



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för husdjurens utfodring och
vård

LED belysning till mjölkkor – jämförelse av olika våglängder

LED light to dairy cows – comparison of different wavelengths

Jessika Berglund

Examensarbete • 30 hp

Agronomprogrammet – Husdjur

Uppsala 2020

LED belysning till mjölkkor – jämförelse av olika våglängder

LED light to dairy cows – comparison of different wavelengths

Jessika Berglund

Handledare: Sigrid Agenäs, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Examinator: Bengt-Ove Rustas, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap

Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Kurskod: EX0872

Program/utbildning: Agronomprogrammet - Husdjur

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild:

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: våglängd, mjölkkor, LED, foderintag, mjölmängd, IGF-1, melatonin, aktivitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete var att undersöka om mjölmängd, foderintag, melatonin, IGF-1 (Insulin-like growth factor 1) eller aktivitet kan påverkas hos mjölkkor som exponeras för olika våglängder på ljus. Fyra olika ljusbehandlingar jämfördes med varandra vid baslinjen och vid LED. Baslinjen står för de olika parametrarnas resultat innan ljusbehandlingarna medan LED står för parametrarnas resultat efter ljusbehandlingarna. Totalt valdes 40 dräktiga äldre kor av rasen svensk röd och vit boskap (SRB), vilket innebar tio mjölkkor i varje ljusbehandling. De fyra ljusbehandlingarna bestod av ett blått, rött, vitt respektive vitt/blått ljus. Kornas vanliga inhysningssystem var lösdrift med automatisk mjölkning. I samband med försöket flyttades korna till ett uppbundet stall med manuell mjölkning med mjölkkningsmaskin. Mätningar av mjölmängd, foderintag, IGF-1 och melatonin gjordes efter en tillvänjningsperiod i det nya stallet, vilket motsvarar baslinjen. Samma parametrar samt aktivitet mättes efter ljusbehandlingarna, vilket motsvarar LED. Det fanns inga skillnader i foderintag, mjölmängd och aktivitet mellan ljusbehandlingarna. De signifikanta skillnaderna i denna studie fanns både vid baslinjen och vid LED för melatonin och IGF-1. Vid baslinjen kl. 08.30 hade kor i blått ljus signifikant högre melatoninnivå jämfört med kor i vit/blått ljus och vid kl. 16.00 hade kor i vitt ljus signifikant högre melatoninnivå jämfört med kor i både rött och vit/blått ljus. Vid LED kl. 22.30 hade kor i vit/blått ljus signifikant lägre melatoninnivå jämfört med kor i både blått och rött ljus. Melatoninnivån vid LED när tidpunkterna jämfördes med varandra för varje ljusbehandling visade signifikanta skillnader mellan nästa alla tidpunkter medan IGF-1 endast hade en signifikant skillnad för blått ljus mellan kl. 08.30 och kl. 22.30. Dessa resultat tyder på att alla ljusbehandlingarna skulle kunna ge en tydlig dygnsrytm av melatonin. Ytterligare forskning behövs för att ta reda på vilka våglängder nötkreaturs ögon kan uppfatta och hur de kan påverkas av dessa.

Nyckelord: våglängd, mjölkkor, LED, foderintag, mjölmängd, IGF-1, melatonin, aktivitet

Abstract

The aim of this study was to investigate if milk yield, feed intake, melatonin, IGF-1 (Insulin-like growth factor 1) or activity can be affected in dairy cows that are exposed to different wavelengths of the light. Four different light treatments were compared to each other at the baseline and at the LED. The baseline represents the results of the various parameters before the light treatments, while LED represents the results of the parameters after the light treatments. A total of 40 multiparous pregnant Swedish Red-and-White were selected, ten for each light treatment. The four light treatments consisted of a blue, red, white and white/blue light. The common housing system of the cows were loose-housing system with automatic milking. In connection with the experiment, the cows were moved to a tie stall barn with manual milking with a milking machine. Measurements of milk yield, feed intake, IGF-1 and melatonin were made after an acclimation period in the new stable, which corresponds to the baseline. The same parameters and activity were measured after the light treatments, which corresponds to LED. There were no significant differences in feed intake, milk yield and activity between the light treatments. The significant differences in this study were found both at baseline and at LED for melatonin and IGF-1. At the baseline at 08.30, cows in blue light had significantly higher melatonin levels compared to cows in white/blur light and at 16.00, cows in white light had significantly higher melatonin levels compared to cows in both red and white/blue light. At LED at 22.30, cows in white/blur light had significantly lower melatonin levels compared to cows in both blue and red light. The melatonin level at LED when times were compared to each other for each light treatment showed significant differences between almost all times, while IGF-1 only had a significant difference for blue light between 08.30 and 22.30. These results suggest that all the light treatments could provide a distinct circadian rhythm of melatonin. Further research is needed to find out what wavelength cattle eyes can perceive and how they can be affected by them.

Keywords: wavelength, dairy cows, LED, feed intake, milk yield, IGF-1, melatonin, activity

Förord

Tack till min handledare Sigrid Agenäs, professor vid institutionen för husdjurens utfodring och vård, som gav mig möjlighet att göra detta examensarbete. Jag är glad över att jag fick vara med på en studie som innehöll praktiska moment och tacksam för all feedback jag fått under arbetets gång.

Jag vill tacka Sofia Lindkvist för alla tips och råd som jag fått med allt skrivande. Jag vill även tacka dig för hjälpen i stallet och med analyserna av data. Tack också till Gunilla Helmersson för praktisk hjälp i stallet. Tack även till all personal på Lövsta lantbruksforskning som hjälpte till med det praktiska under studien.

Jag vill tacka mina klasskamrater Anna Jansson, Sofia Gundersen och Sara Hammarberg för all feedback och stöttning. Vi har tillsammans hjälpt varandra i vårt skrivande och motiverat varandra under tidens gång. Tack till min familj och Andreas Lindkvist för ert mentala stöd.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Litteraturstudie	9
2.1	Mjölkbildning	9
2.2	Ljus	10
2.2.1	Mätning av ljus	11
2.2.2	Ljusintensitet	11
2.2.3	Koögat	11
2.2.4	Ljusperiodens längd	12
2.3	Endokrinologi	15
2.3.1	Hormoner	15
2.3.2	Melatonin	15
2.3.3	IGF-1	16
2.3.4	Metoder för att detektera melatonin och IGF-1	18
2.4	Aktivitet	18
3	Material och metod	23
3.1	Skötsel	23
3.1.1	Rengöring och strö	23
3.1.2	Foderstat och utfodringstider	23
3.1.3	Mjölkning och mjölkprovning	24
3.2	Försöksdesign	24
3.3	Inklusionskriterier för kor	26
3.4	Ljusbehandlingar	27
3.5	Aktivitetsdata	28
3.6	Hantering av data och statistisk databearbetning	28
4	Resultat	30
4.1	Foderintag	30
4.2	Mjölkmängd	30
4.3	Melatonin	31
4.4	IGF-1	33
4.5	Aktivitet	34
5	Diskussion	35

5.1	Mjölkmängd och foderintag	35
5.2	Endokrinologi	36
5.2.1	Melatonin	37
5.2.2	IGF-1	38
5.3	Aktivitet	39
6	Slutsats	41
	Referenslista	42
	Bilaga 1 - Ljusbehandlingar	48

1 Inledning

Ljuset spelar en viktig roll inom mjölkproduktionen, både vad gäller kornas välfärd och produktion. Lagen kräver att djuren ska ha tillgång till dagsljus och belysning dagtid samt dämpad belysning under natten, men det är inte specificerat vilka ljusintensiteter som är minimumkrav för dag respektive natt (SJVFS 2019:18). Det är visat i vetenskapliga studier att ljuset kan påverka kornas mjölkproduktion, köns-mognad, foderintag, tillväxt och immunsystem (Hansen *et al.*, 1983; Petitclerc *et al.*, 1983; Bilodeau *et al.*, 1989; Auchtung & Dahl 2004; Wall *et al.*, 2005). Om den naturliga dagen förlängs med belysning till 16 timmar ökar mjölkproduktionen medan en kortare dagsljusperiod på åtta timmar under natten kan ge en högre avkastning i efterkommande laktation (Miller *et al.*, 2000; Wall *et al.*, 2005; Lacasse *et al.*, 2014). En viktig kunskap om ljus är att kontinuerligt dagsljus under hela dygnet inte bidrar till en fortsatt ökad mjölkproduktion utan istället eliminerar endokrina förändringar såsom plasmakoncentrationen av IGF-1 och prolaktin. (Stanisiewski *et al.*, 1988; Ferneborg *et al.*, 2013). Dagsljusperiodens längd är väl studerad men det finns däremot få studier som har undersökt olika typer av ljuskälla, våglängder samt vilka ljusintensiteter som kan rekommenderas.

