. Projektet har innefattat litteraturstudier och sammanställning av material från de senaste forskningsrönen och bästa teknik. Data har sökts för att ta reda på hur produktionsdjur (häst, ko, gris och fjäderfä) uppfattar ljusstyrka, ljusflöde, spektralfördelning och färgtemperatur som underlag för val av ljuskälla samt lämplig placering av armatur.

Belysningen använder ca 10 % av elenergin i djurstallar undantaget värphöns där något mera används. Därför är det viktigt att ha ljus på rätt ställe och att använda så energieffektiva ljuskällor som möjligt. För att minska energianvändningen kan man utnyttja dagsljuset så mycket som möjligt t. ex. genom att använda ljussensorer som dimmar eller släcker belysningen när dagsljuset är tillräckligt. Dagsljusets betydelse och hur detta kan utnyttjas behandlas inte i denna rapport utan endast hur artificiellt belysningen kan användas bättre.

Jordbruksverkets Föreskrifter (SJVFS 2010:15) anger endast i generella termer djurens behov av dagsljus samt utformning av dag- och nattbelysning. Teknisk specifikation för ekonomibygnader (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). Det finns även ett EU direktiv (2001/93) vilket anger att grisar ska ha minst 40 lux 8 timmar per dag. I dagsläget utformas belysningen i djurstallar ofta utifrån äldre nyckeltal vilket medför överdimensionerad belysningsintensitet (Jørgensen, 2006; Haraldsson & Henrysson, 2011). Från föreliggande genomgång kan följande slutsatser dras:

- För att få bra belysning med låg energiinsats måste man använda moderna projekteringsverktyg som tar hänsyn till ljuskälla, armatur och dess placering samt reflektionen från väggar, golv, tak och djur.
- För att ordna energieffektiv belysning med brett ljusspektrum i djurstallar är i dagsläget lysrör och s.k. lågenergilampor förstahandsalternativet eftersom de passar i befintliga armaturer.
- Lysdioder (LED) är ett intressant alternativ i den mån tillräckligt ljusflöde kan erhållas och spektralfördelningen är lämplig för djurslaget.

- Metallhalogen- och högtrycksnatriumlampor med dagsljusliknande spektralfördelning kan vara ett alternativ vid nybyggnad eller när all belysningsel ska bytas ut.
- Ljusutbytet (lm/W) varierar mycket inom respektive typ av ljuskälla. Därför finns mycket energi att spara genom att välja den ljuskälla som är effektivast inom respektive typ.
- Ljusnivån ska ge god arbetsmiljö samt vara anpassad till djurslaget med avseende på både ljusintensitet och spektralfördelning. Se respektive djurslag.
- Dagsljuset bör utnyttas i så stor utsträckning som möjligt och kompletteras med artificiellt ljus när så krävs för att spara energi.
- Nattbelysning till nötkreatur och gruppållna hästar bör ordnas genom att alla ljuskällor dimmas så att jämn belysningsstyrka erhålls i stallet och att djuren inte bländas av enstaka ljuskällor som är tända,
- Grisar och fjäderfä ska inte ha nattbelysning
- Grisar, nötkreatur och häst är dikromata djur dvs de uppfattar endast två färger i ljusspektrumet. De kan dock uppfatta våglängder av det människan anser vara rött ljus men de ser det som grått ljus med lägre intensitet.
- Fjäderfä har ett mycket väl utvecklat synsinne och de bör därför ha ljuskällor med brett ljusspektrum.
- Intensiteten på det ljus som djur uppfattar påverkar melatoninhalten (hormon som indikerar vila/sömn) i blodet. Får dagaktiva djur tillräckligt hög ljusintensitet sänks halten melatonin i blodet och djuret blir aktivare. Vid låg intensitet ökar melatoninhalten vilket gör att djuren vilar.

Nötkreatur

Det finns fortfarande kunskapsluckor om vad nötkreatur ser, och hur de påverkas av dagsljus, spektralfördelat ljus, olika ljusintensitet och mörker i sin belysningsmiljö. Det som saknas är framför allt kunskap om hur djuren uppfattar sin omgivning. Ett antal undersökningar ger dock en viss ledning om hur belysningen kan utformas med hänsyn till djurens möjlighet att uppfatta omgivningen..

Förmodligen har nötkreatur sämre synskärpa på avstånd över 3-4 m. Vi vet inte hur synskärpan påverkas av ökad belysningsintensitet men ökad belysningsstyrka medförde bättre rörlighet hos kor nattetid. Mjölkkor har stora ögon med en hög koncentration av stavar och tapetum lucidum (ett reflekterande skikt bakom näthinnan) och är därför väl anpassade för små ljusmängder. De har ett brett band med hög koncentration av synceller över näthinnan vilket förmodas ge dem god syn på långt håll. Nötkreatur är tvåfärgsseende med högsta spektrala ljuskänslighet vid våglängderna 455 och 554 nm. Den maximala våglängd som de kan uppfatta hos ljus är ca 620 nm. Kunskap om djurens preferenser av olika våglängder av ljus vid olika aktiviteter skulle kunna ge vägledning för förbättringar av miljön för nötkreatur, exempelvis djurens dagliga kommunikation med varandra, men mer forskning behövs för att bekräfta resultaten.

Några uppgifter om hur nötkreaturen påverkas av olika ljuskällor har inte hittats förutom att UV-ljus kan ha positiv inverkan på mjölkproduktionen, men detta har endast påvisats i ett försök. Däremot har moderna stallar för nötkreatur ett stort inslag av naturligt ljus jämfört med äldre byggnader.

En antal företag har tagit fram underlag för utformning av belysning i mjölkstallar. Dessa utgår främst från de produktionshöjande effekter som ökad dagslängd innebär för lakterande mjölkkor och ungdjur. Relativt lite diskuteras i svenskt rådgivningsmaterial hur dessa resultat ska erhållas och hur belysningen ska utformas t.ex. nattetid vid robotmjölkning samt för sinkor/dräktiga kvigor. Få studier om belysning har utförts i kommersiella besättningar i Sverige.

Med ökad effektivitet i modern belysning kan belysningsstyrkor om 300-500 lux vara lämpliga, vilket motsvarar ljusnivån utomhus vid en dimmig dag. En ljusnivå om 100 lux dagtid kan då motsvara en miniminivå. Nattbelysningens i stallet rekommenderas ge en jämn belysningsstyrka om ca 5-10 lux, vilket inte tycks påverka kornas nattvila. En framtida belysningslösning kan vara ett kombinerat LED-ljusrör med dagsljus- och nattbelysning, där den artificiell belysningen kopplas in då mängden dagsljus i stallet minskar.

Gris

Grisen är mycket anpassningsbar och det finns otillräckligt med information för specificera vad som är optimal ljusmiljö för djuret med avseende på spectralfördelning, tid med ljus per dag eller belysningsstyrka. I många studier saknas uppgifter om vilka ljuskällor och belysningsstyrka som använts och resultaten är därför svåra att tolka.

Grisen har likartat antal stavar, ögonstorlek och näthinna som människa vilket kan förmodas ge likvärdig ljusinsamlingsförmåga. Grisar har mycket färre tappar än människan vilket tyder på sämre synförmåga än människans vid högre ljusnivåer. Grisar har ett smalare synfält men bättre synskärpa än övriga hovdjur. De är i likhet med nötkreatur och hästar dikromata, dvs ser bara två färger. Ljuskällor som enbart ger rött ljus uppfattas som ljussvagare än ljuskällor med övriga våglängder (ca 400-600 nm). Grisen kan inte uppfatta UV-ljus.

Grisen väljer att vara i samma belysningsstyrka som den är van vid, oavsett ljusintensitet. EU direktiv 2001/93 kräver en minimumbelysning om 40 lux i grisstallar. Denna belysningsstyrka uppfattades varken positivt eller negativt av djuren. Grisar väljer att vila i utrymmen med mycket låg belysningsstyrka (2.4 lux) och påverkas negativt om den inte får mörker minst 6 timmar per dygn.

Häst

Optimal ljusmiljö hos häst är mycket lite undersökt och det saknas uppgifter om ljuskällor, ljusintensitet och antal timmar med ljus respektive mörker hästen bör ha. För att få en uppfattning om vad som skulle kunna vara god miljö kan man jämföra med resultat från studier på nötkreatur, då dessa djur ursprungligen kommer från samma miljö och deras ögon har en likartad uppbyggnad.

Hästen har en mycket brett synfält men har dålig synskärpa. Hästen ser två färger men kan se ljus med våglängder i det röda spektrumet, men uppfattar det inte som rött. Som växtätare har hästar och kor sina ögon riktade åt sidan, vilket ger ett vidare synfält och förbättrar möjligheten att upptäcka predatorer. Dessutom har de stora ögon vilket generellt ger bättre syn än små ögon. Hästen har en rektangulär pupill med ett 'extra ögonlock, *corpora nigra* och vilken begränsar ljusmängden in i ögat vid bete.

Hästens öga är anpassat för låga ljusmängder och har gott mörkerseende, med stavrik näthinna och reflekterande skikt *tapetum lucidum*, beläget bakom de ljuskänsliga cellerna i näthinnan samt kort fokallängd som koncentrerar ljusmängden. Dessutom kan ljussignaler från angränsande ljusreceptorer adderas i tid och rum för att uppnå högre ljuskontrast nattetid.

Hästar verkar urskilja detaljer bättre om föremålen placeras på marknivå, men föremålen bör vara tillräckligt stora. På kontrastrika golvytor kan valet av golvytans färg minska motvillig beteendereaktion från hästar i inledande träning, exempelvis ramper till transportfordon.

Att hästar alltid skannar av sin omgivning för upptäckt av rovdjur kan vara begränsande för hästens koncentration förmåga vid inläring. Däremot kan hästars förmåga att reagera på små visuella signaler användas för att utveckla effektivare träningsmetoder tillsammans med målrelaterad träning med positiv förstärkning.

Eftersom hästar ser bra vid låga ljusintensiteter behövs belysning endast när det är människor i stallet och arbetar. En framtida belysningslösning kan vara att utnyttja tekniken med LED och ta fram en ljuskälla med både dagsljus- och nattbelysning, där den artificiella belysningen kopplas in då mängden dagsljus i stallet minskar. Hur djuren reagerar på LED belysning är inte undesökt ännu. Framtida forskning skulle kunna undersöka hur ljusprogram kan utformas för att stimulera brunst hos ston.

Fjäderfä

Ljusets påverkan på beteende, hälsa, produktion och skötsel av djuren påverkar i hög grad välbefinnandet hos våra produktionsdjur.

Rekommenderad dagslängd för värphöns verkar optimerad för maximal äggproduktion. Att minska dagslängden något för att spara energi är inte studerat. Även för övriga fjäderfän verkar rekommenderad dagslängd vara anpassad efter maximal produktion respektive tillväxt.

Ljus till fjäderfä bör innehålla våglängder i den röda delen av spektrat (långa våglängder). Dessa våglängder kan tränga genom kraniet och nå receptorer i hjärnan vilka inte aktiveras via ögonen. Receptorerna påverkar djuren reproduktion dvs äggläggning.

Fjäderfä verkar ha bättre synskärpa i rödaktigt ljus. Mycket tyder också på att ljuskällor med mycket rött ljus (t.ex. glödlampor) uppfattas som mera ljusstarka jämfört med ljuskällor som avger mycket blått ljus (t.ex. lysrör med hög färgtemperatur). Om man försöker att ge tillräckligt med rött ljus med ljuskällor som avger vitt ljus med hög ljusstemperatur så kan den totala mängden ljus överstimulera djuren. De blir då stressade och nervösa vilket leder till bl.a. mera fjäderplockning.

Studier har även visat att fåglar kan uppfatta UV-ljus. Denna egenskap används för att känna igen artfränder. Ljuskällor i stallar för fjäderfä bör därför ha en del UV-ljus i spektrat. Detta är särskilt viktigt för djur som hålls inomhus. Dock bör Arbetsmiljöverkets rekommendationer med avseende på UV-ljus följas.

Mot bakgrund av ovanstående och att fjäderfä även har receptorer i ögonen för violett, blått, grönt och gult ljus bör man använda ljuskällor med brett färgspektrum. Det är dock inte klarlagt vilket som är den bästa fördelningen mellan dessa våglängder.

Det finns studier som visar att värphöns kan uppfatta flimmar från konventionella lysrör men inget tyder på att djuren skulle uppfatta detta som något negativt eller att de skulle påverka djurens välbefinnande. Däremot är det viktigt med tanke på låg energiåtgång och god djurvälstånd att byta utslitna lysrör som flimmar.

Det är bevisat i olika försök med värphöns, slaktkyckling, avels- och slaktkalkoner och avelsgäss, att energieffektiva ljuskällor såsom lysrör eller högtrycks natriumlampor, oavsett intensitet eller spektralfördelning, inte har skadlig effekt på vare sig tillväxt eller reproduktion jämfört med ljus från glödlampor. Lysrör har ingen negativ inverkan vare sig på tillväxthastigheten eller foderomvandlingsförmågan hos slaktkycklingar eller växande kalkoner.

När det gäller att spara energi rekommenderas i första hand dimningsbara lågenergilampor eller lysrör. Båda bör ha en varmvit färgton. Belysning med LED bör studeras noggrannare innan denna typ kan rekommenderas. Som beskrivits tidigare har LED-tekniken en snävare spektralfördelning och saknar ofta UV-ljus. Med ökad kunskap kan ljuskällor med LED utvecklas så att varje art eller hybrid kan få speciellt anpassad spektralfördelning. Då vita ljusdioder har ett ganska brett spektrum, skulle man kunna lägga till några svaga UV-ljusdioder vid 370 eller 400 nm för att komplettera (Kelber, 2012).

Mer forskning krävs även för att ta reda på vad som är lämplig ljusintensitet, ljusfärg och dagslängd för olika djurkategorier så att de kan utföra sina naturliga beteenden.

1 LJUSMILJÖ I DJURSTALLAR

1.1 Inledning

Belysningen använder ca 10 % av elenergin i djurstallar undantaget värphöns där något mera används (Hörndahl & Neuman, 2012). Därför är det viktigt att ha ljus på rätt ställe och att använda så energieffektiva ljuskällor som möjligt. För att minska energianvändningen kan man utnyttja dagsljuset så mycket som möjligt t.ex. genom att använda ljussensorer som dimmar eller släcker belysningen när dagsljuset är tillräckligt. Dagsljusets betydelse och hur detta kan utnyttjas behandlas inte i denna rapport utan endast hur artificiellt ljus kan användas bättre.

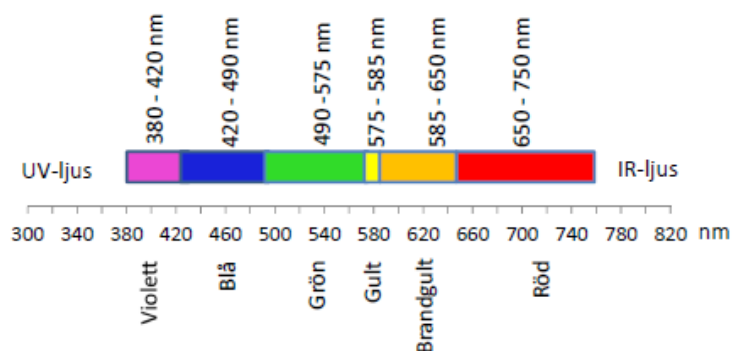
Belysningens uppgift är att ge bra ljusmiljö inomhus. Den ska ersätta solljuset men ska inte orsaka nackdelar som t ex bländning och värmestrålning. Det är ganska väl undersökt vad som är en god ljusmiljö för människor och hur denna kan ordnas med de ljuskällor och armaturer som finns på marknaden. Det pågår också ett intensivt forskningsarbete genom forskningsanslag från Energimyndigheten för att fördjupa denna kunskap.

Ljusmiljön i ett djurstall ska även vara god för djuren. Teoretiskt sett finns det en belysningsstyrka eller känslighetsgräns som fysiologiskt bestämmer vad som är dag respektive natt för respektive djurslag. Sannolikt kan en god ljusmiljö för djuret förenas med en god arbetsmiljö för människan under dagtid. Däremot är funktionen under natten sämre undersökt. Generellt är kunskapsluckorna större inom detta område eftersom forskningen oftast fokuserat på att ge ökad produktion och inte på energieffektivisering eller djurvälstånd.

Målet med denna rapport är att ta fram underlag för energieffektiv belysning och sammanställa forskningsresultat om god ljusmiljö för våra vanligaste djur i lantbruket d.v.s. fjäderfä (värphöns och slaktkyckling), gris, häst samt nötkreatur och genom denna rapport göra resultaten tillgängliga för lantbrukare och rådgivare. Syftet är även att undersöka vad framtida forskning bör inrikta sig på.

1.2 Ljus

Ljus är en typ av elektromagnetisk strålning. Det synliga spektrumet är den del av den elektromagnetiska strålningen som människans öga kan uppfatta. Det finns ingen tydlig gräns på vad som är synligt ljus. Normalt är synligt ljus våglängder från ca 400 nm till ca 700 nanometer (nm), men hos enskilda personer kan det vara våglängder mellan 380 och 780 nm (Starby, 2006). Den kortare våglängden ger blåaktigt ljus och den längre våglängden ger rödaktigt ljus. Våglängder kortare än 380-400 nm kallas för ultraviolet ljus (UV-ljus) och våglängder längre än 780 nm kallas infrarött ljus (IR-ljus).

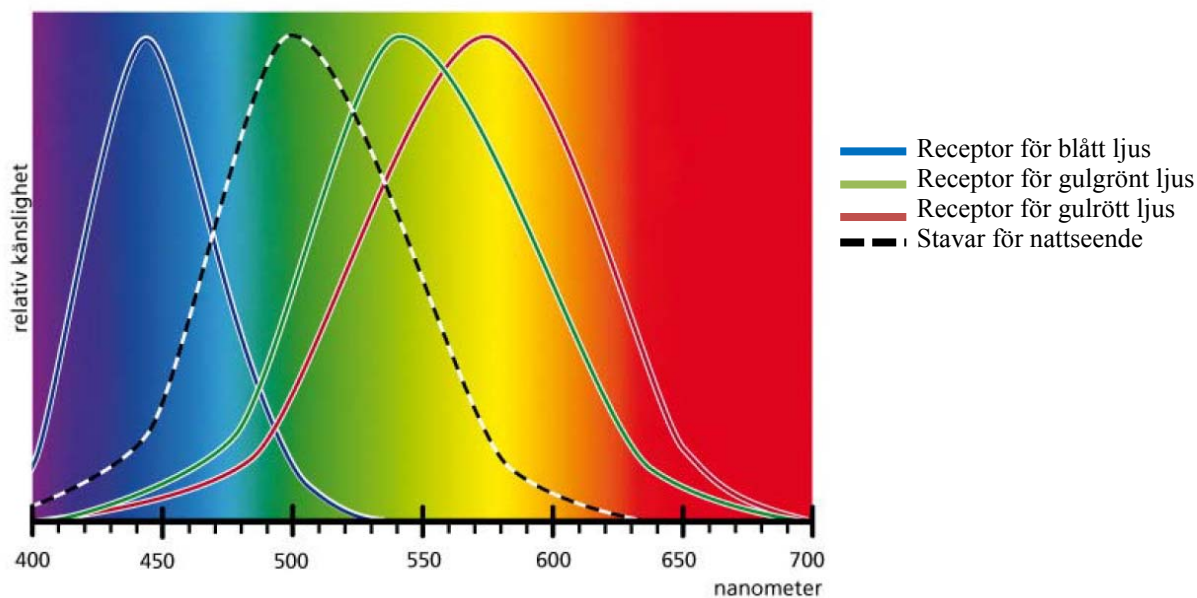


Figur 1. Illustration av spektralfärgernas våglängdsområde samt IR- och UV-ljus (Starby, 2006).

1.3 Hur ser människan?

Människan har i likhet med de djur som behandlas i denna rapport två typer av synceller i ögat (tappar och stavar). Stavarna är mest ljuskänsliga och används för mörkerseende och är mest känsliga för blått ljus. Det innebär att vid sämre ljusförhållanden upphör i stort sett färgseendet och tillslut blir det bara olika nyanser av grått.

Den andra typen av synceller, tapparna, ger färgseende. Hos människan förekommer de i tre olika varianter vilka är maximalt känsliga för våglängderna ca 419 (violett), ca 531 och 558 nm (grönt), figur 2. När tapparna samverkar gör de att människan är mest känslig för ljus med våglängden 555 nm (grönt ljus) (Wineland, 2002).



Figur 2. Illustration av det mänskliga ögats känslighet för olika våglängder (Carlsson, 2010).