Vid mjölkproduktion med mjölkkningsrobot är aktivitet önskvärd även under natten eftersom dessa system är beroende av att det finns kor i systemet som är aktiva, vad gäller foderintag och mjölkning, under alla tider på dygnet. Om och hur ljuset under dagen eller natten kan påverka aktiviteten är inte helt fastställt. Phillips och Lomas (2001) fann att nötkreaturs aktivitet kan påverkas av ljusets våglängd och att detta skulle kunna användas i praktiken. Författarna såg att rött ljus verkade öka aktiviteten hos mjölkkena medan blått ljus verkade minska aktiviteten. De föreslår utifrån sina resultat att blått ljus skulle kunna användas i samband med mjölkning eftersom det verkar minska aktiviteten hos kon.

Med rådande kunskap anses högre halt av hormonet IGF-1 (Insulin-like growth factor 1) vara förklaringen till att mjölkproduktionen ökar vid en längre dagsljuspe-

riod men exakt hur är fortfarande en obesvarad fråga (Dahl *et al.*, 2000). IGF-1 inhiberas av melatonin som i sin tur inhiberas av ljus. Melatonin är högst under natten, detta leder till att sekretionen av IGF-1 är som störst under dagen.

I mjölkstall är vanliga belysningstyper glödlampa, olika typer av lysrör och LED (Light Emitting Diode) (Jamieson u.å.; Clarke *et al.*, 2006). Kartläggning av energianvändningen på svenska mjölkgårdar har givit generell information om belysningens andel av den totala energiförbrukningen på gården. Belysningen kan utgöra mellan 12-19 % av den totala energiförbrukningen beroende på vilken teknik som används (Hörndahl 2007; Neuman 2009). LED-belysning har lång brinntid och är energisnålt och kan därmed vara intressant ur ett ekonomiskt perspektiv, trots att armaturerna kan vara dyrare vid inköp jämfört med andra armaturer. Det finns även möjlighet att anpassa ljusets våglängd och intensitet utifrån djurslag men det behövs mer forskning på hur olika våglängder kan påverka mjölkkor för att kunna göra ljusprogram med särskilt anpassande våglängdsblandningar. Det är därför relevant att undersöka hur olika våglängder på ljuset skulle kunna påverka djurens prestation, välbefinnande och hälsa.

Syftet med detta arbete var att undersöka om mjölmängd, foderintag, melatonin, IGF-1 eller aktivitet kan påverkas hos mjölkkor som exponeras för olika våglängder på ljus.

2 Litteraturstudie

2.1 Mjölkbildning

Antalet sekretoriska celler i juvervävnaden har en stor betydelse för mängden mjölk som bildas (Sjaastad *et al.*, 2010). Det är antalet sekretoriska celler och deras sekretoriska aktivitet som tillsammans eller var för sig avgör laktationskurvans form (Capuco *et al.*, 2003; Nørgaard *et al.*, 2008). Enligt Capuco *et al.* (2001), som undersökte juvret hos icke-dräktiga Holsteinkor som slaktats, berodde den ökade mjölkproduktionen i början av laktationen på en ökad sekretorisk aktivitet hos cellerna. Differentiering av sekretoriska celler i juvret är som mest intensiv i början av laktationen vilket förklarar varför mjölkproduktionen ökar efter kalvning. Laktationskurvan hos mjölkkor ökar succesivt fram till topplaktationen som inträffar vid fyra till sex veckor efter kalvning (Sjaastad *et al.*, 2010). Viss celldelning och profilering sker under hela laktationen. Efter topplaktation minskar mjölkproduktionen succesivt vilket beror på att förlusten av epitelceller från alveolerna är högre än nybildandet, detta sker fram tills sinläggning (Knight & Wilde 1993; Dahl *et al.*, 1997; Capuco *et al.*, 2001; Nørgaard *et al.*, 2008). Den succesiva nedtrappningen efter topplaktationen ligger kring 2 % per vecka (Knight, 2001).

I etablerad laktation regleras mjölkbildningen av hormonkoncentrationer i blodet och lokala förhållanden i de alveoler i mjölkkörtelvävnaden där mjölken samlas efter att den bildats (Sjaastad *et al.*, 2010). Det är viktigt att alveolen töms på mjölk för att kunna producera mer mjölk, är alveolen full med mjölk påverkas inte mjölkbildningen av hormoner i plasma som stimulerar mjölksyntes (Neville, 2006). Prolaktin en av de hormoner som stimulerar mjölksyntes (Akers, 1985). Denna minskning av mjölkproduktion när alveolen inte töms på mjölk verkar bero på ett ämne som fungerar som en återkopplingsinhibitor av laktation (FIL) (Linzell & Peaker, 1971; Knight *et al.*, 1998), serotonin tros vara det ämne som förmedlar denna inhibition (Hernandez *et al.*, 2008; Collier *et al.*, 2012).

Hormonet GH (tillväxthormon) stimulerar huvudsakligen levern att producera tillväxthormonet IGF-1 som i sin tur stimulerar kroppstillväxt. IGF-1 har tillväxtfrämjande effekter på nästan varje cell i kroppen eftersom de har receptorer för IGF-1 (Sternlicht, 2005). IGF-1 ökar överlevnaden av mjölkproducerande celler (Lamote *et al.*, 2004)

Dräktighet har visat sig ha en negativ påverkan på mjölmängd (Bachman *et al.*, 1988). Det beror på att östrogenutsöndringen från placentan har inhiberande effekter på laktationen. Det har däremot visat sig finnas en större möjlighet att påverka mjölmängden hos dräktiga jämfört med icke-dräktiga kor (Capuco *et al.*, 2003). Det beror på att det redan är låg apoptos (programmerad celldöd) av celler hos icke dräktiga vilket gör att det är svårt att se en respons på faktorer som bromsar apoptosen ytterligare. Det finns istället möjligheter att öka celldelning under laktationen. Några potentiella sätt att öka celldelningen är administration av GH eller manipulation av ljusperioden (Capuco *et al.*, 2003).

2.2 Ljus

Ljus består av ljuspartiklar som kallas för fotoner (Ekstig & Boström 2003). Dessa fotoner kan innehålla olika mycket energi och denna energimängd beror på fotonens våglängd. Fotoner är det ljus som avges när en elektron går från en yttre bana till en inre bana inuti en atom (Ekstig & Boström 2003; Doxsee *et al.* 2005). De olika banorna inuti atomen har olika mängd energi, den innersta har minst energi och den yttersta har mest energi. Ljus som har en kort våglängd består av fotoner av högre energi. Våglängder upprepar sig regelbundet och är det avstånd som uppstår mellan två närliggande vågtoppar (Ekstig & Boström 2003). Vågländsspektra för synligt ljus hos människor ligger mellan 400-700 nm (Hjalmarsson 2014; Kremers 2016), kors vågländsspektra för det synliga ljuset är okänt. I detta vågländsspektra för människor har blått ljus en kortare våglängd (400-500nm) jämfört med rött ljus (600-700nm), detta innebär att blått ljus är mer energirikt (Ekstig & Boström 2003). Våglängderna kort, mellan och lång våglängd brukar benämnas i olika sammanhang och dessa representerar blått, grönt respektive rött ljus (Sjaastad *et al.* 2010; Kremers 2016). Vid användning av LED-lampor kan en kombination av blått, grönt och rött ljus användas för att få fram vad vi människor uppfattar som vitt ljus (Bochenek & Fällström 2015) Det vita ljuset liknar solens ljus, dock består solens vita ljus av en blandning av regnbågens alla färger.

2.2.1 Mätning av ljus

Det finns olika sätt att mäta ljus, till exempel med luxmätare, luminansmätare, spektrofotometer och en nyutvecklad metod som benämns The Environment Light Field (ELF) (Nilsson & Smolka 2019).

Lindkvist (2019) jämförde olika sätt att mäta ljus och kom fram till att spektrofotometer och ELF-metoden är de metoderna som finns i dagsläget som ger mest relevant information om ljus i kostallar eftersom de verkar kunna mäta de våglängder som nötkreaturets öga verkar uppfatta. ELF-metoden och spektrofotometern har även fördelen att kunna ge en fördjupad analys om var ljuskällan i förhållande till instrumentet finns genom att mäta ljusintensiteten och dess färgfördelningen över olika våglängder. ELF-metoden kan vara att föredra vid mätningar i ett kostall eftersom den är lättare att hantera i den miljön. Olika studier mäter ljuset med olika enheter vilket gör att jämförelser av mätningar blir svårare. Det skulle vara en stor fördel om forskningen enades om en enhet och Lindkvist (2019) föreslår $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ (fotoner per våglängd) eller Log_{10} fotoner $\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ (Logaritmisk intensitet, LIT).

2.2.2 Ljusintensitet

Ljusintensitet är det ljusflöde som träffar en yta och mäts vanligast i lux (Hjalmarsson, 2014). Det som kan påverka ljusets intensitet är avståndet till ljuskällan, mängden fotoner och ljuskällans armatur. Det är viktigt att vara medveten om att luxmätare är optimerade inom det spektrum som människans öga uppfattar (McCluney 2014) och att det kanske skiljer sig mot hur ljuset uppfattas av nötkreatur (Hjalmarsson, 2014). I dagsläget rekommenderas en ljusintensitet på minst 150 lux för att få en respons på ljusperioden, detta innebär en ökad mjölmängd vid en dagsljusperiod på 16 timmar (Dahl, 2006). Metoder som kan mäta ljuset som nötkreatur uppfattar är med hjälp av en spektrofotometer eller med ELF-metoden (Lindkvist, 2019).

Ljusintensitet har visat sig i studier på nötkreatur kunna påverka beteenden som rörelsemönster vad gäller hastighet och steglängd (Phillips *et al.*, 2000) samt endokrinologi (Muthuramalingam *et al.*, 2006). Dessa studier kommer tas upp senare i arbetet.

2.2.3 Koögat

Vid val av belysning är det viktigt att veta hur nötkreaturets öga uppfattar ljuset. Deras ögon har annorlunda anatomi, placering och fysiologi (Dyce *et al.*, 2010; Sjaastad *et al.*, 2010) jämfört med människans och det är troligt att det finns flera

skillnader mellan kor och människor i hur ljuset uppfattas. Människans ögon är placerade mer rakt fram jämfört med nötkreaturs ögon som är mer i sidled, detta gör att de har ett mindre binokulärt synfält (Dyce *et al.*, 2010). Nötkreaturens pupill kan även justeras till en halvmåne till skillnad från människors runda pupill.

Det finns två olika sorters sensoriska celler i ögat, stavar och tappar (Sjaastad *et al.*, 2010). Stavar reagerar på ljusvågor som hjärnan uppfattar som svart, vitt och olika toner av grått och de kräver inte mycket ljus för att kunna reagera vilket möjliggör synintryck även i dåliga ljusförhållanden. Tappar är de celler som gör att vi kan uppfatta färger och det gör att de kräver mer ljus för att kunna reagera. Det finns tre typer av tappar, för rött ljus (L-tapp), grönt ljus (M-tapp) och en för blått ljus (S-tapp) (Sjaastad *et al.*, 2010). Detta innebär att olika tappar absorberar och aktiveras av ljus i olika delar av färgspektra. Primaters L-tapp som är långvågskänslig ligger runt 560 nm, M-tappen som är mellanvågskänslig runt 530 nm och S-tappen som är kortvågskänslig runt 430 nm (Kremers 2016). Nötkreatur har bara två av typer av tappar vilket gör att de har ett dikromat färgseende, S-tapp och M/L-tapp (Jacobs *et al.*, 1998). Hos nötkreatur har S-tappen högst känslighet för ljus vid 451 nm medan M/L-tappen har en högsta känslighet på 555 nm (Jacobs *et al.*, 1998). Detta gör att djur som har två typer av tappar antas sakna förmåga att skilja på rött och grönt (Sjaastad *et al.*, 2010; Kremers, 2016). Det finns stora brister i människans kunskap om nötkreaturs ögon och det är därför svårt att säkert veta vilka våglängder kor kan uppfatta. En studie har visat att nötkreatur kan skilja på alla tre våglängder men att det finns svårigheter att skilja på blått och grönt ljus (Gilbert & Arave, 1986). Svårigheten att skilja på blått och grönt ljus upptäcktes även av Phillips och Lomas (2001) där det inte var några svårigheter att skilja på rött och grönt ljus.

2.2.4 Ljusperiodens längd

Ljusperiodens längd under dygnet påverkar kornas mjölkproduktion, immunsystem, könsmognad, tillväxt och foderintag (Dahl *et al.*, 2012). De ljusperiodslängder som studerats mest är en lång ljusperiod på 16 timmar ljus och 8 timmar mörker som jämfört med en kort ljusperiod på 8 timmar ljus och 16 timmar mörker.

Wall *et al.* (2005) upptäckte i en studie att kor som exponeras för en kort ljusperiod under sinperioden verkar utveckla mer sekretorisk vävnad i juvret. Exakt vad som sker under denna period är inte kartlagt, men en kort ljusperiod under sinperioden ger en högre avkastning i efterföljande laktation (Miller *et al.*, 2000; Wall *et al.*, 2005; Lacasse *et al.*, 2014). Andra studier som har jämfört ljusperiodernas längd under laktationen, med ljusintensiteter mellan 107-555 lux, har visat att mjölkproduktionen ökar när kor exponeras för en lång ljusperiod (Peters *et al.*, 1981; Bilo-deau *et al.*, 1989; Gavan & Motorga, 2009). Denna ökning tros bero på att ljuset påverkar kornas endokrinologi (Dahl & Petitclerc, 2003) i en kombination med ett

ökat torrsubstansintag (Dahl *et al.*, 2000). Mjölakens sammansättning ser inte ut att påverkas av en lång ljusperiod (Peters & Tucker, 1978; Peters *et al.*, 1981; Bilodeau *et al.*, 1989; Evans & Hacker, 1989; Miller *et al.*, 1999).

I naturen måste djur anpassa sin tillväxt, fertilitet och laktation till de säsongsskiftande energikraven och resursbegränsningarna samt säsongsvariationerna av patogener som djuren möter. Detta har visats i observationer på immunfunktionen hos vilda däggdjur genom årliga variationer, men det bakomliggande fysiologiska grunden för detta är fortfarande okänd (Dowell, 2001). Kopplingen till säsongsvariationer av patogener har lett till att ljusperiodens roll i immunförsvaret har undersökts. Prolaktin tros ha en viktig roll i utvecklingen av den förändrande immunfunktionen hos nötkreatur genom att kunna öka celldelningen i lymfocyterna (Dahl & Petitclerc, 2003). Auchtung och Dahl (2004) undersökte lymfocyter hos stutkalvar och lade fokus på att hitta och identifiera prolaktinreceptorer på lymfocyterna. En lång ljusperiod jämfördes med en kort ljusperiod där båda hade en ljusintensitet på 545 ± 15 lux. Auchtung och Dahl (2004) kom fram till att stutkalvar som exponerades för en kort ljusperiod hade en högre celldelning i lymfocyterna jämfört med dem som exponerades för en lång ljusperiod. Under sinperioden är kor utsatta för en högre risk för juverinfektioner jämfört med under laktationen (Dahl *et al.*, 2012). Det ansågs därför relevant att testa om en kort ljusperiod skulle kunna påverka även kornas immunförsvaret positivt, utöver en ökad mjölmängd i nästkommande laktation. En studie som testade detta utförde en liknande studie som för stutkalvarna men på sinkor med en ljusintensitet på 450 ± 10 lux och fick samma resultat (Auchtung *et al.*, 2004). Detta skulle kunna innebära en förbättrad djurhälsa för kalvar, kvigor (60-dagar innan kalvning) och sinkor som exponeras för en kort ljusperiod jämfört med en lång ljusperiod. Dahl och Petitclerc (2003) anser att en kort ljusperiod inte ska behövas under laktationen eftersom det enbart är en större risk för sjukdomar under övergångsfasen. Författarna hävdar att det inte finns något som visat på att kor som exponeras för en lång ljusperiod under laktationen i större grad drabbas av mastit eller andra infektionssjukdomar. I och med den ökade mjölkproduktionen vid exponering av långa ljusperioder rekommenderas det i dagsläget att lakterande kor ska exponeras för långa ljusperioder.