1.3 God ljusmiljö

För att ge en god ljusmiljö är det viktigt att ljuset är tillräckligt starkt, på rätt plats, kommer från rätt håll och har rätt färgsammansättning men inte upplevs som bländande. Detta gäller sannolikt även för ett djur. Dock är synsinnet olika utformat med avseende på hur ögonen sitter. Flertalet djur har ett mycket bredare synfält än människan vilket gör att de lätt uppfattar rörelser. De har å andra sidan sämre avståndsbedömning eftersom synfältet från respektive öga inte överlappar varandra lika mycket. Jämfört med gris, häst och nötkreatur har hönsfåglar mycket bättre synskärpa.

Människans öga är mest känsligt för tre våglängder av ljus; blått, grönt och gulrött sk trikromat-seende. Fjäderfä är känslig för samma färger som människan men de uppfattar även UV-ljus. Nötkreatur, gris och häst har bara receptorer för blått och gröngult ljus. Detta kallas för dikromat-seende. Denna skillnad i färgseende mellan tri- och dikromata kan liknas vid människor som är färgblinda. I figur 3 visas en jämförelse av hur människan upplever färger jämfört med hur man tror att hästen ser samma färger (Carroll et al., 2001). Notera att de kan uppfatta ljus med våglängder av det människan anser vara rött ljus. Nötkreatur, gris och häst m.fl. ser det som grått ljus med lägre intensitet.



Figur 3. Illustration av hur människan (till vänster) uppfattar olika färger jämfört med hur hästen uppfattar samma färger (till höger) (Carroll et al., 2001).

1.5 Belysningstekniska begrepp

Inom belysningstekniken används begrepp som kan behöva en förklaring.

Ljuskälla	genererar ljuset tex lysrör, halogenlampa, LED-lampa m fl.
Armatur	är det som ljuskällan monteras i och fördelar ljusflödet i lokalen.
Ljusflöde	är den mängd ljus som en ljuskälla avger oavsett riktning. Beroende på ljuskällans konstruktion ger den mer eller mindre ljus i förhållande till den energi som den tillförs. Ljusflöde mäts i enheten lumen (lm).

Ljusstyrka	är ljusflödet i en viss riktning. Det används för att beskriva hur en armatur fördelar ljusflödet. Ljusstyrka mäts i Candela (cd).
Belysningsstyrka Ljusintensitet Illuminans	beskriver ljusflödet <u>på en yta</u> och kallas ibland för ”illuminans”. Avståndet till ljuskällan och armaturen (ljusets fördelning) påverkar mycket. Belysningsstyrka, ljusintensitet och illuminans används synonymt och mäts i lux ($lx=lm/m^2$).
Luminans	beskriver hur ljuset reflekteras från olika material. Detta påverkar hur man upplever allmänbelysningen i lokalen. Luminans mäts i candela per kvadratmeter (cd/m^2).
Färgåtergivning	beskriver hur väl färger återges jämfört med dagsljus utomhus. Detta påverkas av vilket färgspektrum som ljuskällan avger och anges i R_a -index där $R_a=100$ är dagsljus. Lågtrycksnatriumlampan har det sämsta värdet ($R_a=11$) eftersom den endast avger ljus med en våglängd.
Färgtemperatur	beskriver hur vi upplever ljuset från ljuskällan. En hög färgtemperatur (över 4000 K) upplevs som kallt (blåaktigt ljus) medan en lägre (under 3000 K) upplevs som varmare eller rödare. K betyder Kelvin och är en temperaturskala.
Energieffektivitet Ljusutbyte	beskriver hur mycket ljus som erhålls i förhållande till hur mycket elektrisk energi som tillförs. Energieffektivitet och ljusutbyte används synonymt och mäts i lm/W .
Dagsljus Naturligt ljus	Ljus från solen, endera ute eller det som kommer in genom ljusinsläpp t ex fönster.

1.6 Belysningsstyrka (alternativ ljusintensitet, illuminans)

Belysningsstyrkan (lux) beskriver hur människan upplever ljusstyrkan på det aktuella området och det är viktigt att komma ihåg att det är just detta mätvärdet anger. Ett djurs öga uppfattar sannolikt ljusförhållandena annorlunda. I tabell 1 framgår belysningsstyrkan vid olika naturliga förhållanden. Den upplevda ljusstyrkan (lux) påverkas av hur mycket ljus (ljusflöde) som en ljuskälla sänder ut samt hur stor yta detta ljus träffar. Därför är avståndet mellan belyst föremål och ljuskällan en viktig faktor eftersom avståndet gör att ljuset sprids på större yta. Genom att välja armatur kan man få ljuset mer eller mindre koncentrerat.

Tabell 1. Några exempel på ljusnivåer (Starby, 2006)

Ljusförhållanden	Belysningsstyrka
Direkt solljus	100 000 lux
Dagsljus, molnig himmel	5 000 lux
Gatubelysning	5 - 30 lux
Fullmåne, klar natt	0,25 lux

Allmänbelysning för människor bör vara utformad så att det inte uppstår mörkare zoner utan att belysningsstyrkan är likartad i hela lokalen. Om någon arbetsuppgift kräver högre ljusintensitet bör det inte vara stor skillnad mellan omgivning och

arbetsyta. Exempelvis bör en arbetsyta med 500 lux ha 300 lux i omgivningen. Regler för arbetsmiljön anger även att människor inte ska bländas.

Belysningen skall anpassas till aktiviteten i rummet (tabell 2). Minst 200 lux rekommenderas i lokaler där människor vistas under längre tid. För att man ska kunna utföra mer krävande arbete t ex kontroll- eller skrivarbete krävs 300-750 lux på arbetsytan (tabell 2).

Tabell 2. Ljusbehov för olika arbetsplatser enligt Arbetsmiljöverket (SS-EN 12464-1)

	Belysningsstyrka på		Lägsta R _a -
	arbetsyta	omgivning	index
Transportvägar utomhus	20 lux		40
Lagerlokaler	100 lux	100 lux	60
Normal allmänbelysning, korridorer etc.	100 lux	100 lux	40
Sjuk- och behandlingsboxar i lantbruk	200 lux	100 lux	80
Blandning av foder, mjölkning etc.	200 lux	100 lux	80
Allmän belysning, parkeringshus	75 lux	75 lux	20
Monteringsarbete	500 lux	200 lux	80
Avsugning, kontroll	1000 lux	500 lux	80

1.7 Mätning av belysningsstyrka

Mätningen av genomsnittlig belysningsstyrka i en större lokal sker genom att rummet delas upp i ett rutmönster med sidan 0,5-3 m beroende på lokalens storlek. I centrum av varje ruta placeras en mätpunkt. När man mäter ljusmiljön för människor ska avståndet över golvet vara 0,7 m för sittande arbete och 0,85 m för stående. I de studier som redovisas i denna rapport är dessa parametrar endast specificerade i undantagsfall.

1.8 Färgtemperatur och färgåtergivning

Tack vare vårt färgseende så kan människan uppfatta skillnader i de olika färgernas fördelning (spektralfördelning) från en ljuskällan med "vitt ljus". För att beskriva detta används begreppet färgtemperatur vilken har enheten Kelvin (K). En färgtemperatur under 3000 K innehåller mer ljus i det röda våglängdsområdet och upplevs därför som varmare. En högre färgtemperatur (över 4000 K) har mera av ljuset från det blå våglängdsområdet. Detta ljus upplevs som kallare. I Sverige används vanligast 2700-3000 K även kallad "varmvit" i bostäder eftersom den upplevs som behagligare vid normal ljusintensitet. Hög färgtemperatur (4000 K) bör endast användas vid hög ljusintensitet. Ännu högre ljusstemperatur används mycket sällan.

Beroende på konstruktion avger ljuskällan olika spektralfördelning. För att en färg på ett föremål ska kunna återges måste just den våglängden reflekteras från ytan. Om våglängden inte ingår i ljuskällans ljus, eller ingår väldigt svagt kommer inte färgen att synas. Det är då helt andra våglängder som reflekteras och vi kommer således att uppfatta det som andra färger. Ett exempel på ljuskälla med dålig färgåtergivning är

lågtrycksnatriumlampor som bara avger gul-orange ljus. I ljus från en sådan blir allt gult eller nyanser av svart.

För att beskriva hur väl färger återges används ett index - R_a -index - som jämför ljuskällans ljus med det som erhålls från solen som då får R_a -index 100. I lokaler där man vistas under en längre tid bör R_a -index inte vara under 80 och helst över 85. Flertalet ljuskällor som är vanliga inomhus har R_a -index mellan 80-90 vilket framgår av tabell 3.

Tabell 3. Några ljuskällor och exempel på färgtemperatur och R_a -index för dessa.

	Färgtemperatur	Färgåtergivningsindex
Solen	6000 K	$R_a=100$
Högtrycksnatrium, utomhus	2000-2500 K	60-80
Kvicksilverlampa utomhus	3000-6500 K	50-60
Lysrör – dagsljus	4000 K	80-90
Lysrör fullfärg	<3300 K	85
Lysrör fullfärg special	<3300 K	95-98
Glödlampa	2500 K	100
Stearinljus	2000 K	

1.9 Referenser ljusmiljö

- Carlsson, C. 2010. Mänskliga ögats känslighet för olika våglängder. Utdrag ur Nationalencyklopedien.
- Carroll, J., Murphy, C.J., Neitz, M., James N. Ver Hoeve, J. N. & Neitz, J. 2001. Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse. *Journal of Vision*, 1, 80-87.
- Hörndahl, T. & 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
- Starby, L. 2006. En bok om belysning. Ljuskultur. Stockholm
- SS-EN 12464-1. Svensk Standard, 2003. Ljus och belysning. Del 1. Arbetsplatser inomhus. Swedish Standard Institute. Stockholm.
- Wineland, M., 2002. Fundamentals of managing light for poultry. In: Bell, D.D, Weaver W.D. JR. (EDs.), *Commercial chicken meat and egg production*. 5 Edition, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, U.S.A.

2 BELYSNINGSTEKNIK

2.1 Inledning



Belysningen använder ca 10 % av elenergin i djurstallar undantaget värphöns där något mera används (Hörndahl & Neuman, 2012). Därför är det viktigt att ha ljus på rätt ställe och att använda så energieffektiva ljuskällor som möjligt. För att minska energianvändningen kan man utnyttja dagsljuset så mycket som möjligt t ex genom att använda ljussensorer som dimmar eller släcker belysningen när dagsljuset är tillräckligt.

När det gäller projektering av belysning för lantbrukets byggnader används sällan en belysningskonsult utan man utgår från äldre riktvärden av Sundahl (1977) som bygger på installerad effekt i förhållande till golvytans storlek (W/m^2). Installerad effekt avser armaturer med glödlampa respektive lysrör vilka i ovanstående kartläggning gav erforderlig ljusstyrka. Om installationen sker med avseende på ovanstående rekommendationer kommer högre ljusintensitet än avsett att erhållas beroende på att energieffektiviteten (lm/W) är högre med moderna ljuskällor och driftsdon än med de äldre som rekommendationerna baseras på. Man installerar följaktligen högre effekt än vad som är nödvändigt, vilket leder till onödigt höga kostnader både för installation och drift vilket styrks av kartläggningar där belysning kostar studerats (Jørgensen, 2006; Haraldsson & Henrysson, 2011). Studierna visar att endast 1 av 14 stall inte uppnådde en belysningsstyrka på 100 lux (rekommenderad av Sundahl, 1977). Övriga hade medelvärden på 300-500 lux.

För att uppnå de rekommenderade värdena för belysningsstyrka använder idag specialister på belysning, datorprogram av typen Dialux (Dial, 2010) där man utifrån lokalens mått, väggmaterialens färg och struktur, väljer lämpliga armaturer och ljuskällor så att önskad belysningsstyrka (lux) och ljusfördelning erhålls. Ljuskällorna definieras med både ljusflöde och spridningsvinkel för att även ge en jämn belysning när så krävs (Starby & Mattsson, 1980).

2.2 Armaturer

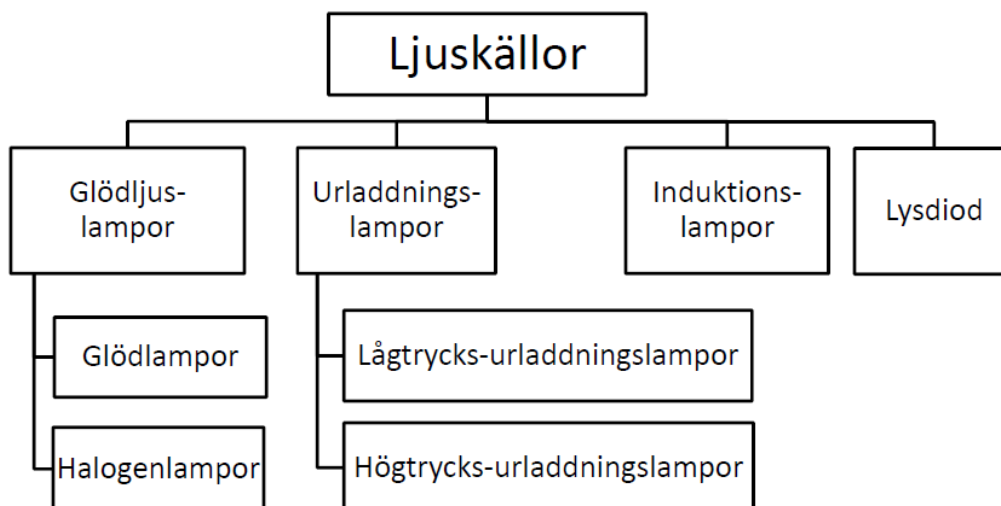
Armatur kallas den anordning som lampan (ljuskällan) sitter monterad i. Den ska vara anpassad för respektive ljuskälla så att den fördelar ljuset på ett bra sätt. Flertalet ljuskällor blir dock ganska varma och de kan därför utgöra en brandrisk. Därför är det viktigt att armaturen är tillräckligt tät mot damm och fukt samt att utsidan inte blir för varm. Starkströmsföreskrifterna och försäkringsbolagen kräver att armaturen minst ska ha IP-klass 54 för flertalet lokaler i lantbruket.

När det finns risk för att damm samlas på armaturen är det extra stor brandrisk. Därför får inte armaturen bli varmare än $90^{\circ}C$. Om den uppfyller detta krav är den märkt med  vilket ersätter det tidigare ”T”-märket. Om armaturen monteras på brännbart underlag måste den även vara godkänd för denna montering. Då ska  abolen finnas på armaturen. Det är också viktigt att armaturen är CE-märkt och att materialet tål miljön (gaser, fukt etc) så att den fortsätter att vara tät under hela dess livslängd. För

mera information om detta kontakta ditt försäkringsbolag eller läs i Handbok för elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet (Lantbrukets Brandskydds-kommité, 2011).

2.3 Ljuskällor

Ljuskällorna delas in efter hur ljuset genereras. De kan delas in i fyra huvudgrupper; glödljus, urladdningslampor, lysdioder och induktionslampor. I gruppen glödljus ingår den traditionella glödlampan samt halogenlampan. Lysrör och lysrörslampor ingår i gruppen urladdningslampor med "lågt tryck". Det finns även urladdningslampor av högtrycks-typ. Till denna grupp hör kvicksilverlampan, metallhalogenlampan och natriumlampan. Induktionslampan är mycket lik lysrör men tänds med induktion istället för med tändare. Det senaste tillskottet är lysdioder. De har funnits länge men har först på senare tid framställts med så hög ljuseffekt att de kan användas för allmän belysning.

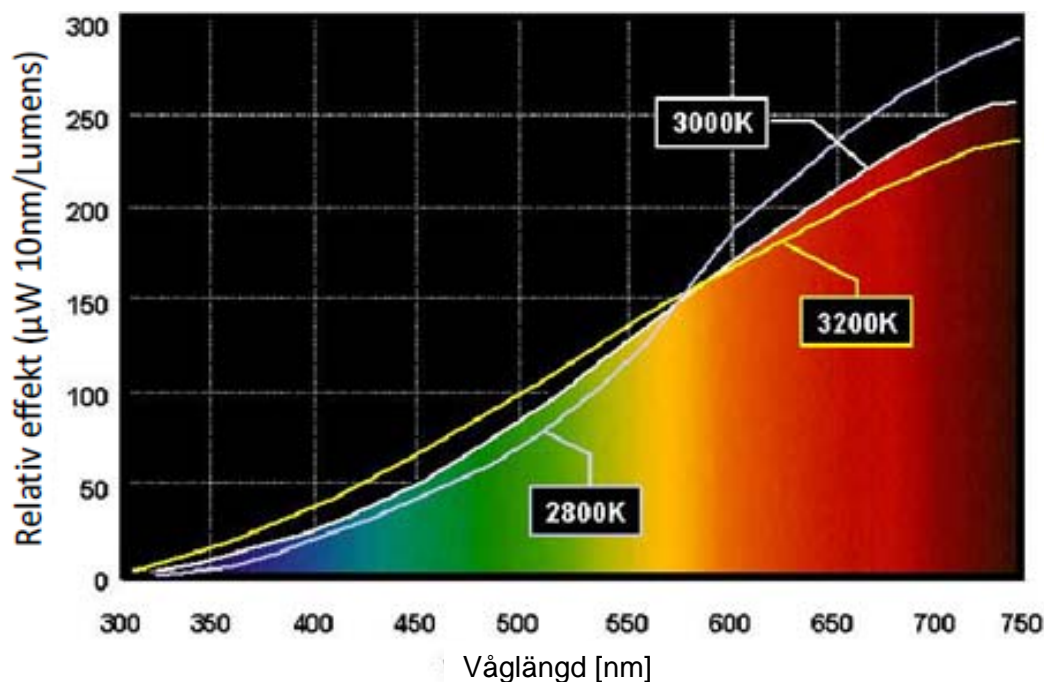


2.4 Glödljus

I denna grupp finns *glödlampan* och *halogenlampan*. På grund av sitt dåliga ljusutbyte så finns inte vanliga glödlampor till försäljning längre. Många studier är dock utförda med denna typ av ljuskälla. *Halogenlampan* är en vidareutveckling av glödlampan. Den har både en högre energieffektivitet (20-33 lm/W) och längre livslängd. Den har god färgåtergivning (RA-index ≈ 100) och färgtemperaturen ligger ofta mellan 3000 och 3400 K. Halogenlampor finns både som lågvoltslampor (12/24 V) och som lampor för normalspänning (240 V).

I figur 4 visas spektralfördelningen för en lampa med glödljus. Den ska tolkas som att den ger förhållandevis lite blått och grönt ljus men förhållandevis mera av det röda och infraröda ljuset. Den är mindre energieffektiv eftersom mycket av dess strålning blir värme. Spektralfördelningen är ett typiskt mönster för alla lampor i denna grupp. Det framgår även att ljus med lägre ljustemperatur avger förhållandevis mer rött och

infraröttljus. Vid dimning förändras spektralfördelningen hos glödljuslampor och ljuset blir rödare.



Figur 4. Exempel på spektralfördelning från glödljuslampor med tre olika färgtemperaturer. "Relativ effekt" är energieffektiviteten uppmätt för ett frekvensområde av 10 nm. (GE lighting, 2012).

2.5 Lysrör och kompaktlysör

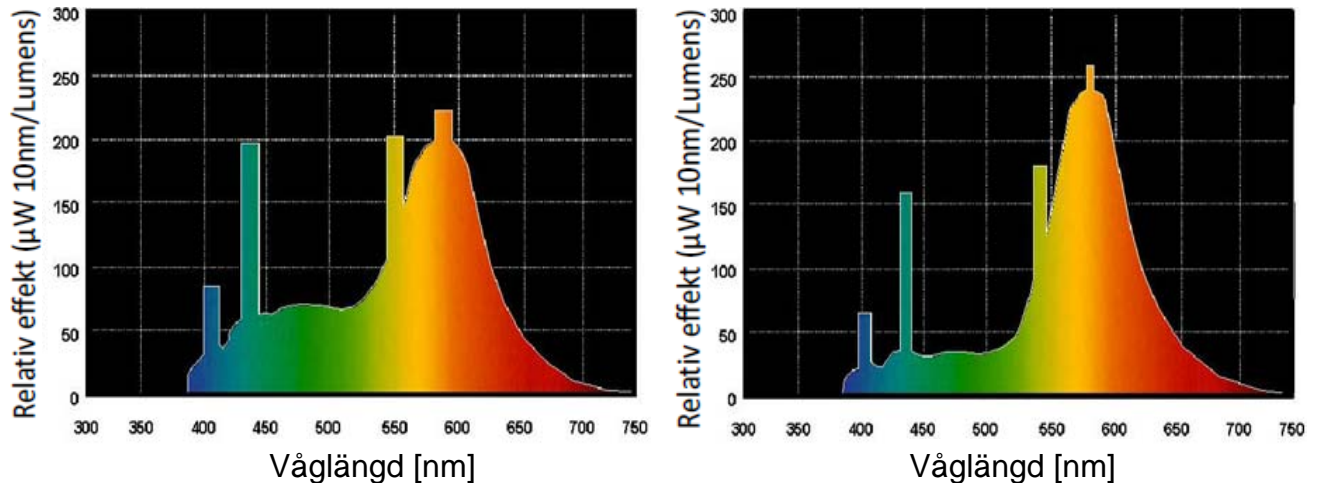
Lysrör och kompakt-lysör räknas till gruppen lågtrycks-urladdningslampor. Lysör finns i två typer T8 respektive T5 där den senare är mest energieffektiv (67-104 lm/W) jämfört med T8 (64-89 lm/W). Den högre effektiviteten erhålls bl.a. genom att man till T5 ofta har elektroniskt driftsdon även kallade HF-don som arbetar med högre tändfrekvens. Den äldre typen (T8) använder ett elektromekaniskt driftsdon vilket är mindre energieffektivt och har kortare teknisk livslängd. Den nyare typen (T5) kan även dimmas till lägre ljusflöde.