Kvigor som exponeras för en lång ljusperiod verkar bli könsmogna tidigare men vid en lägre kroppsvikt och mankhöjd (Hansen *et al.*, 1983), detta gör att djurskötaren kan inseminera tidigare vilket leder till en lägre inkalvningsålder (Rius & Dahl, 2006). Hansen *et al.* (1983) inkluderade ingen information om ljusintensiteten i deras studie och kunde inte heller fastställa vad den tidigare könsmognad berodde på. En annan studie, med en ljusintensitet på 450 lux, fann också att kvigor som exponerades för en lång ljusperiod blev könsmogna tidigare men dessa kvigor hade en högre kroppsvikt och mankhöjd (Rius *et al.*, 2005). Efter könsmognaden verkar manipulation av ljusperioder inte ha några signifikanta effekter på fertiliteten (Dahl *et*

al., 2012). Den tidigare könsmognad som uppstår när kvigor exponeras för en lång ljusperiod tros kunna höra samman med en ökad tillväxt (Dahl *et al.*, 2012). Dock anses denna ökade tillväxt vid exponering av en lång ljusperiod kunna påverka korna negativt eftersom en minskad ålder vid könsmognad kan minska den prepubertala juverkörtelutvecklingen (Meyer *et al.*, 2004a; b). Studier på människor (Hermanussen *et al.*, 1989) och möss (Chagin *et al.*, 2003) har visat att vid könsmognad finns det relativt höga koncentrationer av östrogen som kan minska skelettets tillväxt, detta tros även gälla för nötkreatur (Kniffen *et al.*, 1999; Rius *et al.*, 2005). Detta är av stor vikt eftersom en studie har visat att korrelationen mellan kroppsstorlek och mjölkproduktion vid första laktation är högre än korrelationen mellan kroppsvikt och mjölkproduktion vid första laktation (Heinrichs & Hargrove, 1987). Detta innebär att om skelettillväxten begränsas genom att uppnå könsmognad vid en lägre kroppsvikt och mankhöjd med en lång ljusperiod kan det minska efterföljande mjölkproduktion (Rius *et al.*, 2005). Dock är det fortfarande oklart om en lång ljusperiod leder till en lägre eller högre kroppsvikt och mankhöjd då studier har fått olika resultat (Hansen *et al.*, 1983; Rius *et al.*, 2005). Två studier testade om ändringar i foderstaten kunde påverka skelettillväxten hos växande kvigor (Moallem *et al.*, 2004a; b). Båda studierna kom fram till att icke våmnedbrytbart protein i kombination med GH ökar skelettillväxten hos prepubertala kvigor.

Macmillan *et al.* (2018) undersökte foderintaget hos mjölkkor där en lång ljusperiod med en ljusintensitet på 225 lux jämfördes med en kort ljusperiod med en ljusintensitet på 160 lux. De fann att torrsubstansintaget inte påverkades av vilken ljusperiod som korna exponerades för, men tidsdistributionen för foderintag skiljde sig. I långa ljusperioden klockan 16.00-19.00 var foderintaget högre jämfört med foderintaget i korta ljusperioden, som vid denna tidpunkt hade mörker. Författarna ansåg att en längre ljusperiod kan sprida ut kornas foderaktivitet över hela dagen. Det finns fler studier som har jämfört olika ljusperioder och undersökt totala torrsubstansintaget med skiftande resultat. Gemensamt för flertalet studier av ljusets effekt på mjölmängd är att foderintaget inte minskar vid en lång ljusperiod, det är oförändrat eller ökar. Några studier med en ljusintensitet mellan 107 – 462 lux har sett att torrsubstansintaget har ökat mellan 3,6–6,1 % (Peters *et al.*, 1981; Bilodeau *et al.*, 1989; Miller *et al.*, 1999) medan andra studier som hade en ljusintensitet mellan 200 – 481 lux inte har sett någon skillnad i torrsubstansintag (Evans & Hacker, 1989; Phillips & Schofield, 1989; Dahl *et al.*, 1997). Dahl *et al.* (2000) anser däremot att torrsubstansintaget generellt ökar när kor exponeras för en lång ljusperiod som ger en ökad mjölkproduktion eftersom de ska kunna möta det ökade energikravet.

2.3 Endokrinologi

2.3.1 Hormoner

Plasmakoncentrationer av hormoner beror på ett nettoresultat av två processer, sekretion och nedbrytning av hormon (Sjaastad *et al.*, 2010). Hormonkoncentrationer i plasma regleras till störst del av negativ återkoppling, vilket förhindrar överaktivitet av hormonsystemet. Plasmakoncentrationer av hormon är väldigt låga, från en nanomol (10^{-9} mol) ända ner till en picomol (10^{-12} mol) per liter. Detta gör att speciella metoder har utformats för att upptäcka dessa små kvantiteter i blod- och mjölkprover (IBL International, 2014; Mediagnost, 2018).

2.3.2 Melatonin

Melatonin frisätts från tallkottkörteln och påverkar den biologiska dygnsrytmen (Sjaastad *et al.*, 2010). Hos däggdjur sker informationsöverföringen om ljus och mörker från näthinnan till tallkottkörteln genom nervbanor. Sekretionen av melatonin stimuleras vid mörker och inhiberas när ljuset når näthinnan (Hedlund *et al.*, 1977; Asher *et al.*, 2015). Melatonin har visat sig kunna ha en negativ korrelation med IGF-1 (Muthuramalingam *et al.*, 2006). Den negativa korrelationen består i att melatonin hämmar insöndring av IGF-1. När det är ljust inhiberas melatonin vilket gör att sekretionen av IGF-1 ökar. Detta kan tyda på att temporära minskningar av melatonin kan vara en av de bidragande faktorerna till att mjölkproduktionen ökar vid en lång ljusperiod (Bal *et al.*, 2008). Melatonin påverkar även sekretion av andra hormoner som i sin tur uttrycker förändringar i laktation, tillväxt och hälsa, exempel på hormoner är prolaktin och GH (Dahl *et al.*, 1997; Dahl & Petitclerc, 2003). Variationen i melatoninnivån kan bero på individuella skillnader. I en studie uteslöts en kviga eftersom den inte verkade ha någon dygnsrytm av melatonin (Buchanan *et al.*, 1992).

Hur mycket ljus som kvigor kan exponeras för under natten utan att melatoninhalten sjunker har undersökts i en studie av Muthuramalingam *et al.* (2006). För att mäta melatoninhalten användes radioimmunologisk analys (RIA) som mätmetod. Kvigorna som användes i studien var 245 ± 16 dagar och ljusintensiteterna som jämfördes var 0, 5, 10 och 50 lux. Mellan de olika ljusintensiteterna fanns två signifikanta skillnader enbart vid de två första timmarna med nattbelysning. Dessa två signifikanta skillnader var när 50 lux jämfördes med 0 lux. Första timmen hade ljusintensiteten på 50 lux 48 % lägre melatoninhalt medan vid andra timmen var det 45 % lägre melatoninhalt jämfört med 0 lux (Tabell 1).

Tabell 1. Data från Muthuramalingam *et al.* (2003). Melatoninhalt för timme 1 respektive timme 2 av nattbelysningen för ljusintensiteterna 50 lux, 10 lux, 5 lux och 0 lux. Värden i samma kolumn och timme som skiljer sig signifikant mot varandra (minst 98 % konfidensintervall) är åtföljda av olika bokstäver (a, b).

Timme i nattbelysning	Melatoninhalt (pg/ml)	Ljusintensitet (lux)
1	10,5 ^a	50
1	22,3 ^{ab}	10
1	17,7 ^{ab}	5
1	20 ^b	0
2	14,9 ^a	50
2	21,9 ^{ab}	10
2	24 ^{ab}	5
2	26,7 ^b	0

Rekommendationen på minst 150 lux för att stimulera nötkreaturs hjärna tillräckligt härstammar från när inhiberingen av melatonin sker, exakt var gränsen går för melatonin är dock fortfarande oklart. En studie undersökte hur ljusintensiteterna 400, 200, 100, 50, 0 lux kunde påverka inhiberingen av melatonin under dagen (Lawson & Kennedy, 2001). Ljusperioden bestod av åtta timmar med 400 lux och den nästkommande förlängda perioden på åtta timmar bestod av någon av de fem ljusbehandlingarna, resten av tiden var mörker. Det sågs att alla ljusintensiteter inhiberade melatonin men för alla utom 400 lux så ökade melatonin efter ett tag in i den förlängda perioden. Ökningen av melatoninhalten var tydligare ju lägre ljusintensitet i den förlängda perioden. Detta skulle kunna tyda på att rekommendationen för ljusintensitet kanske borde vara ännu högre än 150 lux. Författarna ansåg att 50 lux eller mindre kan vara tröskelvärden för nattperioden.

2.3.3 IGF-1

IGF-1 är ett hormon som regleras av GH från adenohypofysen (Sjaastad *et al.*, 2010). GH stimulerar huvudsakligen levern att producera IGF-1 som i sin tur stimulerar kroppstillväxt. IGF-1 har tillväxtfrämjande effekter på nästan varje cell i kroppen eftersom de har receptorer för IGF-1 (Sternlicht, 2005). IGF-1 har morfogene-tiska effekter som påverkar överlevnaden av sekretoriska celler (Lamote *et al.*, 2004). Några andra funktioner som hormonet har är att stimulera proteinsyntes, inhibera proteolys samt öka skelettets mineralisering.

En ökad andel cirkulerande GH ökar mjölmängden hos lakterande kor (Dahl *et al.*, 1991; Bauman & Vernon, 1993). Men när mjölkkor exponeras för olika längder på ljusperioden har inga förändringar av GH upptäckts (Peters & Tucker, 1978; Peters *et al.*, 1981). Däremot har plasmakoncentrationen av IGF-1 ökat vid längre ljusperioder och är troligtvis det hormon som ökar mjölkproduktionen vid en längre

ljusperiod (Dahl *et al.*, 1997, 2000; Kendall *et al.*, 2003). Hur denna endokrina respons sker är inte helt kartlagt, men ökningen av IGF-1 verkar ske oberoende av förändringar av GH (Dahl *et al.*, 1997). Melatonin verkar däremot spela en roll vid sekretionen av IGF-1 vid olika ljusperioder (Muthuramalingam *et al.*, 2006; Spicer *et al.*, 2007; Bal *et al.*, 2008). Vid den långa ljusperioden inhiberas melatonin vilket gör att IGF-1 kan öka.

En studie undersökte hur IGF-1 halten förändrades hos nykalvade kor när de utfodrades för att antingen uppnå en hög mjölkproduktion (8466 ± 1162 l/ko per laktation) eller en låg mjölkproduktion (6748 ± 787 l/ko per laktation) (Pedernera *et al.*, 2008). IGF-1, som mättes genom enzymkopplad immunadsorberande analys (ELISA), var signifikant högre från vecka två hos kor med en hög mjölkproduktion ($P < 0,001$) (Tabell 2).

Tabell 2. Data från Pedernera *et al.* (2008). IGF-1 serumhalter (ng/ml) för varje vecka som blodprover togs. Kor utfodrades för antingen en hög mjölkproduktion (=HP) eller låg mjölkproduktion (=LP). Från vecka 2 efter kalvning var IGF-1 signifikant högre hos HP än LP ($P < 0,001$).

Vecka	HP IGF-1 (ng/ml)	LP IGF-1 (ng/ml)
1	51,7	52,9
2	68,5	53,5
3	70,3	55,6
4	71,8	60,0
5	87,4	57,2
6	85,0	58,4
7	92,3	59,6
8	88,3	64,8
9	95,0	65,7

Kendall *et al.* (2003) jämförde halten av IGF-1 hos kalvar med en ålder på 98 ± 4 dagar under en kort respektive lång ljusperiod. Ljusintensiteten var ungefär 553 ± 14 lux för båda ljusperioderna. Ljuset tändes klockan 07.00 för båda ljusperioderna och släcktes kl 15.00 för en korta ljusperioden och klockan 23.00 för den långaljusperioden. Första blodprovet togs två dagar innan de delades in i en lång respektive kort ljusperiod, RIA användes för att mäta IGF-1. Blodproven togs mellan klockan 8.00-10.00 innan de utfodrade kalvarna. De fann att IGF-1 var signifikant högre hos de kalvar som exponerats för en lång ljusperiod jämfört med en kort ljusperiod ($P < 0,05$) (Tabell 3).

Tabell 3. Data från Kendall *et al.* (2003). IGF-1 serumhalter (ng/mL) för varje dag som blodprover togs. LL = lång ljusperiod och KL = kort ljusperiod. IGF-1 halter var signifikant högre hos LL än KL ($P < 0,05$).

Dag	LL IGF-1 (ng/mL)	KL IGF-1 (ng/mL)
-----	------------------	------------------

-2	50,4	50,4
5	72,8	79,2
12	86,8	76,4
19	103,2	92,8
26	112,0	102,4
33	120,4	113,2
40	118,8	117,6
48	132,0	95,5
55	124,7	106,3

Holstein, i tidig laktation 55 ± 8 dagar med ett laktationsnummer på $2,7 \pm 0,2$, användes i en studie som undersökte hur fasta kan påverka IGF-1 (Chelikani *et al.*, 2004). Mätmetoden som användes var RIA. En kontrollgrupp och en fastande grupp undersöktes, efter tolv timmar sågs en signifikant skillnad ($P < 0,05$) på IGF-1. Vid återfodring återgick dessa halter snabbt till kontrollnivåerna ($P < 0,1$) inom två timmar.

2.3.4 Metoder för att detektera melatonin och IGF-1

Immunologiska metoder, både RIA och ELISA, används för att detektera melatonin och IGF-1 (Fraser *et al.*, 1983; Yakar *et al.*, 2002; IBL International, 2014; Mediagnost, 2018). RIA utvecklades innan ELISA och metoden utnyttjar radioaktivitet, metoden var lätthanterlig, noggrann och billig (Lequin, 2005). ELISA hade inte lika hög känslighet som RIA i början men den fortsatta utvecklingen ledde till att metoden uppnådde samma känslighet som RIA. En undersökning av Lequin (2005) om metodernas popularitet såg att RIA låg på topp under år 1980 fram till år 1990 och minskade sedan från år 1990 till år 2000, men användes fortfarande i betydande storlek. Samma undersökning såg att metoden ELISA började öka under årtiondet 1980 och undersökningen såg ingen trend på att denna ökning skulle upphöra. Att ELISA blir mer vanlig än RIA verkar bero på att metoden ELISA använder sig av enzymer istället för radioaktivitet (Lequin, 2005).