Det finns en adapter så att man kan använda de energisnålare T5 lysörerna i armaturer avsedda för T8- teknik (e-Ressource, 2013). Det finns även ljuskällor med LED-teknik som passar i dessa armaturer (LED-system, 2012)

Lysörerna är anpassade för en omgivningstemperatur på 25°C. Vid låg omgivningstemperatur är de vanligaste lysörerna mindre effektiva och det tar längre tid innan de tänds och lyser med full styrka. Det finns dock lysör speciellt anpassade för låga temperaturer. Därför är det viktigt att välja den typ som är anpassad till driftsförhållandena. En nackdel med alla lysör är att de innehåller kvicksilver vilket är ett problem vid återvinning.

Äldre lysör gav bara ljus av ett fåtal våglängder och återgav färger dåligt. Idag är s.k. fullfärgslysör vanliga. De har ofta ett RA-index med 80-85. Det finns även lysör med ännu bättre färgåtergivning. Färgtemperaturen kan fås mellan 2700 och 8000 K

men deras färgtemperatur beskrivs ofta med ord som varm (2700 K), varmvit (3000 K), vit (3300-5300 K) respektive dagsljus (5000 K). I figur 5 nedan visas spektralfördelningen för ett lysrör med vit respektive varmvit utförande. De tydliga topparna i diagrammet kommer från kvicksilvret (blå) och övriga ämnen i det sk lyspulvret som aktiveras när gasen i röret antänds. Lysrör och lysrörslampor avger en lite del UV-A ljus (>400 nm).



Figur 5. Spektralfördelningen från lysrör med kall färgton, över 5000 K (vänster) och till höger varmvit färgton, ca 3000 K (GE-lighting, 2012).

Det finns även varianter av lysröret. Den ena typen är det sk *kompaktlysroret* som är anpassade för särskilda armaturer vilka innehåller driftsdon till ljuskällan. Den andra typen är *lysörslampan* där ljuskälla och driftsdon byggts samman. Den är avsedd att ersätta glödlampa i E27 och E14 socklar. Se figur 6. Färgåtergivning, färgtemperatur är liknande det som erhålls för lysröret, medan ljusutbytet dock är något sämre.



Figur 6. Exempel på lysrörslampor anpassade för E27 sockel (till vänster) och kompaktlysror till höger.

2.6 Induktionslampan

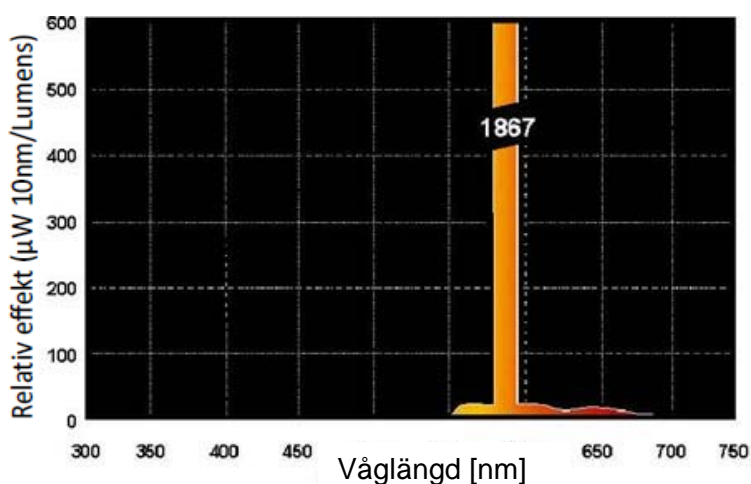
Induktionslampan är mycket snarlik lysröret till sin konstruktion men här är det en spole som genererar ett högfrekvent magnetfält som tänder gasen i röret. Ljus kvaliteten motsvarar ett lysrör med fullfärg. Färgåtergivningen har Ra-index >80. Ljusutbytet är vanligtvis 65-80 lm/W. Denna ljuskälla har mycket lång livslängd (upp till 100 000 timmar). Ljuskällan används därför i lokaler med hög takhöjd eller utomhus där det är komplicerat och dyrt att göra lampbyten, se figur 7.



Figur 7. Exempel på induktionslampa (Wikimedia commons, 2012).

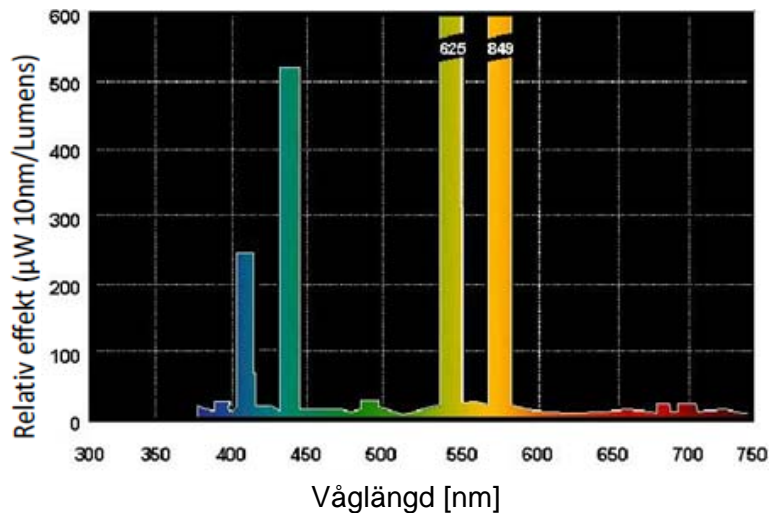
2.7 Övriga urladdningslampor

Dessa ljuskällor har lång livslängd, är mycket energieffektiva (70-200 lm/W) och kan erhållas med hög effekt. Därför används de som strålkastare och vägbelysningar. Några typer har dålig färgåtergivning och de har därför begränsad användning i jordbruket. Till denna kategori hör *lågtrycksnatrium-lampan* som bara ger ljus av en våglängd och återger inte färger alls (figur 8). Däremot är det den ljuskälla som har allra bäst ljusutbyte (200 lm/W).



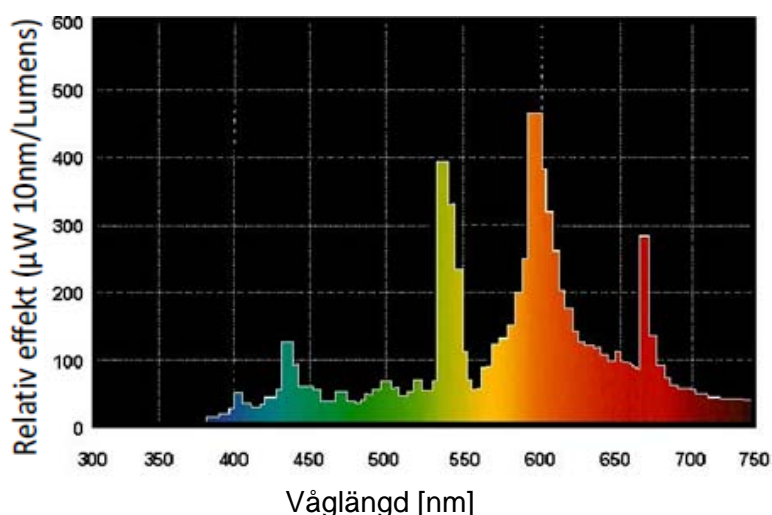
Figur 8. Spektralfördelningen från en lågtrycks-natriumlampa (GE-lighting, 2012).

Kvicksilverlampan är en lampa som är vanlig i lantbruket som gårdsbelysning. Den har en färgtemperatur på 3300–3800 K men har något lägre ljusutbyte jämfört med lysröret (60 lm/W). Färgåtergivningningen är mellan R_a 50 och 60. Det tar ganska lång tid att tända lampan (5-6 min innan fullt ljusflöde) men den största nackdelen är att lampan måste kallna innan den kan tändas igen. Dessutom innehåller den kvicksilver vilket är ett problem vid återvinningen. En viktig fördel är att omgivningstemperaturen inte spelar någon roll vilket gör den lämplig utomhus.



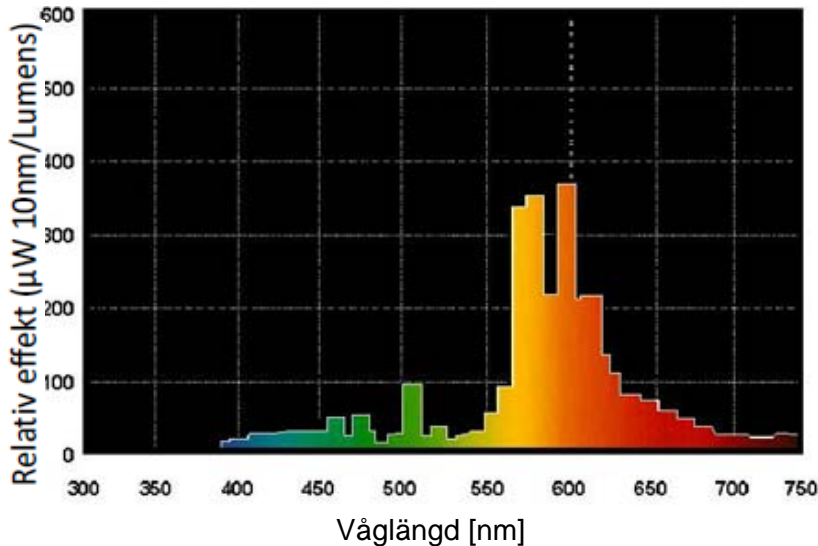
Figur 9. Spektralfördelningen från en klar kvicksilverlampan (GE-lighting, 2012).

Metallhalogenlampan är en vidareutveckling av kvicksilverlampan men har betydligt bättre färgåtergivning. De finns i flera varianter men den som är mest intressant för belysning i djurstallar är den variant som har brännare av keramiskt material. Moderna lampor kan även dimmas utan att ljusfärgen ändras. Den kan fås i färgtemperatur omkring 3000 K vilket ger en varmvit till neutral karaktär. R_a -index upp till 95 och energieffektiviteten är 70-86 lm/W. En nackdel är att det tar lång tid (4-5 minuter) innan lampan lyser med full effekt.



Figur 10. Spektralfördelningen från en metall-halogenlampan (HID 3000K) (GE-lighting, 2012).

En annan lampa som kan passa i djurstall är högtrycksnatriumlampen ibland kallas den HID (Hight Intensity Discharge). Den är energieffektivare än metallhalogenlampan (80-100 lm/W). Färgtemperaturen är också något lägre (2000-2500 K) och den upplevs därför ge ett behagligare ljus. Även denna lampa tar lite tid på sig innan den ger full ljuseffekt men tiden är mycket kortare (ca 2 min) än för kvicksilver- och metallhalogenlampan.

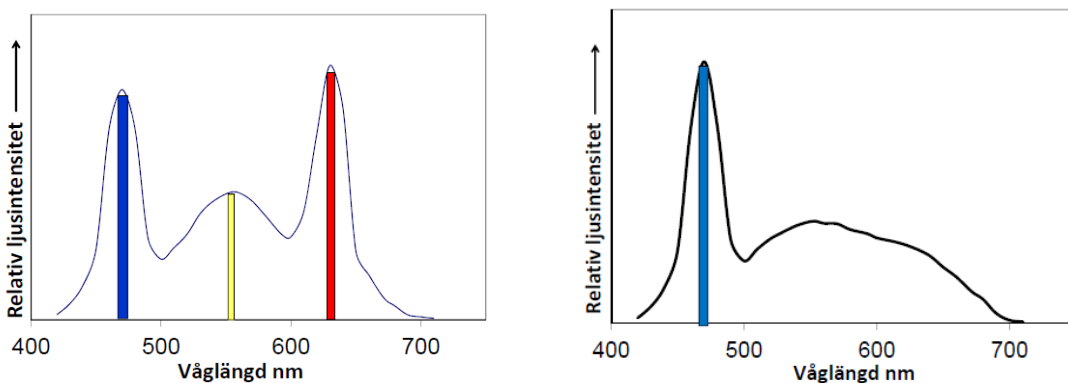


Figur 11. Spektralfördelningen från en högtrycksnatriumlampa (GE-lighting, 2012).

2.8 Lysdiod - LED

Denna ljuskälla är mycket olik tidigare beskrivna lampor genom att den består av flera små enheter (dioder) som alstrar ljus. Varje sådan enhet ger ljus med en bestämd färg.

För att få vitt ljus finns två lösningar. Endera kombineras dioder som ger rött, blått och grönt ljus som visas i den vänstra bilden i figur 12, vänstra bilden. Den andra lösningen är att använda en diod med blått ljus. Lampan är omgiven av lyspulver som då ger övriga färger enligt samma princip som i lysrören, figur 12, högra bilden. Det finns således stora möjligheter att i framtiden göra speciellt anpassade ljuskällor.



Figur 12. Två olika principer för att få vitt ljus med lysdioder. I vänstra figuren används tre lysdioder med olika färg och i högra figuren används en lysdiod med blått ljus som även aktiverar lyspulver vilka ger ljus med andra våglängder (Starby, 2006).

Att flera lysdioder måste kombineras är ingen nackdel eftersom varje enhet har låg effekt och att det ändå krävs många dioder för att erhålla tillräckligt ljusflöde. Färgtemperaturen kan variera mycket, från 2700 K och uppåt. R_a -index är minst 80, ofta mycket högre. Energieffektiviteten är i nivå med de bästa lysrören (40-100 lm/W) och förbättras hela tiden. LED-lamporna avger varken IR- eller UV-ljus.

LED-lamporna ger maximalt ljusflöde omedelbart vilket gör dem till goda ersättare för glödlampan. De blir i likhet med andra ljuskällor varma och måste få god kylning, men de är mindre känsliga för omgivande temperatur än övriga ljuskällor oavsett om temperaturen är hög eller låg.

Ljuskällor som använder LED-teknik finns i en mängd utföranden. Idag finns lampor som ser ut som glödlampor och passar i de vanligaste socklarna E14, E27, GU5, GU10 mfl. Det finns även ljuskällor med LED-teknik som utan ombyggnad kan sättas i konventionella lysrörsarmaturer (LED-system, 2012). Utöver dessa varianter finns det i form av ljuslister, paneler, downlights etc för olika typ av montering.



Figur 13. Exempel på LED-lampor som passar i sockelstandard GU10, E27 samt kan ersätta T8- lysrör (foto, ledlysrör LED-System).

2.9 Sammanfattning

- För att få bra belysning med låg energiinsats måste man använda moderna projekteringsverktyg som tar hänsyn till ljuskälla, armatur och dess placering samt reflektionen från väggar, golv, tak och djur.
- För att ordna energieffektiv belysningen med brett ljusspektrum i djurstallar är i dagsläget lysrör och s.k. lågenergilampor förstahandsvalet eftersom de passar i befintliga armaturer.
- Lysdioder (LED) är ett intressant alternativ i den mån tillräcklig ljusflöde kan erhållas och spektralfördelningen är lämplig för djurslaget.
- Metallhalogen- och högtrycksnatriumlampor med dagsljusliknande spektralfördelning kan vara ett alternativ vid nybyggnad eller när all belysningsel ska bytas ut.
- Ljusutbytet (lm/W) varierar mycket inom respektive typ av ljuskälla. Därför finns mycket energi att spara genom att välja den ljuskälla som är effektivast inom respektive typ.

2.10 Referenser belysningsteknik

- e- Ressource. 2013. Etalux Pro. e- Ressource Deutschland GmbH. Kirrchheim under Teck. Tyskland. www.e-ressource.eu/
- GE-Lighting. 2012. Spectral Power Distribution Curves. General Electric Company. www.gelighting.com/na/business_lighting/spectral_power_distribution_curves/
- Lantbrukets Brandskyddskommité. 2011. Handbok för elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet. Stockholm.
- LED –system. 2013. Produktblad LED-system fastighet. LED-system, Lund. www.ledsystem.se/
- Haraldsson, L. & Henrysson. H. 2011. Belysning – i stallar för mjölkkor. Självständigt arbete vid LTJ Fakulteten. Alnarp. SLU/LBT.
- Hörndahl, T. & 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
- Jørgensen, C. 2006. Lys i kvægestalde. FramTest, Bygninger nr 32A. Dansk Landbrugsrådgivning. Landcentret. Dansk Kvæg.
- Philips. 2012. Lighting, <http://www.ecat.lighting.philips.se/l/ljuskaellor/lysroer/>
- Starby, L. 2006. En bok om belysning. Ljuskultur. Stockholm.
- Starby, L. & Mattsson, B. 1980. Fakta om el: Ljuset. Ingenjörsläroverket, Stockholm.
- Sundahl, A-M. 1977. Belysning i Lantbruksbyggnader. Rapport 243. Aktuellt från Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Wikipedia commons. 2012. <http://commons.wikimedia.org/induction.jpg>

3 NÖTKREATUR

3.1 Introduktion

Ljus betraktas som en självklar del i vardagen för att bl.a. kunna fullfölja arbetsuppgifter under olika årstider. För mjölkproducenten kan dagsljuslängd och ljusstyrka i stallet ha betydelse för ökad mjölkavkastning enligt flera forskare (Peters et al., 1978; Miller et al., 2000; Dahl et al., 2000; Gavan & Motorga, 2009). Andra orsaker kan vara att det lätt ska gå att kontrollera djuren vid olika tidpunkter på dygnet och ge korna möjlighet till foder och mjölkningstillfälle vid robotmjölkning.

Enligt Jordbruksverkets Föreskrifter (SJVFS 2010:15) ska nötkreatur ha tillgång till ljus från fönster eller annat insläpp av dagsljus. Belysningen ska vara fast monterad som inte förorsakar djuren obehag och som medger att tillsyn kan utövas utan svårigheter. Mjölkkostallar ska ha en dämpad belysning under dygnets mörka timmar.

I Teknisk specifikation (SIS-TS 37:2012) rekommenderas 100-150 lux belysning för mjölkkor och ungdjur dagtid och för att uppfylla kravet på nattljus rekommenderas att armaturer hålls tända så att ca 5 lux erhålls. Det finns ingen rekommendation om jämnt fördelat nattljus. I övrigt utförs belysningsinstallationen så att kraven på god arbetsmiljö och säker elinstallation uppfylls.

3.2 Hur ser kor?

Nötkreaturs högsta spektrala ljuskänslighet uppträder vid våglängderna 455 och 554 nm (Jacobs et al., 1998), vilket innebär att nötkreatur har ett dikromatiskt seende, men hur väl landlevande däggdjur kan åtskilja färger är svårt att förutsäga baserat endast på kunskap om deras spektrala ljuskänslighet (Jacobs, 1993), delvis beroende av hur ljusets våglängd påverkas då det absorberas av linsen och *tapetum lucidum*, ett reflekterande skikt bakom näthinnan (Jacobs et al., 1998).

Mjölkkor har stora ögon med en hög koncentration av stavar, cirka fem eller sex stavar per tapp vid näthinnans periferi samt *tapetum* (Rochon-Duvigneaud, 1943) och är därför väl anpassade för små ljusmängder. De har inte ett koncentrerat detaljseende samlat i en punkt på näthinnan, som hos människan, utan har ett brett band med hög koncentration av synceller vilket förmodas ge dem god syn på långt håll (Heffner & Heffner, 1992).

Nötkreatur kunde skilja på ljus med lång våglängd (röd) från kort våglängd (blå) eller medium våglängd (grön). Ljusets bestod av kort (415 nm), medium (525 nm) respektive lång våglängd (635 nm). Jämfört med människor, har nötkreatur en mycket begränsad förmåga att skilja på ljus med medium (grön) våglängd från kort våglängd (blå). Orsaken är nötkreaturs dikromatiska seende, till skillnad från de flesta människor som är trikromatiska (trefärgsseende). Den maximala våglängd hos ljus som nötkreatur kunde uppfatta var cirka 620 nm (orange) enligt Phillips & Lomas (2001).

Följande studier har undersökt nötkreaturens synförmåga genom olika typer av valförsök. Nötkreatur kan skilja på olika former och mönster. Kalvar kan i allmänhet

skilja på fyrkanter, trianglar, cirklar och olika kombinationer av stänger (Baldwin, 1981).

Syftet har varit att ta reda på hur djur kommunicerar och hur väl djur uppfattar sin omgivning. I en studie utfördes beteendetester för att bestämma synskärpan hos tre kvingor (Entsu et al., 1992). Två föremål användes, en öppen ring (utan belöning) och en sluten ring skulle identifieras för att få belöning i fodertråg. Efter träning bedömdes kvingornas synskärpa genom att föremålets storlek minskades och att avståndet till föremålen ökades. Resultaten visade att kvingorna endast hade en visuell upplösning motsvarande 8% av standardgränsvärdet för människa. Studien utfördes endast med en belysningsstyrka.

Phillips & Weiguo (1991) testade förmågan hos sex kalvar och sex människor att skilja mellan olika ljusintensiteter, 3 respektive 120 lux. Kalvarna visade konsekvent sämre förmåga än människor att skilja på svagare och starkare belysningsstyrka.

Vuxna tjurar tränades att känna igen en svart skiva och sedan skilja denna skiva från mindre skivor (Rehkämper & Görlach, 1997). Tjurarnas inläring var mycket långsammare än hos kalvar. En 36 cm skiva var enkel att påvisa och skilja från mindre skivor, men tjurarna kunde inte skilja på två skivor där ytorna skilde sig åt med mindre än en faktor 4. Förmågan att använda visuella tecken, som form och storlek, tyder på att det visuella systemet är viktigt hos tjurarnas biologi.

Kalvar som blev rädda (stimuli) förflyttade sig snabbare i ljus med medium (grön) än kort (blå) våglängd för att sätta sig i säkerhet. De närmade sig sin skötare fortare och var mer aktiva i ljus med lång våglängd (röd) än medium (grön) eller kort (blå).

Dessa beteendeförändringar vid ljus med olika våglängder, skulle kunna utnyttjas för att skapa förbättringar av miljön för nötkreatur under speciella situationer (Phillips & Lomas, 2001). Grönt ljus skulle t.ex. kunna användas i slakthus, där nötkreatur upplever rädsla, för att underlätta rörelse. Blått ljus skulle kunna användas i mjölkningsavdelningen för att minska kornas aktivitet för att underlätta mjölkning. Framtida forskning behövs för att prova dessa hypoteser i verkligheten.

3.3 Ljusets hormonpåverkan

Tjugo fem procent av variationen i mjölkavkastning anses bero på ärftliga faktorer medan resterande 75 % anses bero på miljörelaterade faktorer (Bourdon, 1997). Till omgivande miljö ingår påverkan av dagslängd och ljusintensitet vilka har varit föremål för en mängd studier inom flertalet arter av tamdjur.

Ljus som når ögat hos en ko aktiverar vissa hormoner genom reaktion hos epifysen (tallkottkörteln). Den första reaktionen är att skicka en signal som dämpar utsöndringen av hormonet melatonin. Melatoninivån är hög under natten men nästan obefintlig dagtid (Hedlund et al., 1977). Melatonin påverkas även av artificiell belysningsintensitet. Lawson & Kennedy (2001) visade att 400 lux belysning undertryckte melatonin-avsöndring under en 8 timmarsperiod. Om kor har kontinuerlig belysning försvinner skillnaden i melatoninavsöndring och kon förlorar den naturliga dygnsrytmen (Stanisiewski et al., 1988). Ökad utsöndring av melatonin ger avtagande aktivitet, aptit och mjölmängd.

Det dagliga mönstret av melatoninutsöndring används för reglering av sömn men även för utsöndring av ett antal hormoner som påverkar reproduktionscykel och mjölkproduktion. Vid ökat ljus stimulerar epifysen utsöndring av ett hormon (GH) som i sin tur får levern att utsöndra ett insulinlikt tillväxthormon (IGF-1). Ökning av IGF-1 påverkar mjölkkörteln till att öka mjölkproduktionen. Hormonerna GH och prolaktin förbättrar tillsammans juvertillväxten och därigenom mjölkproduktionen (Tucker, 2000).

Det finns en direkt koppling mellan dagslängd och halten prolaktin i blodet (Dahl et al., 2000; Lawson & Kennedy, 2001). Gustafson (1994) visade att prolaktinnivån i mjölk och blod var högre hos mjölkkor som hade 17,5 timmar lång dagslängd i jämförelse med 9,5 timmar dagslängd. Detta tyder på att prolaktin kan användas som en markör för hur ljusets påverkar korna (Gustafson, 1994).

Förändrad dagslängd påverkar mjölkproduktionen markant hos nötkreatur. Dagslängdens betydelse för mjölkavkastningen anses bero på ökad halt av IGF-1, oberoende av koncentrationen av GH hormonet (Spicer et al., 1994; Dahl et al., 2012). Kor som erhåller kort dagslängd (8 timmar ljus, 16 timmar mörker) producerar signifikant mer mjölk under deras nästkommande laktation än kor som utsatts för lång dagslängd (16 timmar ljus, 8 timmar mörker) under sinperioden. Kort dagslängd åtföljdes av minskad prolaktinnivå, medan mjölmängd och förekomst av prolaktinreceptorer i lymf- och mjölkkörtelvävnad ökade. Kor med kort dagslängd hade högre torrsustansintag (ts) av foder under sinperioden men ingen skillnad i ts-intag fanns efter kalvning. Dessa uppgifter stödjer idén att större mottaglighet och känslighet för prolaktin under övergångsperioden före laktationen kan åtföljas av en ökning av mjölkavkastningen i påföljande laktation (Auchtung et al., 2005).

Många producenter anser användandet av svag nattbelysning som acceptabel då inga studier visat negativa produktionseffekter av att använda svag belysning nattetid. Djurarter skiljer sig dramatiskt åt i sin ljuskänslighet, där de mest känsliga är de nattaktiva djuren. Teoretiskt sett finns det en ljusstyrka eller känslighetsgräns för var djurart under vilken djuret inte kommer att uppvisa någon fysiologisk reaktion för belysningen, d.v.s. de uppfattar omgivningen som natt. För får (Arendt & Ravault, 1988) är denna ljusnivå mycket låg (1.0 lux eller lägre) men hur känsliga nötkreatur är för svag belysning hade ännu inte studerats. Tidigare försök hade visade att ljusintensiteten för nattbelysning borde ligga under 50 lux (Lawson & Kennedy, 2001; Kennedy et al., 2004).

För att ta reda på vid vilken belysningstyrka kor upplever att det är natt, utfördes ett försök där melatoninnivåns påverkan av svag belysning (5, 10 och 50 lux) nattetid bestämdes hos 12 kvigor. Resultaten visade att en nattbelysning om 50 lux påverkade nötkreatur fysiologiskt men att ljusintensiteter om 5 och 10 lux inte gjorde det (Muthuramalingam et al., 2006). I försöket provades inte mellanliggande belysningsstyrkor. Vid 50 lux undertrycktes melatoninnivån till 50 % under de första 2 timmarna av natten, men inte därefter. Författaren ansåg att en belysningsstyrka upp till 10 lux inte påverkade kornas melatoninnivå nattetid, dvs att korna upplevde det som natt, samtidigt som ljus finns i stallarna nattetid. I en studie av Berthelot et al. (1990) ökade melatonin-koncentrationen först när belysningsstyrkan understeg 20 lux, medan Bal et al. (2008) visade belysningsstyrkor om 40-60 lux nattetid varken påverkade melatoninnivåer eller mjölkavkastning hos 24 andrakalvande kor.

3.4 Ljusets produktionspåverkan

3.4.1 Ljusets påverkan på kornas aktivitet

I ett försök med olika belysningsstyrkor var syftet att ta reda på i vilken utsträckning kor aktivt valde ljusa eller mörka område att vila i under natten. Studien utfördes i en robotmjölkande besättning där stallet var avdelat med skärm i två identiska halvkor. Korna fördelade sig på samma sätt oavsett belysningsnivå (7 och 200 lux) och ingen skillnad gick att finna i mjölkavkastning (Pettersson & Wiktorsson, 2004).

Kor försöker att vistas så lite som möjligt på mörka gångytor (Phillips & Schofield, 1989; Phillips et al., 2000). Vid belysning under 0.7 lux påverkades deras normala gångmönster negativt, kortare steglängd och kortare steghastighet (Phillips et al., 2000). Däremot var förändringarna i rörelsemönster små vid ljusintensiteter mellan 0.7 och 250 lux jämfört med skillnaderna i rörelsemönster vid oupplysta och belysta förhållanden. En bra belysningsstyrka för nattbelysning kan ligga mellan 32-119 lux enligt Phillips et al. (2000).

Belysningen bör vara jämnt fördelad i hela stallet, eller åtminstone där kor uppfattar ljuset. Att endast placera ljus över foderbordet begränsar ljusets spridning och effekten av extra ljustillskott. Kor med belysning endast över liggbåsraderna tillbringade mer tid i liggbåsen och minskade avsevärt sitt foderintag, mjölkavkastning, kroppsvikt och kondition vid avtagande dagslängd (Phillips et al., 1998), dvs morgon och kväll vintertid var det för mörkt vid foderbordet för att korna skulle ta sig dit.

3.4.2 Mjölkavkastning

Flera studier har under lång tid visat att mjölkkor med utökad dagslängd om 16-18 timmar genomgående ökat sin mjölkproduktion med 8-10% eller 2-3 kg per ko och dag oavsett laktationsstadium (Peters et al., 1981; Gavan & Motorga, 2009; Dahl et al., 2012). För att uppnå denna effekt bör stallet ha en belysningsstyrka om ca 150-200 lux, följt av 6-8 timmars mörker, dvs viloperiod för korna (Dahl et al., 2012). Genom analys av 1538 norska mjölkgårdar fann Reksen et al. (1999) att kor med lång dagslängd (>12 timmar) och nattbelysning hade 0.5 kg högre mjölkavkastning. Tyvärr framgår ej belysningsstyrkan hos nattbelysningen.

Aharoni et al. (2000) undersökte journaler från mer än 2000 kor och fann att dagslängden under de sista 21 dagarna före kalvning var omvänt proportionell mot mjölmängden i nästkommande laktation, d.v.s. kor som erhöll kort dagslängd under sintiden producerade mer mjölk (2.1 kg) per dag än de som fick lång dagslängd under sintiden.

Det finns ingen förtjänst i att förse korna med 24 timmars kontinuerlig belysning. Utan en period av mörker kommer korna att inte kunna avgöra dagslängden, vilket då orsakar att de förlorar sin förmåga att reagera på extra ljustillskott. Kornas nattvila (6-8 timmar) är viktig för att de ska reagera på lång dagslängd (Stanisiewski et al., 1988). Dahl et al. (2006) rekommenderar att svag rödaktig nattbelysning (7-15 W lampor på 7-10 m avstånd, 3 m höjd) används för att kornas dygnsrytm inte ska störas.

Under sinperioden bör korna ha en kort dagslängd. Vid jämförande försök mellan lång (16 timmar ljus) och kort dagslängd (8 timmar ljus) under sintiden kom Velasco et al. (2006) fram till att kor bör ha en kort dagslängd under de sista 42 dagar av

sinperioden för att erhålla högre mjölkavkastning i nästkommande laktation. Kor som inhyses med kort dagslängd producerar 3-4 kg/dag mer mjölk i den efterkommande laktationen än kor som haft lång dagslängd under sinperioden (Miller et al., 2000; Velasco et al., 2006; Dahl et al., 2012). Förklaringen till ökad mjölmängd vid kort dagslängd hos kvigor och sinkor i den efterkommande laktationen anses vara lägre prolaktinnivå och ökad tillväxt hos mjölkörteln under sinperioden (Dahl et al., 2012).

UV-lampor om 250 W och 280-320 nm våglängd placerades på ett avstånd om en meter från 28 mjölkkor. Korna utsattes för för detta ljus under 10 minuter ökande till 30 minuter per dag under 3 månader. I jämförelse med tidigare mjölkavkastning och med obehandlade kor ökade mjölkavkastningen i genomsnitt med 1.62 liter bara under de första två månaderna (Filipov et al., 1992). Människor kan påverkas skadligt av UV-ljus.

3.4.3 Ljusets påverkan på foderkonsumtion

Foderintaget ökar med ökad dagslängd enligt flera studier (Peters et al., 1980; Tucker et al., 1984, Mossberg & Jönsson, 1996). Den största delen av kornas foderintag (80%) sker dagtid, 09.00-21.00 (Tanida et al., 1984), efter fodertilldelning morgon- och kvällstid. Tanida et al. (1984) fann inte att dagslängden påverkade ätbeteendet, ej heller att det fanns något samband mellan mjölkavkastning och ätbeteende. Robotmjölkade kor föredrog en dygnsrytm med mindre mjölkning och utfodring sent på natten och tidiga mornar (Olofsson, 2000). Vidare framkom att korna har större foderintag efter mjölkning än vid andra ättillfällen och mindre under natten. Med andra ord, det finns ingen förtjänst i att förse korna med 24 timmars kontinuerlig belysning ur utfodrings-synpunkt (Peters et al., 1980; Tanida et al., 1984).

Ökad dagslängd påverkar inte mjölkens protein- eller ts- halt. Den orsakar en liten minskning i fetthalt, men den ökade mjölkavkastningen kompenserar mer än väl för minskning i fett och en ökad foderkonsumtion om ca 1.1 kg ts per dag (Dahl et al., 2000; Dahl & Petitclerc, 2003).

Studier av den totala utfodringstiden hos kvigor och sinkor förklarar inte skillnader i foderintag hos kor med kort respektive lång dagslängd (Zinn et al., 1986; Karvetski et al., 2006). Emellertid, har kor med kort dagslängd en förändrad fördelning av ättidens längd vid de olika utfodringstillfällena under dagen än kor med lång dagslängd (Karvetski et al., 2006).

En annan förklaring kan vara att ljustiden påverkar kons kroppssammansättning genom att proteinsyntesen stimuleras vid långa dagar med 16 timmars ljus medan uppbyggnaden av fettdepåer däremot stimuleras vid korta dagar med 8 timmars ljus (Tucker et al., 1984; Zinn et al., 1986).

3.4.4 Ljusets påverkan på tillväxt

Vid en jämförelse av tillväxt hos 1019 kalvar (Aharoni et al., 1997) var den levande vikten 23 kg större vid 350 dagar för de kalvar som började sin slutgödning i januari (ökande dagslängd) vid 150 dagars ålder jämfört med samma ålder och vikt för de kalvar som började sin slutgödning den 1 juli (vikande dagslängd). Skillnaden minskade till 10 kg vid en ålder om 450 dagar. Effekten av kvällsutfodring och utökad dagslängd på tillväxt, slaktkropp och plasm prolaktin undersöktes hos kvigor av kötttraskorsning under två vintrar i Manitoba, Canada (Kennedy et al., 2004). Resultaten tyder på att

både kvällsutfodring och utökad dagslängd kan inverka på tillväxt och fodereffektivitet hos kött djur under vinterutfodring.

Kvigor som erhöll lång dagslängd hade högre tillväxt (Peters et al., 1978; Peticlerc et al., 1983). Stutar reagerar däremot inte med ökad tillväxt vid ökad dagslängd (Tucker et al., 1984), vilket förklaras med att könshormon förmodligen medverkar i dagslängdens påverkan på tillväxt hos nötkreatur. Även Hansen et al. (1983) fann ingen effekt av ökad dagslängd på tillväxten hos kvigor.

Enligt Rius et al. (2005) fick kvigor med lång dagslängd kombinerat med kosttillskott (i våmmen ej nedbrytbart protein, RUP) högre tillväxt än de med kort dagslängd vid jämförelse av kvigornas mank- och höftbenshöjd. Dagslängd kombinerat med RUP ger ett användbart skötselverktyg för att påskynda tillväxt och könsmodnaden utan att begränsa kroppstillväxten vid modern husdjursuppfödning (Rius et al., 2005).

3.4.5 Ljusets påverkan på fertilitet

Fertiliteten hos mjölkkor är som lägst under vinterhalvåret och störst under sommar-höst (Salisbury et al., 1978). Temperaturen har liten inverkan på fertiliteten jämfört med dagslängden vid nordliga latituder. Fruktsamheten för kor i Alaska vid 14 timmars dagslängd mellan oktober och maj var i medeltal 54% jämfört med 49% för kor med 8 timmars dagslängd (Sweetman, 1950). Könsmodnaden inträffar tidigare hos kvigor och tjurar som haft lång dagslängd (Peters et al., 1978; Hansen et al. 1983; Tucker, 1982; Rius et al., 2005).

Small et al (2003) utförde i ett jämförande försök med korsningskvigor (144 st) av köttkor (225 kg) där hälften av djuren endast fick naturligt dagsljus från december till maj och där andra hälften av djuren fick naturligt dagsljus plus 400 lux 1 m ovan mark under 16 timmar per dygn. Vid ett års ålder hade fler kvigor med lång dagslängd uppnått könsmodnaden (85% mot 64%) och högre prolaktinavsöndring vid utomhusuppfödning.

I en studie av Reksen et al. (1999) minskade åldern för första seminerings (4.8 dagar) och inkalvningsåldern (6.6 dagar) vid dagslängd över 12 timmar samt nattbelysning. Tyvärr framgår ej belysningsstyrkan hos nattbelysningen.

3.5 Diskussion

Utgångspunkten har varit att ta reda på vad och hur nötkreatur ser och hur de påverkas av dagsljus, spektralfördelat ljus, olika ljusintensitet och mörker. En annan utgångspunkt har varit att utformningen av belysningen i djurstallar borde utgå från djurens behov och preferenser då det finns goda skäl att anta att djurens välbefinnande, tillväxt, hälsa och produktion (t.ex. mjölk) påverkas av ljusmiljön (Ulrich, 1979; Bourdon, 1997). Eftersom det med modern belysningsteknik finns mycket goda förutsättningar att anpassa belysningen så att den efterliknar naturliga utomhusmiljöer, öppnas intressanta möjligheter att anpassa belysningen så att den förbättrar djurens välbefinnande och produktion utan att arbetsmiljön försämras i stallarna.

Idag läget utformas belysningen utifrån äldre normer vilket medför överdimensionerad belysningseffekt i stallar (Jørgensen, 2006; Haraldsson & Henrysson, 2011). Jordbruksverkets Föreskrifter (SJVFS 2010:15) beskriver endast i generella termer djurens behov av dagsljus, utformning av dag- och nattbelysning. För närvarande finns

inga specificerade uppgifter om belysningskrav utifrån djurens behov, vare sig det gäller nattbelysning eller dagslängd eller ljusintensitet i Jordbruksverket Föreskrifter (SJVFS 2010:15). Däremot finns normer för belysning i Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2009:2) och Svensk Standard (SS-EN 12 464-1).

Hur och vad kor uppfattar i sin omgivning är viktigt vid utformning av belysning åt kor. Ett antal studier visar att nötkreatur kan skilja på föremål med olika form och mönster (Baldwin, 1981; Entsu et al., 1992; Rehkämper & Görlach, 1997), men att deras synförmåga inte klarade att urskilja ett 15 mm gap i en ring på avstånd över 3-4 m (Entsu et al., 1992). Hur belysningsintensiteten påverkar kors synskärpa vet vi inte, men ökad belysningsstyrka medförde bättre rörlighet hos kor nattetid (Phillips et al., 2000).

Mjölkkor har stora ögon med en hög koncentration av stavar, cirka fem eller sex stavar per tapp vid näthinnans periferi (Rochon-Duvigneaud, 1943), och *tapetum*, ett ljusreflekterande skikt, och är därför väl anpassade för små ljusmängder. De har inte ett koncentrerat detaljseende samlat i en punkt, utan har ett brett band med hög koncentration av synceller över näthinnan vilket förmodas ge dem god syn på långt håll (Heffner & Heffner 1992).

Nötkreatur är tvåfärgsseende med högsta spektrala ljuskänslighet vid våglängderna 455 och 554 nm (Jacobs et al., 1998). Den maximala våglängd som de kan uppfatta hos ljus är ca 620 nm enligt Phillips & Lomas (2001).

Nötkreatur verkar uppfatta sin omgivning på helt olika sätt vid ljus med olika våglängder vilket resulterade i beteendeförändringar. Rätt använt skulle kunskap om djurens preferenser av olika våglängder av ljus vid olika aktiviteter kunna ge underlag till förbättringar av miljön för nötkreatur (Phillips & Lomas, 2001), men mer forskning behövs för att bekräfta resultaten. Att kunna avläsa visuella tecken har förmodligen stor betydelse för djurens dagliga kommunikation med varandra (Rehkämper & Görlach, 1997). Samtliga resultat avseende nötkreaturens synförmåga bygger på få undersökningar och ett begränsat antal djur per studie.