2.4 Aktivitet

Stå- och liggtid är mått på aktivitet som ofta används. Nötkreatur ligger ner för att sova och föredrar även att ligga ner vid idissling (Norrington, 2011), det är därför ett viktigt beteende för nötkreatur, om de hindras från att ligga uppkommer beteendemässiga och fysiologiska stressresponser (Fisher *et al.*, 2002; Cooper *et al.*, 2008). Mjölkkor spenderar ungefär 12-13 timmar per dygn på att ligga ner (Wierenga &

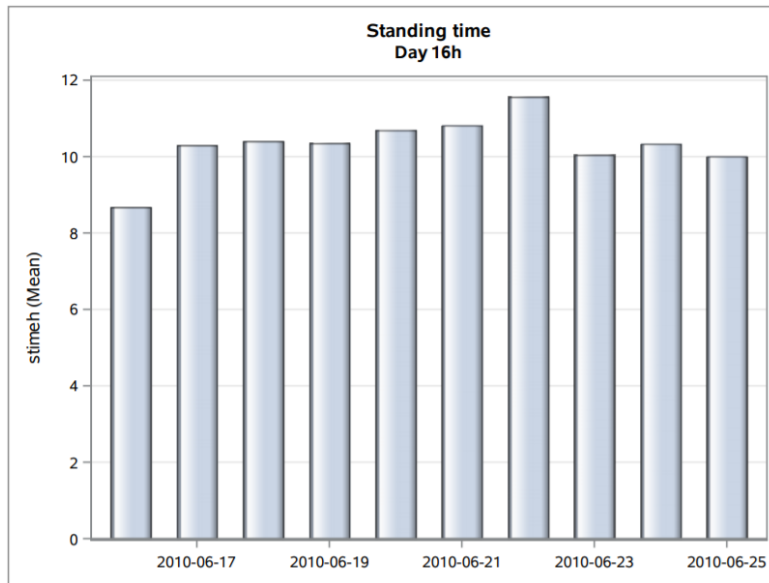
Hopster, 1990; Jensen *et al.*, 2005; Munksgaard *et al.*, 2005; Ternman, 2014). Dessa siffror kan påverkas av faktorer som exempelvis miljö, skötsel och individuella variationer som hälsostatus, rang, personlighet, dräktighetsstadie och laktationsstadie (Wierenga & Hopster, 1990). Wierenga och Hopster (1990) undersökte dygnsrytmen hos kor vid normal beläggning, lika många liggbåsar och ätplatser som det fanns antal kor. Mjölkningsarna på morgonen respektive eftermiddagen avslutades kl. 06:00 respektive kl. 15:30. Vid observationerna delades dygnet in i dag, tiden efter morgonmjölkning till eftermiddagsmjölkningen (åtta och en halv timme), kväll, tiden mellan eftermiddagsmjölkning och natten (tio timmar) och natt, sista fyra timmarna innan morgonmjölkning. Resterande tiden av dygnet räknades in till mjölkningen. Korna exponerades för dagsljus och artificiellt ljus under dagen medan de exponerades för reducerat ljus, så att beteendestudier kunde göras, under kvällen och natten. Inga ljusintensiteter har angetts i studien. På dagen spenderade korna lite mer än halva tiden i liggbåsen varav en halvtimme ståendes. Två tredjedelar av kvällstiden spenderades vid liggbåsen varav en timme ståendes. Under natten spenderades nästan hela tiden vid liggbåsen varav en halvtimme ståendes. Författarna kunde tydligt se att under kvällen och natten spenderade korna mycket mer tid på att ligga ner. Ät- och liggbeteenden utfördes i tydliga och oförändrade dygnsrytmer. Dygnsrytm verkar bero på kornas förmåga att avgöra dagslängden och detta verkar vara möjligt med hormonet melatonin som utsöndras på natten när det inte kan inhiberas av ljuset (Reiter, 1980). Detta kan innebära att ljuset påverkar dygnsrytmen och därmed även liggbeteenden hos nötkreatur.

En studie undersökte om kor påverkas av olika ljusintensiteter, 0, 5, 20 och 50 lux samt om de kan uppfatta rött ljus (Olsson, 2014). Olika stressrelaterade egenskaper som hjärtfrekvens, blodtryck och andningsfrekvens kontrollerades i två olika test. De två testen var hinderbana och främmande objekt test. Det röda ljuset bestod av en ljusslinga längst hela banan, alla ljusintensiteter testades med eller utan röda ljuset. Andningsfrekvensen var signifikant högre vid exponering av rött ljus jämfört med grönt och blått ljus ($P=0,0063$), där största signifikanta skillnaden sågs i hinderbanan med en ljusintensitet på 0 lux ($P\leq 0,05$). Detta resultat skulle kunna tyda på att rött ljus kan vara stressande för kor. En annan studie på kor undersökte också hur ljusets intensitet påverkade aktiviteten men under natten (Hjalmarsson *et al.*, 2014). Tre olika ljusintensiteter användes som nattbelysning, 11, 33 respektive 74 lux. Under dagen hade alla ljusbehandlingar en minsta ljusintensitet på 153 lux. Det fanns signifikanta skillnader i mjölmängd mellan 74 och 33 lux ($P<0,01$) samt 74 och 11 lux ($P<0,01$). Ljusintensiteten 74 lux gav en mjölmängd på $45,2 \pm 1,3$ kg följt $44,3 \pm 1,4$ kg från 33 lux och lägsta mjölmängden på $43,9 \pm 1,3$ gavs av 11 lux. Inga signifikanta skillnader fanns i aktiviteten, som var uppmätt i antal grindpasseringar, mellan de tre olika ljusintensiteterna under natten.

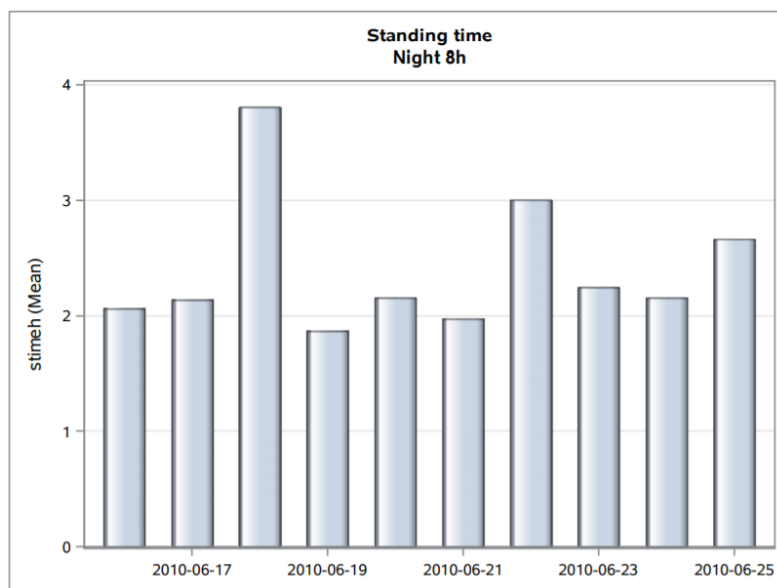
Macmillan *et al.* (2018) undersökte uppbundna mjölk kors liggbeteende när de exponerades för en lång ljusperiod med en ljusintensitet på 225 lux eller en kort ljusperiod med en ljusintensitet på 160 lux. Som nämnts tidigare ökade foderintaget mellan klockan 16.00-19.00 i den långa ljusperioden då den korta ljusperioden hade mörker, detta innebar en minskning i liggtid vid denna tidpunkt. Liggtiden minskade från 37,7 till 28,3 minuter per timme, dock är det oklart om det beror på ljusperioden, ljusintensiteten eller en kombination av båda. Det upptäcktes inga signifikanta skillnader i totala liggtiden per dag mellan ljusperioderna. Phillips och Schofield (1989) undersökte också liggtiden men även antal steg per dag. Kor som exponerades för en naturlig ljusperiod med dagsljus 8 timmar jämfördes med kor som exponerades för en lång ljusperiod med dagsljus 8 timmar och sedan ett artificiellt ljus 10 timmar (totalt 18 timmar ljus). De fann att den långa ljusperioden ökade liggtiden och minskade antalet steg per dag, trots att liggtiden minskades när korna exponerades just för det artificiella ljuset i den långa ljusperioden.

En studie undersökte om det är möjligt att registrera om kor betar eller inte genom att mäta deras huvudposition med hjälp av en aktivitetsmätare samt registrera om kon låg eller stod upp med en annan aktivitetsmätare (Nielsen, 2013). Korna i studien var av rasen Svensk röd och vit boskap (SRB) och studien genomfördes under betessäsongen i Sverige. Det finns enbart jämförelser av stå- och liggtider i en kombination med huvudpositionen för att kunna avgöra om kon betade. Från opublicerade data på stå- och liggtider delades natten in i 8 timmar, 21:00-05:00, och dagen 16 timmar, 05:00-21:00 (tabell 3 & 4). Dessa figurer indikerar att korna står ungefär 60 % av dagen och enbart 25 % av natten.

Tabell 3. Ståttider avläst av aktivitetsmätare under dagen, 05:00-21:00, taget från opublicerade data (Nielsen, opublicerat)



Tabell 4. Ståttider avläst av aktivitetsmätare under natten, 21:00-05:00, taget från opublicerade data (Nielsen, opublicerat)



Phillips och Lomas (2001) undersökte kalvars beteende i våglängderna blått, grönt och rött ljus när de utsätts för olika stimulus; ny miljö, rädsla och deras djurskötare. I studien upptäckte de att när kalvarna utsätts för rädsla, som i detta test var ett högt

ljud bakom dem, så gömde sig kalvarna snabbare i ljuset med grönt ljus jämfört med blått ljus. Kalvarna hade små rörelserna i grönt ljus jämfört med blått och rött ljus i två av stimuli, ny miljö och rädsla. De nådde sin djurskötare snabbare och var mer aktiva i rött ljus jämfört med grönt eller blått ljus. Detta resultat anser författarna kan komma till god nytta för att förbättra miljön hos nötkreatur i specifika situationer. De rekommenderar exempelvis att blått ljus skulle kunna användas i mjölkgruppen för att det verkar minska kornas aktivitet och nivån av upphetsning så att de blir lättare att mjölka.

3 Material och metod

Ljusbehandlingarna genomfördes på Lövsta lantbruksforskning under januari – maj 2019. Korna hölls i ett uppbundet stall utan insläpp av naturligt ljus för att ljusbehandlingarna inte skulle kontamineras av annat ljus. Skötsel av djuren var godkänd av den djurförsöksetiska nämnden i Uppsala (Dnr: 5.2.18-11064/16).

3.1 Skötsel

3.1.1 Rengöring och strö

Båspallarna i det uppbundna stallet hade gummimatta och sågspån användes som strömaterial. För minsta möjliga påverkan på kornas aktivitet skrapades mittgången och båspallarna enligt ett schema. Detta innebar att mittgången och varje båspall skrapades rent under och efter varje mjölkning samt att mittgången och de båspallar där kon redan stod upp skrapades i samband med utfodringen kl. 13.00. All tid utöver detta lämnades korna ifred. Efter skrapningen ströades både båspallarna och mittgången på nytt med sågspån. Diskning av mjölksystemet sattes igång efter varje slutförd mjölkning. Utgödslingen sattes igång manuellt fem gånger per dag, kl. 05:00, 09:00, 13:30, 16:00 och 20:00.

3.1.2 Foderstat och utfodringstider

Grovfodret bestod under första behandlingsperioden av 2:a skörd av gräs/klöver (39 % ts) som mixades tillsammans med mineraler och salt och utfodrades till korna. Sammansättningen av 2:a skörden var 10,8 MJ OE/kg ts, 424 g NDF/kg ts och 139 g råprotein/kg ts. Grovfodret vid andra behandlingsperioden bestod av 3:e skörd av blandvall med 1-50 % klöver (46 % ts) som även den mixades tillsammans med mineraler och salt. Sammansättningen av 3:e skörden var 10,2 MJ OE/kg ts, 376 g NDF/kg ts och 200 g råprotein/kg ts. All utfodring sköttes manuellt, grovfoder gavs

ad libitum medan kraftfoder vägdes och tilldelades individuellt till varje ko. Korna fick två olika kraftfoder, ”Komplett Fiber” och ”Konkret Mega”. Medelgivan under första behandlingsperioden för den förstnämnda var 9,0 kg respektive 3,0 kg för det andra kraftfodret. Vid andra behandlingsperioden var medelgivan 12,6 kg respektive 1,6 kg. I foderstaten stod kraftfodret för ungefär 45 % av totala torrsubstansintaget. Grovfoder gavs tre gånger per dag, klockan 05:45, 13:00 och 19:30 medan kraftfoder gavs fyra gånger per dag, klockan 06:10, 13:30, 16:30 och 19:30. Överblivet foder vägdes och togs bort kl. 05:05 varje morgon. Foderintaget räknades ut manuellt genom att väga och anteckna grovfodergivorna och sedan räkna bort foderresterna som även de vägdes och antecknades. Detta gjordes för varje enskild mjölkko dagligen under försöket. Alla kor hade individuella automatiska vattenkoppar.

3.1.3 Mjölkning och mjölkprovtagning

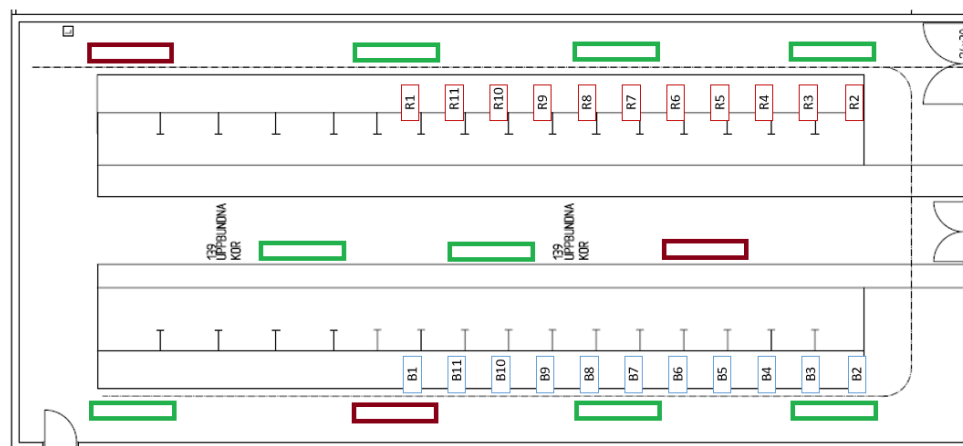
Korna mjölkades i sina båsar med en mjölkningsmaskin mellan kl. 06:15-08.15 och 17:00-19:00 (DeLaval's stallplatsenhet MU480, DeLaval International AB, Tuma, Sverige). Mjölkningssmaskinerna kalibrerades enligt DeLaval's instruktioner för mjölkningssenheten (DeLaval, 2019) innan försöket startade. Efter kalibreringen låg avvikelser mellan registrerad och faktiskt uppmätt mjölmängd mellan 0,94 % och 2,2 % under ljusbehandlingarna. Enligt DeLaval (2019) ska avvikelserna max ligga på $\pm 2\%$.

Mjölmängd registrerades av mjölkningssenheter vid varje mjölkning under försöket. Mjölmängden som angavs av mjölkningssenheten skrevs även ner på ett protokoll av stallpersonalen i samband med mjölkning, dessa uppgifter användes vid databearbetningen. Mjölksprover togs 2 ggr/dag under provtagningsdagarna som inföll fem dygn innan och fem dygn efter ljusbehandlingarna. Analyser av mjölks halt av protein, laktos och fett gjordes med Fourier-transform spektroskopi (Combiscope FTIR 300 HP, Delta instruments B.V., Drachten, Nederländerna) och celltal med LED cytometer (Combiscope FTIR 300 HP, Delta instruments B.V., Drachten, Nederländerna). ECM (Energikorrigerad mjölk) per dag räknades ut genom formeln: $\text{kg ECM} = \text{kg mjölk} * ((383 * \text{fett \%} + 242 * \text{protein \%} + 165 * \text{laktos \%} + 20,7) / 3140)$ (Sjaunja *et al.*, 1990).