Att ljus påverkar nötkreatur återspeglas i ett stort antal forskningsrapporter inom området. Dessa behandlar till största delen produktionsrelaterade effekter av ljuspåverkan på djuren. I flera länder (USA, Canada) har rekommendationer tagits fram för ljusprogram till kor. Även i Sverige har företag rekommendationer för hur ljusprogram till kor kan användas för att öka mjölkavkastningen (Delaval, 2012).

Utgångspunkten för dessa rekommendationer har varit att lång dagslängd under laktationen ökar mjölkproduktionen. Mjölkavkastningen ökar ytterligare om korna har kort dagslängd med mörker 16 timmar per dygn de sista 42 dagarna under sinperioden (Velasco et al., 2006). Sinkorna kommer då att behöva en separat byggnad med fläktventilation (House, 2006). Reaktionen på kort dagslängd under sinperioden överensstämmer med kalvningssäsongens inverkan på mjölkavkastningen. Kor som kalvar in under senvintern producerar mer mjölk än de som kalvar in under sommaren (Wunder & McGilliard, 1971; Barash et al., 1996).

I Danish Recommendations (2002) rekommenderas 16 timmars dagslängd med 100 lux vid foderbord, gångar och liggbås. Åtta timmars nattvila rekommenderas och finns AMS eller reducerat foderbord bör det finnas orienteringsljus om 25 lux med en variation i ljusstyrka som är mindre än 50%. Övrigt nattljus bör vara 5 lux för att undvika spent tramp eller oro vid oväntat nattbesök. Dessa rekommendationer sammanfaller med dem som finns USA och Canada för lakterande kor, men det finns inget om sinkor, dräktiga kvigor eller ungdjur.

Jämn belysning rekommenderas för korna i Danish Recommendations (2002), vilket också rekommenderas i Jørgensen (2006). Om ordinarie belysning ska dämpas till nattbelysning bör det ske med hjälp av spänningsreglering och inte genom att släcka en del av ljuskällorna. Sinkornas behov av kortare dagslängd diskuteras men det anses svårt att genomföra behovet praktiskt och sinkorna får bli kvar i kostallet inhyta i dess mörkaste delar (Jørgensen, 2006).

En utmaning är att få dessa ljusprogram till att fungera vid robotmjölkning där korna mjölkas och utfodras hela dygnet i stallet. Lågrankade djur är oftast hänvisade till mjölkning och utfodring vid senare tidpunkter på dygnet. Att korna hela dygnet har tillgång till foder är förmodligen den viktigaste drivkraften för att få systemet att fungera då kor äter mer (Peters et al., 1980; Tucker 1984) och längre efter mjölkning (Karvetski et al., 2006), samt föredrar att äta under dagtid (Tanida et al., 1984; Olofsson, 2000).

Oavsett om belysningsnivån var 7 eller 200 lux så påverkade detta inte hur korna valde liggplats (Pettersson & Wiktorsson, 2004). För mjölkande kor finns det idag fortfarande frågetecken om hur ett belysningssystem ska utföras för att tillgodose både produktionsintresse och välfärdsintressen ur ett ko-perspektiv. Få studier har utförts där samtliga av dessa parametrar har utvärderats mot varandra i kommersiella besättningar.

Kornas nattvila är viktig för att de ska reagera på lång dagslängd (Stanisiewski et al., 1988). Vid belysningsstyrkor från 0.7 lux och uppåt har korna hyggligt nattseende och deras gångmönster påverkades i ringa grad (Phillips et al., 2000). För att korna skulle kunna röra sig tryggt under natten rekommenderades 32 lux jämnt fördelat över hela stallet (Phillips et al., 2000; Phillips et al., 1998).

Olika uppgifter finns om vilken belysningstyrka kor uppfattar som natt. Muthuramalingam et al. (2006) kom fram till att en belysningstyrka upp till 10 lux inte påverkar kornas viloperiod. Övriga författare anser att gränsen går vid < 20 lux respektive 40-60 lux (Berthelot et al., 1990; Bal et al. 2008). Nattbelysning om 10-30 lux tycks inte påverka kornas nattvila, och skulle i så fall innebära en kompromiss om var gränsen ligger, där praktiken tillsvidare får avgöra valet från fall till fall.

Ökad dagslängd inverkar på tillväxten hos kalvar och ungdjur (Aharoni et al., 1997; Kennedy et al., 2004; Rius et al., 2005) även om motsatta resultat finns för kvigor och stutar (Hansen et al., 1983; Tucker et al., 1984). Likaså inträffar könsmognad tidigare med ökad dagslängd (Peters et al., 1978; Hansen et al 1983; Tucker, 1982; Reksen et al., 1999; Small & Glover, 2003; Rius et al., 2005). Det största bidraget med ökad dagslängd under laktationen borde vara att korna tydligare visar brunst, speciellt om korna under sintiden haft 16 timmars mörker (Phillips & Schofield, 1989), men inga nyare forskningsresultat har funnits som bekräftar detta.

I belysningsrekommendationerna från Sverige, Danmark och USA förekommer intensiteter från 100 till 200 lux. Dessa rekommendationer baserar sig på nuvarande belysningsteknik. Med ökad belysningseffektivitet i modern belysning kan ljusintensiteter om 300-500 lux vara lämpliga, vilket motsvarar ljusnivån utomhus vid en dimmig dag. En ljusnivå om 100 lux dagtid kan då motsvara en miniminivå. För nattbelysning är en ljusnivå om 1-10 lux helt acceptabelt enligt Kelber (2012).

En framtida belysningslösning kan vara LED-ljusrör med färgtemperatur kring 3000 K. LED-ljusröret skulle kunna vara sammansatta av LED som ger olika belysningsstyrka, där de starkare tänds för dagsljus samt ett mindre antal ganska svaga ljusdioder för nattbelysning, som tänds med ljussensor när den starka belysningen stängs

av. Styrning av LED-ljusrören kan ge en ”skymnings- och gryningperiod”, där ljusstyrkan avtar på kvällen under en halvtimmes och motsvarande på morgonen. Den absolut största energibesparingen ligger i att använda olika typer av dagsljusinsläpp, vilket många mjölkstallar redan har, där den artificiell belysning kopplas in alltefter behov uppstår, dvs då mängden dagsljus minskar.

3.6 Sammanfattning nötkreatur

Fortfarande finns kunskapsluckor om vad nötkreatur ser och hur de påverkas av dagsljus, spektralfördelat ljus, olika ljusintensitet och mörker i sin belysningsmiljö, framför allt kunskap om hur djuren uppfattar sin omgivning. Ett antal undersökningar ger dock en viss ledning om hur belysningen kan utformas med hänsyn till djurens möjlighet att uppfatta omgivningen.

Förmodligen har nötkreatur sämre synskärpa på avstånd avstånd över 3-4 m. Vi vet inte hur synskärpan påverkas av ökad belysning men ökad belysningsstyrka medförde bättre rörlighet hos kor nattetid. Nötkreatur är tvåfärgsseende med högsta spektrala ljuskänslighet vid våglängderna 455 och 554 nm. Den maximala våglängd som de kan uppfatta hos ljus är ca 620 nm. Kunskap om djurens preferenser av olika våglängder av ljus vid olika aktiviteter skulle kunna utnyttjas till att ge förbättringar av miljön för nötkreatur, exempelvis djurens dagliga kommunikation med varandra, men mer forskning behövs för att bekräfta resultaten.

Några uppgifter om hur djur påverkas av olika ljuskällor har inte hittats förutom att UV-ljus kan ha positiv inverkan på mjölkproduktionen, men detta har endast påvisats i ett försök. Däremot har moderna mjölkstallar stort inslag av naturligt ljus jämfört med äldre stallar.

En antal företag har tagit fram underlag för belysning i mjölkstallar. Dessa utgår främst från de produktionshöjande effekter som ökad dagslängd innebär för lakterande mjölkkor och ungdjur. Relativt lite diskuteras hur dessa resultat praktiskt ska erhållas och hur belysningen ska utformas t.ex. nattetid vid robotmjölkning samt för sinkor/dräktiga kvigor i svenskt rådgivningsmaterial.

Med ökad belysningseffektivitet i modern belysning kan belysningsstyrkor om 300-500 lux vara lämpliga, vilket motsvarar ljusnivån utomhus vid en dimmig dag. En ljusnivå om 100 lux dagtid kan då motsvara en miniminivå. Nattbelysningens i stallet rekommenderas ge en jämn belysningsnivå om ca 5-10 lux, vilket inte tycks påverka kornas nattvila. En framtida belysningslösning kan vara ett kombinerat LED-ljusrör med dagsljus och nattbelysning, där den artificiell belysningen kopplas in då mängden dagsljus i stallet minskar.

3.7 Referenser nötkreatur

- AFS. 2009:2. Arbetsplatsens utformning. Arbetsmiljöverket. Stockholm.
- Arendt, J. & Ravault, J. P. 1988. Suppression of melatonin secretion in Ile-de-France rams by different light intensities. *Journal of Pineal Research*, 5: 245-250.
- Aharoni, Y., Brosh, A. & Holzer, Z. 1997. Photoperiodic effect on live-weight gain of bull calves. *Animal Science* 65: 165-171.
- Aharoni, Y., Brosh, A. & Ezra, E. 2000. Short Communication: Prepartum photoperiod effect on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83:2779–2781.
- Auchtung, T. L., A. G. Rius, Kendall, P. E., McFadden, T. B. & Dahl, G. E. 2005. Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(1): 121-127.
- Bal, M. A., Penner, G. B., Oba, M. & Kennedy, A. D. 2008. Effects of dim light at night on milk yield, milk composition and endocrine profile of lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 88: 609-612.
- Baldwin, B. A. 1981. Shape discrimination in sheep and calves. *Animal Behaviour* 29:830.
- Barash, H., Silanikove, N. & Weller, J. I. 1996. Effect of season of birth on milk, fat, and protein production of Israeli Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 79, 1016–1020.
- Berthelot, X., Laurentie, M., Ravault, J. P., Ferney, J. & Toutain, P. L. 1990. Circadian profile and production rate of melatonin in the cow. *Domestic Animal Endocrinology*, 7, 315-322.
- Bourdon, R. M. 1997. Heritability of dairy traits. Page 164 in *Understanding Animal Breeding*. 2nd ed. Charles E. Stewart Jr., ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Dahl, G. E., Buchanan, B. A. & Tucker, H. A. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science*, 83(4): 885-893.
- Dahl, G. E. & Petitclerc, D. 2003. Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science*, 81(Suppl. 3):11–17.
- Dahl, G.E. 2006. Effect of photoperiod on feed intake and animal performance. In: *Proceedings of the 2006 Tri-State Dairy Nutrition Conference* (ed. M.L. Eastridge), 33-36. Fort Wayne, Indiana, USA.
- Dahl, G.E., Tao, S. & Thompson, I.M. 2012. Lactation biology symposium: Effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *Journal of Animal Science*, 90, 755-760.
- Danish Recommendations. 2002. Housing design for cattle, 5.2.7 Lighting. The Danish Agricultural Advisory Center.
- Delaval. 2012. November. 2012. <http://www.delaval.se/-/Produkt-Information/Barn-environment/Products/Illumination/Lamp/DeLaval-farm-light-FL400F/>
- Entsu, S., Dohi, H. & Yamada, A. 1992. Visual acuity of cattle determined by the method of discrimination learning. *Applied Animal Behaviour Science*, 34: 1-10.
- Filipov, Z., Denev, S. & Iliev, T. 1992. Quantitative and qualitative studies on milk from cows exposed to ultraviolet light. *Veterinarna Sbirka*, (3): 8-9.
- Gavan, C. & Motorga, V. 2009. The effect of supplemental light on milk production in Holstein dairy cows. *Lucrari Stiintifice - Zootehnie si Biotehnologii, Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara a Banatului Timisoara* 42, 261-265.

- Gustafson, G. M. 1994. Effect of changes in light on hormonal secretion and milk production of dairy cows in early lactation. *Acta Agricultura Scandinavica, Section A, Animal Science*, 44, 160-168.
- Hansen, P. J., Kamwanja, L. A. & Hauser, E. R. 1983. Photoperiod influences age at puberty of heifers. *Journal of Animal Science*, 57, 985-992.
- Haraldsson, L. & Henrysson, H. 2011. Belysning – i stallar för mjölkkor. Självständigt arbete vid LTJ Fakulteten. Alnarp. SLU/LBT.
- Hedlund, L. M., Lischko, M. Rollag, M. D. & Niswender, G.D. 1977. Melatonin: Daily cycle in plasma and cerebrospinal fluid in calves. *Science*, 195:686–687.
- Heffner, R. S. & Heffner, H. E. 1992. Visual factors in sound localisation in mammals. *Journal of Comparative Neurology* 317, 219-232.
- House, H.K. 2006. Fact sheet Energy opportunities light for more milk. Ontario. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2006.
- Jacobs, G. H. 1993. The distribution and nature of color vision among the mammals. *Biological Reviews* 68, 413–471.
- Jacobs, G. H., Deegan, J. F. & Neitz, J. 1998. Photopigment basis for dichromatic color vision in cows, goats and sheep. *Visual Neuroscience*, 15, 581–584.
- 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.
- Karvetski, K.E., Velasco, J.M., Reid, E.D., Salak-Johnson, J.L. & Dahl, G.E. 2006. Behavioral time budget of dry cows: Photoperiod alters distribution of maintenance behaviors. *Journal of Animal Science*, 84(Suppl. 1).
- Kelber, A. 2012. Personligt meddelande. Biologiska institutionen, Lunds Universitet.
- Kennedy, A. D., Bergen, R. D., Lawson, T. J., Small, J. A. & Veira, D. M. 2004. Effects of evening feeding and extended photoperiod on growth, feed efficiency, live animal carcass traits and plasma prolactin of beef heifers housed outdoors during two Manitoba winters. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(3): 491-500.
- Lawson, T. J. & Kennedy, A. D. 2001. Inhibition of nighttime melatonin secretion in cattle: threshold light intensity for dairy heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(1): 153-156.
- Miller, A. R. E., Erdman, R. A., Douglass, L. W. & Dahl, G.E. 2000. Effects of photo periodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(5): 962-967.
- Mossberg, I. & Jönsson, H. 1996. The influence of day length and temperature on food intake and growth rate of bulls given concentrate or grass silage ad libitum in two housing systems. *Animal Science*, 62, 233-240.
- Muthuramalingam, P., Kennedy, A. D. & Berry R. J. 2006. Plasma melatonin and insulin-like growth factor-1 responses to dim light at night in dairy heifers. *Journal of Pineal Research*, 40 (3), 225-229.
- Olofsson, J. 2000. Feed availability and its effects on intake, production and behaviour in dairy cows. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae – Agraria*, 221.
- Peters, R. R., Chapin, L. T., Leining, K. B. & Tucker, H. A. 1978. Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. *Science*, 199, 911-912.

- Peters, R.R., Chapin, L.T., Emery, R.S. & Tucker, H.A. 1980. Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *Journal of Animal Science*, 51, 1148-1153.
- Peters, R. R., Chapin, L.T., Emery, R. S. & Tucker, H. A. 1981. Milk Yield, Feed Intake, Prolactin, Growth Hormone, and Glucocorticoid Response of Cows to Supplemented Light. *Journal of Dairy Science*, 64, 1671-1678.
- Petitclerc, D., Chapin, L. T. Emery, R. S. & Tucker, H.A. 1983. Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 57:892–898.
- Pettersson, G. & Wiktorsson, H. 2004. Illumination or guiding light during night hours in the resting area of AM-barns. utomatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands, March 2004, 468-473.
- Phillips C. J. C. & Schofield S. A. 1989. The effect of supplementary light on the production and behaviour of dairy cows. *Animal Production*, 48, 293-303.
- Phillips, C. J. C. & Weiguo, L. 1991. Brightness discrimination abilities of calves relative of those of humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 31: 25-33.
- Phillips, C. J. C., Lomas, C. A. & Arab, T. M. 1998. Differential response of dairy cows to supplementary light during increasing or decreasing daylength. *Animal Science*, 66: 55-63.
- Phillips, C. J. C., Morris, C. I., Lomas, C. A. & Lockwood, S. J. 2000. The locomotion of dairy cows in passageways with different light intensities. *Animal Welfare*, 2000, 9: 421-431.
- Phillips, C. J. C. & Lomas C. A. 2001. The perception of color by cattle and its influence on behavior. *Journal of Dairy Science*, 84(4): 807-813.
- Rochon-Duvigneaud, A. 1943. *Les Yeux et la Vision des Vertébrates*. Masson: Paris, France.
- Reksen, O., Tverdal, A., Lansverk, K., Kommissrud, E., Boe, K. E. & Ropstad, E. 1999. Effects of photointensity and photoperiod on milk yield and reproductive performance of Norwegian red cattle. *Journal of Dairy Science*, 82:810–816.
- Rehkämper, G. & Görlach, A. 1997. Visual Discrimination in Adult Dairy Bulls. *Journal of Dairy Science*, 80:1613–1621.
- Rius, A. G., Connor, E. E., Capuco, A. V., Kendall, P. E., Auchtung-Montgomery, T. L. & Dahl, G. E. 2005. Long-day photoperiod that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 88(12): 4356-4365.
- Salisbury, G. W., Van Demark, W. L. & Lodge J. R. 1978. *Physiology of reproduction and artificial insemination of cattle*, 2nd ed. W. H. Freeman and Co., San Francisco, pp. 651-655.
- Small, J. A., Glover, N. D., Kennedy, A. D., McCaughey, W. P. & Ward, D. R. 2003. Photoperiod effects on the development of beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(4): 721-730.
- Spicer, L.J., Buchanan, B.A., Chapin, L.T. & Tucker, H.A. 1994. Effect of 4 months of exposure to various durations of light on serum insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in prepubertal Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 72(Suppl. 1):178.

- SIS-TS 37:2012. Ekonomibyggnader-Tillämpningar till Boverkets och Jordbruksverkets regler avseende utformning av ekonomibyggnader för jordbruk, skogsbruk och trädgårdsnäring samt hästverksamhet. SIS Förlag AB. Stockholm.
- SS-EN 12 464-1. Ljus och belysning - Belysning av arbetsplatser del 1: Arbetsplatser inomhus. SIS Förlag AB. Stockholm.
- Stanisiewski, E. P., Chapin, L. T., Ames, N. K., Zinn, S. A. & Tucker, H. A. 1988. Melatonin and prolactin concentrations in blood of cattle exposed to 8, 16 or 24 hours of daily light. *Journal of Animal Science*, 66, 727-734.
- Sundahl, A-M. 1977. Belysning i Lantbruksbyggnader. Rapport 243. Aktuellt från Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Sweetman, W. J. 1950. Artificial breeding in Alaska and effect of extra light during short winter days. *Journal of Animal Science*, 33:391-392.
- Tanida, H., Swanson, L. V. & Hohenboken, W. D. 1984. Effect of artificial photoperiod on eating behavior and other behavioral observations of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 67, 585-591.
- Tucker, H. A. 1982. Seasonality in cattle. *Theriogenology*, 17, 53-59.
- Tucker, H.A., Peticlerc, D. & Zinn, S.A. 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body consumption, nutrient intake and hormone secretion. *Journal of Animal Science*, 59, 1610- 1620.
- Tucker, H. A. 2000. Hormones, mammary growth, and lactation: a 41-year perspective. *Journal of Dairy Science*, 83, 874-884.
- Ulrich R. S. 1979. Visual landscapes and psychological well-being. *Landscape Research*, 4, 17-23.
- Velasco, J. M., Reid, E. D., Karvetski, K. E., Gressley, T. F., Wallace, R. L. & Dahl, G. E. 2006. Short day photoperiod increases milk yield in cows with a reduced dry period length. *Journal of Animal Science*, 84, 147-147.
- Wunder, W. W. & McGilliard, L. D. 1971. Seasons of calving: Age, management, and genetic differences for milk. *Journal of Dairy Science* 54, 1652–1661.
- Zinn, S. A., Chapin, L.T. & Tucker, H. A. 1986. Response of body weight and clearance and secretion rates of growth hormone to photoperiod in Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 62, 1273-1278.

4 GRIS

4.1 Inledning

Jordbruksverket Föreskrifter (SJVFS 2012:15) anger att stallar för grisar skall ha fönster eller andra ljusinsläpp för dagsljus. Stallar ska vara försedda med artificiell belysning, som inte förorsakar djuren obehag och som gör det möjligt att se till djuren utan svårigheter. Det finns även ett EU direktiv (2001/88) vilket anger att grisar ska ha minst 40 lux 8 timmar per dag.

I Teknisk specifikation (SIS-TS 37:2012) rekommenderas 75-150 lux grisstallar dagtid. I övrigt utförs belysningsinstallationen så att kraven på god arbetsmiljö och säker elinstallation uppfylls.

Nedanstående är en bearbetning av rapporten Light for Pig Units av Taylor (2010) som är en litteraturgenomgång av kunskapsläget rörande ljus till grisar. Om inte annat anges så har Taylor's tolkning använts.

4.2 Hur ser grisar?

Tamgrisar utvecklades från arten vildsvin, som är mest aktiv vid skymning och gryning i skuggad omgivning. Detta tyder på att grisen har ett visuellt system som är bäst anpassat till svagt ljus (snarare än ljus mitt på dagen eller nattliga ljus). Deras syn är mycket anpassbart till en rad olika ljusnivåer.

Grisar i kommersiell produktion härrör från en bred släktbas med släktlinjer från Asien och nordeuropa. Grisen har likartat antal stavar, ögonstorlek och näthinna som människa vilket kan förmodas ge likvärdig ljusinsamlingsförmåga och därmed gott mörkerseende. Grisar har mycket färre tappar än människan vilket tyder på sämre synförmåga än människans vid högre ljusnivåer.

Ögats fysiologi och anatomi hos tamgrisar tyder på att de har en generell visuell förmåga, men ingen specialisering varken för nattligt ljus eller för extremt solljus. De är i detta avseende lika människan. Jämfört med andra hovdjur har de däremot förhållandevis god synskärpa men denna är sämre än människans eftersom grisen inte kan anpassa synskärpan till nära liggande föremål.

Grisens färgseende är jämförbart med nötkreatur och häst d.v.s. de är mest känsliga för ljus med våglängd i det blå (440 nm) respektive gulgrönt (560 nm). Försök har visat att vissa grisar med svårighet (hög ljusintensitet) kan uppfatta 690 nm d.v.s. ljus med våglängd i den röda delen av färgspektrum. De visar inte heller någon tendens till att attraheras av blodfärgade kroppsdelar om de inte känner någon lukt.

Färgseendet verkar ha begränsad betydelse för grisen välbefinnande i produktionsbesättningar. I ett försök (Hannesson, 2005) undersöktes om gyltor påverkades av ljus från olika ljuskällor. Ingen skillnad i ålder vid pubertet kunde noteras trots att man i ett av leden provade inverkan av att använda natriumlampan, vilken endast ger ljus med en

våglängd. Däremot innebar det stora svårigheter för skötaren att upptäcka brunst hos djuren.

Grisar kan inte uppfatta ultraviolett ljus därför har naturligt ljus (inklusive övriga våglängder) endast betydelse när det gäller att producera vitamin D₃. Vitaminet finns dock normalt i ett välbalanserat foder. Däremot är grisars hud känsliga för UV-strålning och kan bli brända på samma sätt som hos människa. När grisar går utomhus bör man ge dem möjlighet att undvika extremt solljus och höga temperaturer. Även om grisar är visuellt anpassningsbara, skall man inte ta deras tillvänjning för givet.

Man bör även ta hänsyn till deras färgseende vid planering inför uppgifter som ställer krav på att grisens ser, till exempel när djuren ska flyttas från sin box.

4.3 Ljusintensitet

Det finns ingen grund för antagandet att de ljusnivåer som passar människa också passar till grisar. I vaket tillstånd verkar grisar kunna fördrå en ljusmiljö mellan 4 - 400 lux om de kan välja, men växande grisar har en stark preferens att sova och vila i mörker eller svagt ljus (2,4 lux) under minst 6 timmar. I försöket kunde grisarna även välja ljusintensiteter om 4 respektive 40 lux (Taylor et al, 2006). EU direktiv 2001/88 kräver en minimumbelysning om 40 lux i grisstallar. Denna belysning var varken ogillad eller starkt omtyckt av grisarna.

Om grisar får välja, visar de mycket lite intresse för ljusnivåer som är högre än de nivåer som ofta används i grisstallar. Däremot verkar grisar välja samma ljusnivå som de är vana vid oavsett ljusnivå, t.ex. om det gäller att välja box eller förflytta sig uppför en ramp.

4.4 Rumslig synskärpa, färgseende och känslighet mot ljusflimmer

Grisen har likartat antal stavar (Chandler et al., 1999), ögonstorlek och näthinna som människan vilket kan förmodas ge likvärdig ljusinsamlingsförmåga och därmed gott mörkerseende. Grisar har mycket färre tappar än människan vilket tyder på sämre synförmåga än människans vid högre ljusnivåer (Gelatt, 1998).

Grisögats densitet av ljusreceptorer och nervceller tyder på att grisar har en teoretisk synskärpa som motsvarar övriga däggdjur. Denna är dock endast omkring 1/6 av människans teoretiska synförmåga. Försök med grisar visar att deras praktiska synskärpa som bäst är 1/10 av normal synförmåga hos människor, men de kan visuellt skilja mellan artfränder under skiftande, förhållandevis dunkla ljusförhållanden (McLeman et al., 2008; O'Connor et al., 2010).

Intensiteten på det ljus som djur uppfattar påverkar melatoninhalten (hormon som indikerar vila/sömn) i blodet. Om dagaktiva djur får tillräckligt hög ljusintensitet sänks halten melatonin i blodet och djuret blir aktivt. Vid låg intensitet ökar melatoninhalten vilket gör att djuren vilar. Även blått och grönt ljus ger låg halt melatonin medan rött ljus ger högre melatoninhalt vid samma ljusintensitet. Att grisen reagerar på detta sätt

beror sannolikt på att grisen inte uppfattar de röda våglängderna som lika ljusstarka. Det blir således mörkare än vad en människa hade registrerat.

Att grisen uppfattar rött ljus som mindre ljusintensivt stöds även av ett försök där gyltor som vistades rött ljus med 65 lux jämfördes med gyltor vilka vistades i ljus från konventioneller lysrör. Båda grupperna hade samma tillväxt men gruppen med rött ljus kom i pubertet senare. Samma sak sker med grisar som vistas i totalt mörker (Wheelhouse & Hacker, 1981).

Det finns mycket som tyder på att grisar uppfattar ljuset från en vit LED lampa eller ett lysrör som ljusstarkare än samma ljusintensitet från en glödlampa. Detta beror sannolikt på att grisen med svårighet ser våglängder som ger rött ljus och glödlampan har en stor del av sitt ljus i detta område (se avsnittet om Belysningsteknik). Naturligt ljus skiljer sig på många sätt från articiellt ljus och få kontrollerade studier har publicerats där dessa två ljuskällor jämförs.

Nuvarande kunskap om ljusflimmer tyder på att grisar har liknande kritisk flimmersammansmältning som katter, vilket innebär att de inte kan urskilja flimmer från rätt fungerande lysrör. Av detta kan man sluta sig till att då människan besväras av flimmer så gör grisen det också.

4.5 Årstidsbunden variation och reproduktion

Tamgrisens reproduktionsresultat påverkas av årstiden, med sämre reproduktionsresultat under sommaren. Även om dagsljuslängd kan ha betydelse för könsmognad och reproduktiv framgång för både han- och honkön är temperaturpåverkan generellt den dominerande faktorn till årstidsbunden fertilitetsminskning. Ljusets påverkan kan dock sammanfattas i nedanstående punkter:

- Smågrisar har fördel av stigande eller lång dagslängd (15-18 timmar) vilket ger ökad digivning och bättre sammansättning på saggans mjölk vilket ger tyngre och större kullar vid avvänjning,
- Om tillväxt- och slaktgrisar får stigande eller lång dagslängd (16 timmar eller längre) ökar foderintaget,
- Grisar når puberteten snabbare med avtagande eller kortare dagslängd (höst). Det förkortar även tiden för saggor att komma i brunst efter avvänjning,
- Kort eller avtagande dagslängd (höst) bör undvikas för slaktgrisar för att minska ridning och aggressioner hos galtar och risk för galtsmak i kött.

Ovanstående forskningsresultat och rekommendationer kopplade till hur grisarna påverkas av dagslängd motsägs dock av andra studier. Exempelvis visar en studie av vildsvinsgaltar på motsatta resultat jämfört med erfarenheter från produktionsbesättningar. En förklaring till detta kan vara att mognads- och utvecklingsprocessen hos gris inte är helt klarlagda samt att dessa faktorer även varierar med ras, djurgrupp och ålder. Det kan även vara så att dagsljuslängd inte är en signifikant faktor för reproduktion. Mycket tyder dock på att kunskapen om detta område är ofullständig och att studierna varit otillräckligt kontrollerade.

Belysningens intensitet har visat sig ha liten effekt på årstidsbunden variation och produktion, men belysning med sämre färgåtergivning bör undvikas då djurskötare behöver bestämma dräktighetstillstånd.

Effekter av ljus (dagsljuslängd, belysningsstyrka, spektralfördelning) på tillväxt- och slaktgrisar förekommer sparsamt, vilket tyder på obetydlig belysningseffekt. Temperatur är sannolikt en viktigare orsak till årstidsbunden ofruktbarhet hos grisar.

4.6 Välfärd

Olämplig belysning påverkar djurens välfärd. Exempelvis ger ständigt ljus uppenbart minskad välfärd genom att aggressivt beteende ökar vilket indikerar stress. Alltför skarp belysning kan orsaka ögonskador men även viktminskning och det finns studier som visar att flimmer kan oroa grisar. De flesta tillämpningar med allvarliga konsekvenser för välfärden, som kontinuerligt mörker eller kontinuerlig belysning, är förbjudna enligt lag i Sverige. Den lärdom man kan dra av försök med 24 timmar mörker till slaktgrisar är att deras ätbeteende inte påverkas av om det är ljust eller mörkt. Däremot diar smågrisar mer vid många timmar med ljus.

Synens roll för hierarkisk dominans studerades i en grupp om åtta grisar genom införande av temporär blindhet genom att använda ogenomskinliga kontaktlinser eller huvor vilka täckte ansiktet. Det visade sig inte ha någon effekt på etablerandet av grupper oavsett om grisarna var "blinda" eller ej. Det tycks som om synen inte ensamt är nödvändig för att bibehålla hierarki. Dock har försök visat att aggressionerna minskar då grisarna kommer till en ny box och blandas med okända individer om detta sker i mörker.

En ljusintensitet på 50 lux med dagsljusliknade belysning hos tillväxtgrisar gav lägst fysiologiska tecken på stress jämfört med 10, 20, 40 och 120 lux (Rudnev och Jurkov, 1976). Däremot har försök där slaktgrisar får välja ljusmiljö mellan <4, 4, 40, 400 lux inte gett lika tydligt svar då grisarna var lika aktiva i alla ljusmiljöer, men grisarna vilade mest i 4 lux (Taylor et al., 2006).

4.7 Diskussion

Några av ovan refererade försök är ofullständigt dokumenterade vad gäller ljusmiljöns utformning med avseende på ljuskälla och därmed vilken spektralfördelning som använts. I studier av hur djuren påverkas av dagslängd saknas i flera fall uppgifter om belysningsstyrkan hos djuren. Detta gör att trots att många försök har genomförts så har dessa studier så stora brister att det inte kan uteslutas att andra faktorer har haft lika stor inverkan som ljusmiljön vilket kan förklara motstridiga råd.

Mot bakgrund av att grisen i huvudsak ser ljus med våglängder mellan 400 - 600 nm skulle man med modern LED-teknik kunna välja ljuskälla som ger mycket strålning i detta intervall. Då får grisen bästa möjliga belysning med lägsta energiinsats. Med dessa ljuskällor kan man även simulera "morgon" och "kväll" genom att ändra ljusets spektralfördelning, men om detta är positivt för djurets välfärd är inte undersökt.

En annan faktor som framträder tydligt är att grisar anpassar sig mycket lätt till varierande ljusmiljöer och det är därför svårt att fastställa vad som är optimalt för dem avseende dagslängd, spektralfördelning, ljusintensitet och ljusfördelning.

4.8 Sammanfattning gris

Optimal ljusmiljö för gris är endast delvis undersökt och det saknas ofta uppgifter om vilka ljuskällor och ljusintensitet som använts. Ögats fysiologi och anatomi hos tamgrisar tyder på att de har en generell visuell förmåga, men ingen specialisering varken för nattligt ljus eller för extremt solljus.

Grisar har ett smalare synfält men bättre synskärpa än övriga hovdjur. De är i likhet med nötkreatur och hästar dikromata dvs de ser bara två färger. Ljuskällor som enbart ger rött ljus uppfattas som ljussvagare än ljuskällor med övriga våglängder (ca 400-600 nm). Grisen kan inte uppfatta UV-ljus.

Grisar väljer att vila i utrymmen med mycket låg belysningsnivå (2.4 lux) och påverkas negativt om de inte får mörker minst 6 timmar per dygn. EU direktiv 2001/88 kräver en minimumbelysning om 40 lux i grisstallar. Denna belysning var varken ogillad eller starkt omtyckt av grisarna.

Ljusets påverkan kan sammanfattas med:

- Smågrisar har fördel av stigande eller lång dagslängd (15-18 timmar) vilket ger ökad digivning och bättre sammansättning på saggans mjölk vilket ger tyngre och större kullar vid avvänjning,
- Om tillväxt- och slaktgrisar får stigande eller lång dagslängd (16 timmar eller längre) ökar foderintaget,
- Tjugofyra timmars dagsljus per dygn bör undvikas då detta ökar fysiologiska och beteendemässiga tecken på stress
- Grisar når puberteten snabbare med avtagande eller kortare dagslängd (höst). Det förkortar även tiden för saggor att komma i brunst efter avvänjning,
- Kort eller avtagande dagslängd (höst) bör undvikas för slaktgrisar för att minska ridning och aggressioner hos galtar och risk för galtsmak i kött.
- Grisen väljer att vara i samma ljusintensitet som den är van vid - oavsett ljusintensitet.

Grisen är mycket anpassningsbar men det finns otillräckligt med information för specificera vad som är optimal ljusmiljö för djuret med avseende på spektralfördelning, ljus per dag eller ljusintensitet.

Genom LED-teknik kan grisar få olika ljusmiljöer anpassade efter djurens aktiviteter, vilket även kan befrämja god hygien. Då får grisen bästa möjliga belysning med lägsta energiinsats. Med dessa ljuskällor kan man även simulera ”morgon” och ”kväll” genom att ändra ljusets spektralfördelning, men om detta är positivt för djurets välfärd är inte undersökt.

Framtida forskning skulle kunna undersöka om ljusprogram med avtagande dagslängd ger bättre brunstresultat hos saggor och minskad energianvändning? Kan lång dagslängd senarelägga puberteten hos okastrerade grisar för att få mindre galtluk? Kan ny dagsljus teknik ge mindre elanvändning och mera dagsljus i grisstallar?

4.9 Referenser gris

- Chandler, M. J., Smith, P. J., Samuelson, D. A. & Mackay, E. O., 1999. Photoreceptor density of the domestic pig retina. *Veterinary Ophthalmology*, 2, 179–184.
- Ewbank, R. & Meese, G. B. 1974. Individual recognition and dominance hierarchy in the domesticated pig. The role of sight. *Animal Behaviour Science* 22, 473-480.
- EU direktiv 2001/88/EG, 2001. om ändring av direktiv 91/630/EEG om fastställande av lägsta djurskydds krav vid svinhållning. Europeiska Unionen, Bryssel.
- Gelatt, K. N. (Ed.), 1998. *Veterinary Ophthalmology*. 3rd ed. Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia.
- Hannesson, J. 2005. The effect of Light Type on Gilt Performance. Alberta Government. <http://www.thepigsite.com/articles/1442/the-effect-of-light-type-on-gilt-performance> (online 2012-11-08).
- Jordbruksverket. SJVFS 2010:15. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om djurhållning inom lantbruket mm. L 100. Jönköping.
- McLeman, M., Mendl, M.T., Jones, R.B. & Wathes, C.M. 2008. Social discrimination of familiar conspecifics by juvenile pigs, *Sus scrofa*: development of a non-invasive method to study the transmission of unimodal and bimodal cues between live stimuli. *Applied Animal Behaviour Science*, 115, 123-137.
- O'Connor, E. A., Parker, M. O., McLeman, M. A., Demmers, T. G., Lowe, J. C., Cui, L., Davey, E. L., Owen, R. C., Wathes, C. M. & Abeyesinghe, S. M. 2010. The impact of chronic environmental stressors on growing pigs, *Sus scrofa*: 1 Stress physiology, production and play behaviour. *Animal* 4, 1899-909.
- Paterson, A. M. & Pearce, G. P. 1990. Attainment of puberty in domestic gilts reared under long day or short-day artificial light regimes. *Animal Reproduction Science*, 23 (2) p 135-144.
- Rudnev, A. & Jurkov, V. 1976. Svinovodstvo 1, 27-28 in Palka 1986. In: Taylor, N. 2012. *Lighting for Pig Units*. Report. BPEX. Agricultural and Horticultural Development Board. Kenilworth. UK.
- Tanida, H., Miura, A. Tanaka, T. & Yoshimoto, T. 1996. Behavioural responses of piglets to darkness and shadows. *Applied Animal Behaviour Science*, 49 p 173-183.
- Taylor, N. R. 2006. *Lighting and the Welfare of Pigs*. Unpublished PhD Thesis. University of Bristol. In: Taylor, N. 2012. *Lighting for Pig Units*. Report. BPEX. Agricultural and Horticultural Development Board. Kenilworth. UK.
- Taylor, N., Prescott, N., Perry, G., Potter, M., Le Sueur, C. & Wathes, C. M. 2006. Preference of growing pigs for illuminance. *Applied Animal Behaviour Science*, 96, 19-31.
- Taylor, N. 2012. *Lighting for Pig Units*. Report. BPEX. Agricultural and Horticultural Development Board. Kenilworth. UK.
- Wheelhouse, R. K. & Hacker, R. R. 1981. Effect of different types of light on growth and reproductive performance in gilts. *Canadian Journal of Animal Science*, 61 (4) p 1081.

5 HÄST

5.1 Inledning

Jordbruksverkets föreskrifter (SJVFS 2011:15) anger att stallar för häst skall ha fönster eller andra ljusinsläpp för dagsljus. Stallar ska vara försedda med artificiell belysning, som inte förorsakar djuren obehag och som medger tillsyn av djuren utan svårighet. Kravet på belysning gäller inte i ligghallar för utegångsdjur, där kan belysning vara ordnad på annat sätt. Fönster och belysningsanordningar och elektriska ledningar som hästen kan nå, ska vara utförda så att det inte finns risk att hästen skadas på dem.

Hästen är anpassad för att leva i ett öppet slättlandskap. En vildhäst är aktiv hela dygnet och äter 50-60% av tiden. Mest äter den vid skymning och gryning dvs vid låga ljusnivåer.

Tack vare sin storlek utgör rovfåglar ingen fara för hästen utan det är varg och olika kattdjur som utgör farorna. Därför är ett brett synfält viktigt för att kunna upptäcka fiender i tid även om huvudet är nära marken i samband med att djuret betar. För att upptäcka farorna använder hästen inte bara synsinnet utan också hörsel och luktsinne, vilka är mycket mera välutvecklade jämfört med människan. Hästen uppfattar högfrekventa ljud men är sämre på att lokalisera ljud än människan, samt har ett luktsinne som är mer jämförbart med hundens än med människans (Murphy et al., 2009; Saslow, 2002).

5.2 Hur ser hästar?

Hästens ögon har ett mycket stort synfält (175-200°) beroende på i vilken riktning man mäter. Synfälten överlappar varandra med ca 65° till skillnad från människan där överlappet är 150°. De är väl anpassade för att upptäcka rörelser i hela synfältet och framför allt på långt håll. På basis av anatomin hos hästens öga anses de ha sämre synskärpa i dagsljus (2,5 ggr sämre) jämfört med människan (Land & Nilsson, 2012), men förmodligen lite bättre än nötkreaturens (Kelber, 2012). Däremot har de bättre syn än människan i svagt ljus. Hästens öga är anpassat för låga ljusmängder, där förhållandet stavar och tappar är ca 20:1, dvs en stavrik näthinna (Wouters & De Moor, 1979). Hästens öga kan koncentrera små ljusmängder då ögat är stort, har kort fokallängd (Warrant, 1999).

Hos människan ändras pupillens storlek för att justera mängden ljus in i ögat. Hos hästen är pupillöppningen rektangulär och försedd med ett extra ”ögonlock”, *corpora nigra*. Dessa begränsar främst ljuset uppifrån för att hästen ska undgå bländning vid starkt solljus, vilket ju är nödvändigt när djuret betar (Land & Nilsson, 2012). Som en konsekvens har hästen även svårt att snabbt anpassa ögat till olika ljusförhållanden (Murphy et al., 2009).

Hästen ser precis som nötkreatur och grisar i huvudsak två färger. De är mest känsliga för 429-456 nm (blått) och 539-556 (grönt) enligt Murphy et al. (2009).

Det absoluta gränsvärdet för hästars färgseende undersöktes i en jämförande studie mellan hästar och människa (Roth et al., 2008). I studien ingick tre hästar, men endast en fullföljde studien. Resultatet visade att hästars ögon inte är anpassade för färgseende nattetid. Istället gynnar utformningen förmodligen ett svart-vit tappseende i dunkel belysning där de stora ögonen och pupillerna är exceptionellt bra på att fånga ljuset och där ljussignaler från angränsande ljusreceptorer troligtvis adderas för att öka ljuskontrasten utan att förlora alltför mycket i rumslig upplösning (Lythgoe, 1979).

Hästens förmåga till färgseende vid månbelysta ljusförhållanden ((0.01 lux) ljusmängd mindre än vid halvmåne) visar att detta färgseende fungerar vid solnedgång och skymningsperioden (Roth et al., 2008) då de största färgförändringarna inträffar (Johnsen et al., 2006). Vid mörkare ljusförhållanden är förmågan att upptäcka rörelser från möjliga predatorer den främsta uppgiften, och därför kan svart-vit seende vara gynnat (Roth et al., 2008).

Om hästens ögon belyses ser man en reflex som härrör från ett reflekterande skikt *tapetum lucidum*, beläget bakom de ljuskänsliga cellerna i näthinnan (Ollivier et al, 2004). Då det infallande ljuset återreflekteras över näthinnan ger det bättre synegenskaper för hästen vid små ljusmängder i mörker. En nackdel är att ljuset splittras vilket minskar synskärpan. Försök visade att hästar kan skilja på olika former och orientera sig i ett försöksrum i vad människor uppfattade som fullständigt mörker (Hanggi & Ingersoll, 2009).

Hästars förmåga att uppfatta detaljer beror på ögats utformning men också på var föremålen placeras. I flertal studier har det framkommit att hästar verkar ha större förmåga att urskilja och lära sig om stimuli är placerad på marknivå (Gardner, 1937; Hall et al., 2003). Detta kan delvis bero på ljusreflektans via *tapetum lucidum* och från marken (Saslov, 2002).

För att hästen ska kunna uppfatta föremålet bör det vara tillräckligt stort och med en synvinkel om minst 5° för att hästen ska uppfatta det. Enligt anatomiska data har hästen en synskärpa som är ca 1/3 av vad människan har (Woodhouse & Barlow, 1988). Dessutom uppfattar hästen inte samma spektralområde som människan, vilket kan påverka hur ett föremål uppfattas. Hästens inlärning är betingad av kravet på överlevnad, dels genom ögats visuella förmåga dels genom att fokusera på marken vid bete samtidigt som horisonten skannas av för att upptäcka potentiella hot (Harman et al., 1999). Denna kombination är fördelaktig för hästens överlevnad men kan vara begränsande för hästens koncentrationförmåga vid inlärning (Lea & Kiley-Worthington, 1996).

Att hästar är mycket känsliga för visuella signaler från släktingar eller mänskliga tränare är välkänt. Forsatt forskning om hästars förmåga att reagera på små visuella signaler kan underlätta utvecklingen av effektivare träningsmetoder och öka människans medvetenhet om omedvetet givna signaler (Hall, 2007).

Reaktionen hos 16 ridhästar på 8 olikfärgade mattor observerades för att ta reda på hur hästar reagerar på ett synligt föremål (färg). Varje färg presenterades två gånger för att bestämma reaktionen från föregående erfarenhet. Hästarna fick frivilligt ta sig fram genom en gång där de utsattes för olikfärgade mattor antingen på golvet eller hängades på väggen. Passagetiden samt den observerade reaktionen (ju mer tvekan, ju högre poäng) på mattfärgen registrerades (Hall & Cassaday, 2006).

Den första presentationen av olika mattfärger på golvet erhöll högst poäng i motvillig reaktion. Vissa färger som hästarna stötte på för första gången på golvet (gult, vitt, svart, och blå) orsakade ett större antal motvilliga reaktioner än andra färger (grön, röd, brun och grå) och ökad passagetid genom gången. Fastän det fanns skillnad i beteende i förhållande till färg även vid andra presentationen, observerades ingen skillnad i passagetid för hästarna. Ingen effekt kunde påvisas då de olika mattfärgerna hängde på väggen.

Dessa resultat kan ha stor betydelse i situationer då färg på golvet kan kontrolleras för att minska motvillig beteendereaktion, speciellt under inledande träning och när små kontrastrika ytor är inblandade, som lastningsramper till transportfordon (Hall & Cassaday, 2006).

I en studie undersöktes hur väl målrelaterad träning med positiv förstärkning av hästarnas beteende genom mat och klick-träning (bekräftande ljudsignal på rätt uppförande) kunde fungera vid lastning i transportfordon. Alla omedgörliga beteenden försvann utan att tränaren specifikt syftade till detta genom träningspass (12 st) där delmål och slutmål successivt uppnåddes (Slater & Dymond, 2011).

Det har varit svårt att hitta uppgifter om hästens synskärpa eller till vilken grad hästar är känslig för flimmar. Uppgifter om lämplig ljusintensitet har inte heller gått att hitta. Enligt Nilsson (2012) är det mycket sannolikt att resultat från studier med nötkreatur även är tillämpliga på häst då djuren evolutionärt kommer från samma ursprungsmiljö och har ögon som är mycket lika.

5.3 Dagslängdens påverkan

Få studier har utförts där lämplig ljusintensitet och hur djuret påverkas av olika dagslängd har studerats. En studie (Malschitzky et al., 2001) har dock påvisat ljusets inverkan på fruktsamhet. Hästarna fick 9 timmar mörker och 15 timmar ljus per dygn (100 W/m²). Om det är lysrör som använts borde det motsvara 200-250 lux (Sundahl, 1977). För de djur som haft denna miljö under mer än 30 dagar minskade intervallet innan första brunst signifikant, däremot påverkades inte betäckningsresultaten. Längre tid med mycket ljus medförde även bättre fysisk kondition men dräktighetsperioden påverkades inte.

5.4 Sammanfattning häst

Optimal ljusmiljö hos häst är mycket lite undersökt och det saknas uppgifter om ljuskällor, ljusintensitet och antal timmar med ljus respektive mörker hästen bör ha. För att få en uppfattning om vad som skulle kunna vara god miljö kan man jämföra med resultat från studier på nötkreatur, då dessa djur ursprungligen kommer från samma miljö och deras ögon har en likartad uppbyggnad.

Hästen har en mycket brett synfält men har sämre synskärpa. Hästen ser två färger. Den kan se ljus med våglängder i det röda spektrumet, men uppfattar det inte som rött. Som växtätare har hästar och kor sina ögon riktade åt sidan, vilket ger ett vidare synfält och förbättrar möjligheten att upptäcka predatorer, dessutom har de stora ögon vilket generellt ger bättre syn än små ögon. Hästen har en rektangulär pupill med ett 'extra ögonlock', *corpora nigra* och vilken begränsar ljusmängden in i ögat vid bete.

Hästens öga är anpassat för låga ljusmängder och har gott mörkerseende, med stavrik näthinna och reflekterande skikt *tapetum lucidum*, beläget bakom de ljuskänsliga cellerna i näthinna samt kort fokallängd som koncentrerar ljusmängden. Dessutom kan ljussignaler från angränsande ljusreceptorer adderas i tid och rum för att uppnå högre ljuskontrast nattetid.

Hästar verkar kunna urskilja detaljer bättre om föremålen placeras på marknivå, men föremålen bör vara tillräckligt stora. På kontrastrika golvytor kan valet av golvytans färg minska motvillig beteendereaktion från hästar i inledande träning, exempelvis i att gå på ramper till transportfordon.

Att hästar alltid skannar av sin omgivning för upptäckt av rovdjur kan vara begränsande för hästens koncentration förmåga vid inläring. Däremot kan hästars förmåga att reagera på små visuella signaler användas för att utveckla effektivare träningsmetoder tillsammans med målrelaterad träning med positiv förstärkning.

Eftersom hästar ser bra vid låga ljusintensiteter behövs belysning endast när det är människor i stallet och arbetar. En framtida belysningslösning kan vara att utnyttja tekniken med LED och ta fram en ljuskälla med både dagsljus- och nattbelysning, där den artificiella belysningen kopplas in då mängden dagsljus i stallet minskar. Hur djuren reagerar på LED belysning är inte undesökt ännu. Framtida forskning skulle kunna undersöka hur ljusprogram kan utformas för att stimulera brunst hos ston.

5.5 Referenser häst

- Gardner, P. 1937. The responses of horses in a discrimination problem. *Journal of Comparative & Physiological Psychology* 23, 13–34.
- Hall, C. A., Cassaday, H. J. & Derrington, A. M. 2003. The effect of stimulus height on visual discrimination in horses. *Journal of Animal Science*, 81, 1715–1720.
- Hall, C. A. & Cassaday, H. J. 2006. An investigation into the effect of floor colour on the behaviour of the horse. *Applied Animal Behaviour Science*, 99, 301-314.
- Hall, C. A. 2007. The impact of visual perception on equine learning. *Behavioural Processes*, 76, 29-33.
- Hanggi, E. B. & Ingersoll, J. F., 2009. Stimulus and discrimination by horses under scotopic conditions. *Behavioural Processes* 82, 45-50.
- Harman, A. H., Moore, S., Hoskins, R. & Keller, P. 1999. Horse vision and an explanation for the visual behaviour originally explained by 'ramp retina'. *Equine Veterinary Journal*, vol. 31, no. 5, pp. 384-390.
- Johnsen, S., Kelber, A., Warrent, E., Sweeney, A. M., Widder, E. A., Lee, R. L. Jr. & Hernández-Andrés, J. 2006. Crepuscular and nocturnal illumination and its effects on color perception by the nocturnal hawkmoth *Deilephila elpenor*. *Journal of*

- Experimental Biology, 209: 789–800. In: Roth, L. S. V., Balkenius, A. & Kelber, A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. PLoS ONE 3(11): e3711.
- Jordbruksverket. SJVFS 2010:15. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om djurhållning inom lantbruket mm. L 100. Jönköping.
- Kelber, A., 2012. Personligt meddelande. Biologiska institutionen, Lunds Universitet.
- Land, M. F. & Nilsson, D. E. 2012. Animal eyes. Oxford Press.
- Lea, S. E. G. & Kiley-Worthington, M. 1996. Can animals think? In: Bruce, V. (Ed.), *Unsolved Mysteries of the Mind*. Psychology Press Ltd., Hove, East Sussex, 211–244.
- Lythgoe, J. N. 1979. The ecology of vision. Oxford: Clarendon Press. In: Roth, L. S. V., Balkenius, A. & Kelber, A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. PLoS ONE 3(11): e3711.
- Malschitzky, E., Schilela, A., Meirelles, L. S., Mattos, A. L. G., Gregory, R. M. & Mattos, R. C. 2001. Artificial photoperiod in pregnant mares and its effect on pregnancy length and postpartum reproductive performance. *Pferdeheilkunde* 17(6): 565-569.
- Murphy, J. Hall, C. & Arkins, S. 2009. What Horses and humans see: a comparative review. *International Journal of Zoology*, 721798, 14p.
- Nilsson, D. E. 2012. Personligt meddelande. Biologiska institutionen, Lunds Universitet.
- Ollivier, F. J., Samuelson, D. A., Brooks, D. E., Lewis, P.A., Kallberg, M. E. & Komáromy, A. M., 2004. Comparative morphology of the tapetum lucidum (among selected species). *Veterinary Ophthalmology Journal*, 7, 11–22.
- Roth, L. S. V., Balkenius, A. & Kelber, A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. PLoS ONE 3(11): e3711.
- Saslow, C. A. 2002. Understanding the perceptual world of horses. *Applied Animal Behaviour Science* 78, 209-224.
- Slater, C. & Dymond, S. 2011. Using differential reinforcement to improve equine welfare: Shaping appropriate truck loading and feet handling. *Behavioural Processes*, 86, 329-339.
- Sundahl, A-M. 1977. Belysning i Lantbruksbyggnader. Rapport 243. Aktuellt från Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Warrant, E. J. 1999. Seeing better at night: Life style, eye design and the optimum strategy of spatial and temporal summation. *Vision Research*, 39: 1611–1630. In: Roth, L. S. V., Balkenius, A. & Kelber, A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. PLoS ONE 3(11): e3711.
- Woodhouse, J. M. & Barlow, H. B. 1988. Spatial and temporal resolution and analysis. In: Barlow, H.B., Mollon, J.D. (Eds.), *The Senses*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 133–164.
- Wouters, L. & De Moor, A. 1979. Ultrastructure of the pigment epithelium and the photoreceptors in the retina of the horse. *American Journal of Veterinary Research*, 40, 1066–1071. In: Roth, L. S. V., Balkenius, A. & Kelber, A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. PLoS ONE 3(11): e3711, 1-6.

6 ÄGGLÄGGANDE HÖNS OCH SLAKTKYCKLINGAR

6.1 Inledning

Jordbruksverkets föreskrifter (SJVFS 2010:15) anger att fjäderfästallar skall ha fönster eller andra ljusinsläpp för dagsljus. Stallar ska vara försedda med artificiell belysning, som inte förorsakar djuren obehag och som gör det möjligt att se djuren utan svårigheter. I stallar för mer än 350 värphöns ska belysningen tändas och släckas genom dimning. Värphöns bör ha en sammanhängande mörker på minst åtta timmar per dygn. Slaktkycklingar ska, med undantag av första veckan och de tre sista dagarna före slakt, ha en mörker under minst sex timmar per dygn. Minst fyra timmar av dessa ska vara sammanhängande.

Enligt Svensk Fågels omsorgsprogram ska slaktkycklingar ha minst 40 lux över hela stallytan och i alla stallar ska det finnas möjlighet att öka till 100 lux. Det är ljusare de första dagarna och sen sänks belysningsstyrkan. Detta kan variera beroende på om stallarna har dagsljusinsläpp eller inte. I äldre stallar är det fortfarande vanligt med glödlampor men i nyare stallar används ofta lysrör av s.k. HF-typ. Efterhand som nyinvesteringar sker sätter man in LED-lampor enligt Waldenstedt (2012).

Vanliga ljusnivåer i stallar för värphöns är mellan 0,5 och 20 lux d.v.s. beroende på typ av lampor som används och om det är problem med fjäderplockning i hönsgruppen. En orolig hönsgrupp med fjäderplockning har en lägre intensitet. I frigående besättningar där inte dagsljusinsläppen är öppna uppskattas ljusintensiteten normalt ligga på 6-10 lux enligt Hermansson (2012).

Armaturer med glödlampor i befintliga fjäderfästallar ersätts nu av dimningsbara LED lampor. I nybyggda stallar installeras lysrör av HF-typ (Hermansson, 2012).

6.2 Hur ser fjäderfä?

Fåglar som används som produktionsdjur i lantbruket har ett synsinne som skiljer sig en hel del från det som människan har. Främst är det deras färgseende som avviker genom att de har receptorer för fyra våglängder 415 (violett), 455 (blå), 508 (cyan) och 572 (gult) jämfört med människan vars tappar är maximalt känsliga för 419 nm (violett), 531 nm (grönt) och 558 nm (grön). Det är inte klarlagt betydelsen av varje speciell våglängd (färger). Sannolikt är det ett samspel mellan våglängd och intensitet som avgör hur fåglar reagerar på olika våglängder (Wineland, 2002).

Mycket talar för att fåglar är känsligare än människan för ljus i den röda delen av färgskalan. Det finns uppgifter om att fjäderfä ser ljuset från en traditionell glödlampa som 20% ljusare jämfört med om det kommer från ett lysrör. Det beror på att glödlampan har mycket mera ljus i den röda delen av ljusspektrat (jfr avsnitt 2.4 Glödljus). De vanligaste ljusmätarna är avsedda att återspegla hur människans uppfattar ljuset men detta ger inte en rättvis bild av fjäderfäns synintryck. Vissa forskare anser därför att man bör använda andra metoder eller mätutrustning för att mäta belysningsstyrkan hos fjäderfä (Prescott et al., 2003).

Fåglar uppfattar UV-ljus i våglängdsområdet 320-400 nm, s.k. UV-A-ljus. Det tror man beror på att det sitter färgade oljedroppar på ögats tappar vilka filtrerar det inkommande ljuset. Många fågelarter har fjäderdräkt med UV reflektorer och därför är sannolikt synintryck från dessa våglängder viktigt för att de ska kunna identifiera varandra. UV-ljuset medverkar även i bildning av D-vitamin hos fjäderfä (Prescott et al., 2003).

Det finns studier som visar att djuren har lägre sjuklighet där det funnits UV-ljus. Tidigare förklarades detta med att UV-ljus är bakteriedödande. Mot detta talar att det endast är s.k. UV-C-ljus (180-280 nm) som dödar bakterier. Många moderna ljuskällor avger mycket lite UV-ljus och det finns forskare som anser att detta kan vara orsaken till flera beteendestörningar hos slaktkycklingsföräldrar och kalkoner. Ett undantag är lysrör som avger mer UV-ljus än traditionella glödlampor. Detta skulle kunna förklara varför höns föredrar ljus från lysrör framför ljus från vanliga glödlampor (Lewis & Morris, 1998).

Övriga djur som behandlas i denna rapport mottar ljuset endast genom ögat, men fjäderfä kan även registrera ljusstrålning genom extra näthinnereceptorer i hjärnan. När ljus av viss intensitet och våglängd når näthinnereceptorer i hjärnan påverkas till exempel reproduktionsfunktionen. Ljusets möjligheter att penetrerar skinn, fjädrar och kraniet antas vara en funktion av både intensitet och våglängd. Således kan både naturligt och artificiellt ljus påverka dessa receptorer hos fjäderfä (Wineland, 2002).

Fjäderfäns ögon skiljer sig från människans genom att de är mer platta och ganska orörliga. För att kompensera detta är näthinnan på samma avstånd till linsen så att synskärpan är likformad över hela synfältet. Fjäderfäns synfält är omkring 300 grader, med 'kikarsyn' i ett närområde på 26 grader direkt framför huvudet. Fjäderfä har stor rörlighet i halsen och har huvudrörelser i många riktningar som möjliggör ett effektivt synfält (Wineland, 2002). I likhet med övriga "bytesdjur" så är deras synsinne utvecklat för att upptäcka en potentiell fara på mycket långt håll.

6.3 Synskärpa

Fåglar har en väl utvecklad förmåga att se skarp på både långt håll och nära. Denna egenskap kan dock skadas vid hög ljusintensitet (700 lux) och lång dagslängd (mer än 18 timmar per dygn). Synsinnet kan även skadas av för lite ljus (<7 lux) men vid 50 lux verkar denna risk upphöra, i alla fall för kalkoner (Manser, 1996).

Ett annat exempel på att ljuset påverkar hönsens beteende är en studie där värphöns fick vara i 50 respektive 500 lux. De hönor som hade 50 lux var mest benägna att plocka fjädrar från andra djur medan hönor som hade 500 lux ägnade mer tid åt att plocka på underlaget i rede och ströbädd. Försöket omfattade både djur i frigående- och bursystem (Martin, 1989).

6.4 Ljusfärgens inverkan

De fjäderfä som används i lantbruket har ett mycket väl utvecklat synsinne. Flera studier har visat att ljusmiljön är viktig för äggproduktion och tillväxt. Dagslängd och

Ljusintensitet påverkar beteende, metabolisk omsättning, fysisk aktivitet och fysiologiska faktorer som är involverade i reproduktionen. Exakt hur denna välutvecklade synförmåga samverkar med djurens beteende är inte helt klarlagt.

Slaktkycklingar som fått välja ljus av olika färg (blått, grönt, rött och vitt ljus), har i först hand valt det blå ljuset, därefter det gröna. Det har visat sig att de behöver tre gånger högre ljusintensitet av det blå ljuset jämfört med det röda (3 x blå = 1 x rött). Troligtvis beror detta på den spektrala känsligheten för olika våglängder hos kycklingar (Wineland, 2002). Det kan ju tyckas märkligt att djuren väljer en mörkare ljusmiljö men beteendet skulle kunna förklaras med att den unga kycklingen evolutionärt ska ligga under "mamma" och sova och bara vara ute för att äta korta stunder.

Blått ljus har även visat sig ge viktökning hos både kycklingar och kalkoner, men hur mycket det är intensitet eller effekt av färg är okänt. Med likvärdig intensitet har rött ljus visat sig öka aktiviteten genom att djuren sträcker ut vingar och även andra aktiviteter. Den ökade aktiviteten har medfört mindre andelar benproblem bland de snabbväxande fåglarna (Wineland, 2002).

I ett försök med värphöns kunde de inte känna igen andra individer när ljuset bara bestod av rött eller blått ljus oavsett om det var 5,5 eller 77 lux. När ljuset istället var vitt (ljuskälla okänd) kunde hönorna känna igen andra djur vid 77 lux men inte vid 5,5 lux (Prescott et al., 2003). Det skulle kunna tolkas som att djuren har svårt att identifiera andra individer i monokromt ljus.

När det gäller äggproduktion finns det studier som visar att äggens storlek och skaltjocklek påverkas av ljusets färg men de är inte helt samstämmiga. Vitt ljus från glödlampor (15 lux) gav i en studie högre äggvikt jämfört med rött ljus från lysdioder. (Er et al., 2007). I en annan studie med något högre ljusintensitet (20 lux) blev resultatet att rött ljus rekommenderades eftersom det gav tjockare skal och bättre produktion (Kim, et al., 2010). Detta kan tyda på att detta område bör studeras noggrannare.

Man har sett stora skillnader i beteende bland vita unghöns uppfödda under grönt, rött respektive vitt lysrörsljus fram till 20 veckors ålder. Rött ljus förhindrade kannibalism upp till 20 veckors ålder, medan djuren uppfödda i vitt och grönt ljus utvecklade kannibalism som resulterade i 30 % förekomst av kannibalism bland djuren i vitt ljus och 41 % bland djuren som fått grönt ljus (Lewis & Morris, 1998). Belysningsstyrkan angavs inte i försöket.

6.5 Ljusintensitet

Man måste också vara uppmärksam på att det blir kontrast mellan mörker- och ljusperioden. Otillräckligt ljus kan orsakas av smutsiga lampor eller för låg belysningsstyrka. I helt mörklagda stallar kan ofrivilligt ljusinsläpp skapa en icke önskvärd effekt om ljusläckaget sker under djurens mörkerperiod.

I många fjäderfämanualer finns ljusmängden angiven i watt eller lumen per m² golvyta. Detta är inte korrekt, därför att ljusintensiteten på djurens höjd beror på mer än ljusflödet från ljuskällan. Det beror även på vilken höjd ljuskällorna sitter över djuren eftersom ljusintensiteten minskar fyra gånger när avståndet till ljuskällan fördubblas. Även material och färg på väggar och tak påverkar vilken ljusintensitet som uppnås i stallet (Wineland, 2002).

Det är inte bara ljus som är viktigt för fjäderfä utan även mörker. Talgkottkörteln är en liten körtel lokaliserad i de övre delarna av den centrala hjärnan och som producerar ett hormon, melatonin. Ljus hämmar melatoninproduktionen och mörker stimulerar produktionen. Melatonin är en antioxidant som hjälper celler att hålla sig friska genom att förstöra fria radikaler och det har visat sig öka immunförsvaret. Därför är ljusprogram positivt för djuren, inte bara för att stimulera och kontrollera djurens aktivitet utan även för deras återhämtning (Wineland, 2002).

Det är även viktigt med rätt ljusintensitet både för värphöns och för slaktkyckling. Ljusintensiteten är viktig eftersom det behövs en miniminivå av ljus för att påverka reproduktion och tillväxt. Den specifika tröskelnivån för att framkalla reaktion varierar mellan fågelarter men även mellan olika avelslinjer. Exempelvis är konventionella värphöns mer toleranta mot låg ljusintensitet än tunga kötthybrider eller kalkoner (Wineland, 2002).

I ett försök fick värphöns välja att äta i 1, 6, 20, eller 200 lux. Hönorna föredrog att äta där det var ljusast (Prescott & Wathes, 2002). I ett försök med unghöns (ca 16 v) av hybriderna Hy-line jämfördes två olika ljusmiljöer. En grupp fick 5 lux och en grupp fick 150 lux. Hönsen med 5 lux var mindre aktiva d.v.s. stod överksammas, låg satt, värpte eller sov. De putsade dock fjäderdräkten och sandbadade mer än hönsen som hade 150 lux, vilket kan tyda på att även om synintrycken var få, så var just dessa aktiviteter viktiga. Äggproduktionen var lika i båda grupperna (O'Connor et al., 2011).

Det finns teorier om att när djuren rör sig mindre växer de bättre, men i flera studier med slaktkyckling påverkas varken tillväxt eller foderomvandling vid ljusintensiteter mellan 0,1 och 100 lux. Det finns motstridiga studier avseende ljusintensiteten till slaktkycklingar. Ljusintensiteten 5 lux har visat sig öka fettmängden jämfört med högre ljusintensitet, 150 lux (Wineland, 2002). Att djuren hålls vid mycket svagt ljus påverkar djurskötarens möjlighet till god tillsyn av djuren. Vid ljusintensitet under 7 lux anses det svårt att ha god tillsyn av djuren (Tanaka & Hurnik, 1991).

Det finns studier som visar att hönor gärna vill ”solbada” i områden med extra stark ljusintensitet t ex ett ljusinsläpp från ett fönster vid solsken ute. Detta beteende är särskilt påtagligt när djuren i övrigt har mycket låg ljusintensitet (Manser, 1996).

Man har även undersökt om värphöns vill ha ljust eller mörkt där de lägger sina ägg. Hybriderna Rodhe Island Red visade tydlig preferens för att lägga ägg där det var ljus. Den andra hybriderna, vit Leghorn, visade bara en tydlig preferens för att lägga första ägget där det var mörkt. Därefter verkade det inte ha någon betydelse (Appleby et al., 1984).

I ett val-försök fick djuren välja mellan att vara i ljus från en högtrycksnatrium lampa (426 lux, gulaktigt ljus) eller en vanlig glödlampa (27 lux, vitt ljus). Hönorna visade ingen tydlig vilja att vara mera i det ena eller andra ljuset men de åt hellre i ljuset från glödlampan. Däremot förekom det mera sandbadning och putsning av fjädrar i området med ljus från högtrycksnatrium-lampan. Observera att här jämförs en ljuskälla med brett spektrum med en som har ett smalt (560-650 nm) (Vandeberg & Widowski, 2000).

Det pågår forskning och utvärdering av LED ljus till fjäderfä. I Danmark utvärderar man en specialdesignad LED lampa till slaktkyckling men resultaten finns inte tillgängliga ännu (Nyberg Larsen, 2012). Även Svenska Ägg har varit delaktiga i ett utvärderingsprojekt av LED där man inte kunnat påvisa någon försämrad djurvälstånd. Resultatet från denna undersökning är inte tillgänglig ännu.

Det förefaller även positivt för djuren att ha ”gryning” och ”skymning” så att djuren hinner äta lite extra och sedan hitta ett lämpligt ställe att sova på. Studier har visat att djuren ibland blir skrämde av att ljuset plötsligt tänds. När ljuset sedan släcks är det vissa individer som trots mörkret försöker hitta en lämplig sovplats vilket skapar oro i flocken (Tanaka & Hurnik, 1991).

6.6 Känslighet mot flimmar

Den vanligaste typen av lysrör (T8) som drivs med växelström med 50 Hz uppfattats av människor som flimmarfri trots att de egentligen blinkar (flimmar) med 100 Hz. Detta beror på att högsta frekvensen med flimmar som kan uppfattas av det mänskligt öga är mellan 50 och 60 Hz (Lewis & Morris, 1998). I Sverige har det funnits ett motstånd mot att använda dessa lysrör till värphöns eftersom man ansett att djuren störs av de högfrekventa blinkningarna (flimmar) från dessa.

Fjäderfä och troligtvis även andra fåglar kan uppfatta blinkningar med högre frekvens. Studier visar att fåglar vid hög ljusintensitet kan uppfatta flimmar upp till ca 105 Hz. Snabba rörelser t.ex. pickande och hackande hos fjäderfä i flimrande ljus uppfattas av andra fåglar som en serie stroboskopiska bilder. Även ljus som reflekteras från metallföremål och från ytan på hornhinnan i andra fåglars ögon tycks också uppfattas som flimmar, medan de diffusa reflektionerna från stallets innerväggar upplevs som flimmarfri (Lewis & Morris, 1998).

Vid slutet av lysrörens driftstid kan de börja blinka med en sådan frekvens att även människan uppfattar det som flimmar. Djuren kommer då också att uppfatta dessa blinkningar och det finns en risk att flimmar med dessa frekvenser är stressande. Lysrör skall därför kontrolleras regelbundet för att i tid bytas ut så att de inte flimmar och orsakar onödigt hög energiförbrukning samt sämre djurvälstånd (Lewis & Morris, 1998).

Trots att ljus från lysrör troligtvis uppfattat som flimrande ljus av fjäderfä, så verkar de inte finna det avskräckande. Tvärtom verkar de finna några av komponenterna i detta ljus attraktivt. I jämförande försök med vita värphöns hybriderna med vanligt glödljus och med ljus från lysrör, där djuren själva fick välja mellan ljuskällorna som hade samma belysningsstyrka (12 lux vid golvytan) så tillbringade hönorna mer tid i lysrörljuset än i ljuset från glödlampor. Det var framförallt vid fjäderputsning och pillning i fjäderdräkten som de föredrog lysröret, i övrigt var de andra aktiviteterna likartade mellan de olika ljuskällorna. När unghöns fick välja mellan låg- eller högfrekventa lysrör (10-12 lux) fanns det ingen skillnad i vad djuren föredrog. Lysrör som används i kommersiella fjäderfäbesättningar, oavsett intensiteten på ljuset, tycks inte påverka djurens välfärd (Lewis & Morris, 1998). Dock finns det ett försök med slaktkyckling där man registrerade mindre aktivitet hos djur som hade 90 lux från ljuskällor med 100 Hz flimmar jämfört med djur som hade 26 kHz (Manser, 1996).

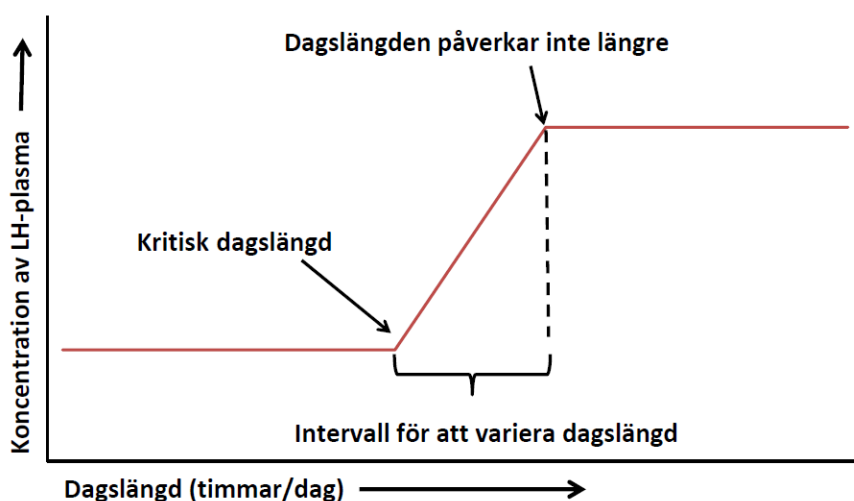
6.7 Dagslängdens påverkan

Vid uppfödning av slaktkyckling användes tidigare 23-24 timmars dagslängd för att få maximal foderförbrukning och tillväxt. Detta medförde ökade hälsoproblem och ökad

dödlighet eftersom djuren avlats för snabb tillväxt. Detta har föranlett användning av ljusprogram där man börjar med ljus 20-24 timmar per dygn. Perioden med mörker ökas sedan med ökande ålder. Förhållandet mellan hur mycket det är ljust respektive mörkt påverkas även av hur mycket naturligt ljus som kommer in till djuren.

Till varje värphönshybrid tar avelsföretagen fram ett ljusprogram för att nå maximal produktion. En vanlig rekommendation är 15-17 timmar med ljus när hönsen värper maximalt men lägre innan de börjar värpa.

Dagslängden och förändringar i dagslängden är en primär faktor som synkroniserar det årstidspåverkade sexuella beteendet. Ökad dagslängd påverkar halten av Luteniserande hormon (LH) i blodplasman. När halten har kommit över en viss nivå stimuleras fåglarna att börja lägga ägg. Denna s.k. kritiska nivå är specifik för arten. Till sist uppnår man en punkt när ytterligare ökning av dagslängden inte ger ökning av plasma LH. Detta kallas den mättade dagslängden. Om dagslängden därefter blir kortare än den kritiska nivån sjunker LH-nivån och äggproduktionen upphör. Fåglarna svarar bara på dagslängdsförändringar om de är större än den kritiska dagslängden och mindre än den mättade dagslängden. Det mellanliggande området kallas marginella dagslängden (Rose, 1997), se figur 14.



Figur 14. Illustration av sambandet mellan dagslängd och innehåll av LH i blodplasman efter Rose, (1997).

Den kritiska respektive mättade dagslängden är 10 respektive 14 timmar för fjäderfä. Långvarig exponering av långa dagar flyttar den kritiska och mättade dagslängden uppåt för t.ex. värphöns. Den engelska termen för detta är "relativ photorefractoriness". Svensk terminologi saknas. Unga fåglar kan uppnå sexuell mognad även om de har korta dagar eftersom det inte enbart är ljuset som påverkar djurens sexuella mognad utan även födotillgången. Vid restriktiv utfodring i kombination med korta dagar fördröjer man den sexuella mognaden. Unghöns av värpras föds oftast upp med ca 8 timmar ljus per dygn fram till att fåglarna är gamla nog att producera ägg. Då ökas dagslängden med ca 30 minuter per dag upp till 17 timmar per dygn. Detta höjer den 'mättade nivån' vilket medför högre plasma LH nivåer vilket ger flest ägg sett över hela produktionsperioden (Rose, 1997).

Det har visat sig viktigt med rätt spektralfördelning för att initiera och vidmakthålla rätt ljusstimulering. Studier har visat att våglängder med rött ljus var bäst till att

framkalla sexuell aktivering. Detta beror troligtvis på att de längre våglängderna är mer kapabla till att gå igenom skallen och nå de extra näthinnereceptorerna i hjärnan. Förutsättningen är givetvis att tröskelvärdet uppnås, därför är spektrala långa våglängder viktiga. Men när intensiteten är över fåglarnas behövliga tröskelvärde är våglängden mindre viktig (Wineland, 2002).

Kalkoner är annorlunda än värphöns. Deras kritiska och mättade dagslängd är fast och kan inte påverkas. Detta kallas ”absolut photorefraktoriness”. Svensk terminologi saknas. Detta utnyttjas vid uppfödning av avelskalkoner genom att endast ha tänt mindre än den kritiska dagslängden. Då fördröjer man deras sexuella mognad tills de är gamla nog att lägga ägg som är tillräckligt stora för att uppnå bra kläckresultat. Avelskalkoner kan på kort tid komma i produktion genom abrupt öka dagslängden till fullt behov. Inom tio dagar har äggproduktionen kommit i gång (Rose, 1997).

6.8 Sammanfattning

Ljusets påverkan på beteende, hälsa, produktion och skötsel av djuren påverkar i hög grad välbefinnandet hos våra produktionsdjur.

Rekommenderad dagslängd för värphöns verkar optimerad för maximal äggproduktion. Att minska dagslängden något för att spara energi är inte studerat. Även för övriga fjäderfä verkar rekommenderad dagslängd vara anpassad efter maximal produktion respektive tillväxt.

Ljus till fjäderfä bör innehålla våglängder i den röda delen av spektrat (långa våglängder). Dessa våglängder kan tränga genom kraniet och nå receptorer i hjärnan vilka inte aktiveras via ögonen. Receptorerna påverkar djurens äggläggning.

Fjäderfä verkar ha bättre synskärpa i rödaktigt ljus. Mycket tyder också på att ljuskällor med mycket rött ljus (t.ex. glödlampor) uppfattas som mera ljusstarka jämfört med ljuskällor som avger mycket blått ljus (t.ex. lysrör med hög färgtemperatur). Om man försöker att ge tillräckligt med rött ljus med ljuskällor som avger vitt ljus med hög ljusstemperatur så kan den totala mängden ljus överstimulera djuren. De blir då stressade och nervösa vilket leder till bl. a. mera fjäderplockning.

Studier har även visat att fåglar kan uppfatta UV-ljus. Denna egenskap används för att känna igen artfränder. Ljuskällor i stallar för fjäderfä bör därför ha en del UV-ljus i spektrat. Detta är särskilt viktigt för djur som hålls inomhus.

Mot bakgrund av ovanstående och att fjäderfä även har receptorer i ögonen för violett, blått, grönt och gult ljus bör man använda ljuskällor med brett färgspektrum. Det är dock inte klarlagt bästa fördelningen mellan dessa våglängder.

Det finns studier som visar att värphöns kan uppfatta flimrar från konventionella lysrör men inget tyder på att djuren skulle uppfatta detta som något negativt eller att det skulle påverka djurens välbefinnande. Däremot är det viktigt med avseende på låg energiåtgång och god djurvälstånd att byta utslitna lysrör som flimrar.

Det är bevisat i olika försök med värphöns, slaktkyckling, avels- och slaktkalkoner och avelsgäss, att energieffektiva ljuskällor såsom lysrör eller högtrycks natriumlampor, oavsett intensitet eller spektralfördelning, inte har skadlig effekt på vare sig tillväxt eller reproduktionsprestation jämfört med ljus från glödlampor. Lysrör har ingen negativ

inverkan vare sig på tillväxthastigheten eller foderomvandlingsförmågan hos slaktkycklingar eller växande kalkoner.

När det gäller att spara energi rekommenderas i första hand dimningsbara lågenergilampor alternativt lysrör. Båda bör ha en varmvit färgton. Belysning med LED bör studeras noggrannare innan denna typ kan rekommenderas. Som beskrivits tidigare har LED-tekniken en snävare spektralfördelning och saknar ofta UV-ljus. Med ökad kunskap kan ljuskällor med LED utvecklas så att varje art eller hybrid kan få speciellt anpassad spektralfördelning.

Mer forskning krävs även för att ta reda på vad som är lämplig ljusintensitet, ljusfärg och dagslängd för olika djurkategorier så att de kan utföra sina naturliga beteenden.

6.9 Referenser fjäderfä

- Appleby, M.C., McRae, H.E. & Peitz, B.E., 1984. The effect of light on the choice of nests by domestic hens. *Applied Animal Ethology*, 11, 249-254.
- Er, D., Wang, Z., Cao, J. & Chen, Y. 2007. Effekt of monochromatic light on Egg quality of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 605–612.
- Hermansson, A. 2012. Produktionsutvecklare, Svenska ägg, Stockholm. Personligt meddelande, september, 2012.
- Jordbruksverket. SJVFS 2010:15. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om djurhållning inom lantbruket mm. L 100. Jönköping.
- Kim, M., Choi, H., Suh, O., Chae, H., Na, J., Bang, H., Kim, D., Kang, H. & Park, S. 2010. A study of different sources and wavelengths of light on laying egg characteristics in laying hens. *Korean Journal of Poultry Science*, 37, 4, 383-388.
- Lewis, P. D. & Morris, T. R. 1998. Responses of domestic poultry to various light sources. *World's Poultry Science Journal*, 54, 7-25.
- Manser, C. E. 1996. Effects of light on the welfare of domestic poultry: a review. *Animal Welfare*, 5, 341-360.
- Martin, G. 1989. Federpickhaufigkeit in Abhängigkeit von Draht- und Einstreuboden sowie von der Lichtintensität. *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Schrift*, 342, 108-133.
- Nyberg Larsen, J. 2012. LED-lys gavner kyllinger och miljö. *Dansk Erhvervsfjerkræ*, No 2, årgång 41.
- O'Connor, E. A., Parker, M. O., Davey, E. L., Grist, H., Owen, B., Szladovits, B., Demmers, T. G. M., Wathes, C.M. & Abeyesinghe, S. M. 2011. Effect of low light and high noise on behavioural activity, physiological indicators of stress and production in laying hens. *British Poultry Science*, 52:6, 666-674.
- Prescott, N. B., & Wathes, C. M. 2002. Preference and motivation of laying hens to eat under different illuminances and the effect of illuminance on eating behavior. *British Poultry Science*, 43:2, 190-195.
- Prescott, N. B., Wathes, C. M. & Jarvis, J. R. 2003. Light, vision and the welfare of poultry. *Animal Welfare*, 12, 269-288.
- Rose, S. P. 1997. *Principles of Poultry Science*. Biddles Ltd, Guildford, UK.

- Tanaka, T. & Hurnik, J. F. 1991. Behavioral responses of hens to simulated dawn and dusk periods. *Poultry Science*, 70, 483-488.
- Vandeberg, C. & Widowski, T. M. 2000. Hens' preference for high-intensity high pressure Sodium or low-intensity incandescent lighting. *Journal of Applied Poultry Research*, 9, 172–178.
- Waldenstedt, L. 2012. Riksläkare, Svensk Fågel, Stockholm. Personligt meddelande, september, 2012.
- Wineland, M. 2002. Fundamentals of managing light for poultry. In: Bell, D.D. & Weaver W.D. JR. (EDs.), *Commercial chicken meat and egg production*. 5 Edition, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, U.S.A.