3.2 Försöksdesign

Försöket bestod av ljusbehandlingar som pågick i fyra veckor då tidigare studier visat att det tar så lång tid innan responsen i mjölmängd går att detektera (Dahl *et al.*, 1997; Dahl & Petitclerc, 2003). Totalt gjordes fyra behandlingar som utfördes

under två perioder där två ljusbehandlingar testades parallellt i varje period. Ljusbehandlingarna i varje period utfördes i samma stall men på varsin sida av stallet och belysningen var utformad för att minsta möjliga kontamination skulle ske mellan de två sidorna, se figur 1 för utformningen av stallet. Totalt 40 dräktiga äldre kor valdes ut till ljusbehandlingarna, tio kor i varje ljusbehandling. Försöket pågick under år 2019 där första ljusbehandlingsperioden, inklusive ca två veckors tillväjningsperiod, pågick under januari och mars. Den andra ljusbehandlingsperioden, inklusive ca två veckors tillväjningsperiod, pågick under april och maj.



Figur 1. Skiss av uppbyggnaden av stallet (Jernhake, 2019, modifierad). R1-R11 och B1-B11 som är utskrivna i skissen visar LED-lampornas placering i stallet. De tio båsplatser där LED-lamporna är användes under båda ljusperioderna. Ljusrör som användes i tillväjningsperioden är utritade som gröna och vinröda rektanglar, de vinröda är de lysrör som användes som nattbelysning

Kornas vanliga inhysningssystem var lösdrift med automatisk mjölkning (VMS eller AMR, DeLaval AB, Tumba, Sverige) där belysningen bestod av fluorescerande lysrör med 18 timmar dagsbelysning och 6 timmar nattbelysning. Ungefär två veckor innan provtagningar för kontroll gjordes flyttades korna till det uppbyggnaden stallet med manuell uppbyggnad mjölkning och belysning med 16 timmar dagsbelysning och 8 timmar nattbelysning. Under tillväjningsperioden till miljön i det uppbyggnaden stallet användes samma sorts armaturer som korna varit vana vid i lösdrifts-avdelningarna, dvs lysrör. Ljusintensiteten i enheten lux mättes med Hagers Screenmaster (B. Hagner, Solna, Sverige). Under tillväjningsperioden varierade ljusintensiteten på dagen mellan 87–397 lux och på natten mellan 2,4–33,6 lux. Vid mätning av ljusintensiteten med Jaz spektrofotometer (Ocean Optics, Inc., Orlando, Florida, USA) uppmättes samma ljus på dagen variera mellan $0,76\text{--}5,23 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ medan natten varierade mellan $0,03\text{--}0,43 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$. Därefter

ändrades belysningen till LED-lampor som användes under ljusbehandlingarna och den slutliga registreringsperioden påbörjades när korna hade stått i LED-belysningen i 28 dygn.

I varje registreringsperiod registrerades foderintag, mjölmängd, IGF-1, melatonin och aktivitet. Mjölksprover för bestämning av mjölkens sammansättning avseende fett-, protein- och laktoshalt och celler och blodprover för bestämning av hormonerna melatonin och IGF-1 togs under sista dygnet av registreringsperioden.

Mjölksprovtagningen innebar provmjölkning morgon och kväll i fem dygn. Mjölmängden registrerades av mjölkkningsmaskinerna och mjölksprover samlades in i provrör med hjälp av mjölksamlingsbehållare (produktnummer 90636484) på mjölkkningsmaskinen. Dessa provrör innehöll 10 % bronopol, 2-bromo-2-nitropropan-1·3-diol (VWR International AB, Stockholm, Sverige) och förvarades i +4 °C innan de skickades in för analys.

Under sista dygnet av båda provtagningsperioderna togs blodprover på alla kor, klockan 15:30, kl. 22:30, kl. 04:00 och kl. 08:30. Blodprov togs i svansvenen med ett Na-EDTA vacutainerrör (BD Vacutainer®, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, New Jersey, USA) och ställdes på is direkt. Centrifugering av provrören gjordes inom en timme från att provet tagits, vid 4000 varv under tio minuter vid en temperatur på 4 °C. Plasman fördes över i eppendorffrör med pipett i två aliquoter om ca 1 ml och förvarades i -20 °C fram till analys. Analyserna av IGF-1 (Mediagnost, Reutlingen, Tyskland) och melatonin (IBL International, Hamburg, Tyskland) utfördes inom en månad genom metoden ELISA. Variationskoefficienter med avseende på intra-assay och inter-assay utvärderades för melatonin och IGF-1. Intra-assay för melatonin och IGF-1 beräknades till 5,3 % respektive 2,5 %. Inter-assay för melatonin beräknades för låg kontroll till 26 % och för hög kontroll till 15 %. Inter-assay för IGF-1 beräknades för låg kontroll till 7 % och för hög kontroll till 4 %.

3.3 Inklusionskriterier för kor

Inklusionskriterier vid urval av kor till studien var att de skulle vara av rasen SRB, att de skulle vara i andra laktation eller högre, producera minst 20 kg mjölk/dag och vara i tidig dräktighet (max fyra månader) då studien började. Kor med låg mankhöjd prioriterades för att de skulle erhålla så god komfort som möjligt i båsallarna. I första perioden låg dagar i mjölk (DIM) på 212 ± 59 dagar och hade ett laktationsnummer på $3,1 \pm 1,3$ laktationer. I andra perioden låg DIM på 131 ± 45 dagar och laktationsnumret på $3 \pm 1,1$ laktationer.

De selekterade korna blockades två och två baserat på laktationsnummer och dräktighetsfas och blev sedan slumpmässigt tilldelade en behandling. Blockning innebär att bilda block av enheter, i detta fall kor, som är likartade för att sedan randomisera dessa enheter till behandlingarna (Engstrand & Olsson, 2003).

Under tillvänjningsperioden ersattes kor som av olika anledningar inte kunde fortsätta vara med i försöket med reservkor som flyttades in samtidigt som övriga kor. De reservkor som inte behövdes togs sedan ut innan ljusbehandlingen påbörjades. Innan första ljusbehandlingen togs totalt tre kor ut ur försöket. Två kor var för stora i förhållande till båsfallen och en ko krånglade vid mjölkning. Innan andra ljusbehandlingen togs totalt åtta kor ur försöket. Hos en ko berodde det på en gammal skada på ena ögat. Två kor togs ur grund av kroppsstorlek i förhållande till båsfallens storlek varav den ena även hade en spenform som gjorde att mjölkningssorganet åkte av under mjölkning. Fyra kor hade för de hade en låg mjölmängd, varav en även hade höga celltal på alla juverdelar. Sista kon som togs ut hade en inte så gammal spenskada och därefter fått höga celltal från den juverkörteln.

3.4 Ljusbehandlingar

Varje ko hade två LED-lampor (ELIXIA LX602G, Heliospectra AB, Göteborg, Sverige), en vid varje sida av huvudet för att optimera ljuset till kons öga. För att mäta ljuset användes ELF-metoden och mätningarna utfördes på samma sätt som beskrivits av Lindkvist (2019).

Alla ljusbehandlingar bestod av 8 timmar nattbelysning och 16 timmar dagsbelysning. Klockan 05:00 tändes dagsljusbelysningen och klockan 21:00 tändes nattbelysningen. De två ljusbehandlingarna under första perioden bestod ett blått (Bilaga 1, Figur 4) respektive rött ljus (Bilaga 1, Figur 5) i ljusschemat. Vid andra perioden bestod ljusbehandlingarna av ett ljus som uppfattas som vitt (Bilaga 1, Figur 6) varav ena ljusbehandlingen även fick ett blått ljus (Bilaga 1, Figur 7) från klockan 15:00 fram tills nattbelysningen klockan 21:00. Det var samma nattbelysning till alla ljusbehandlingar (Bilaga 1, Figur 4, 5, 6 & 7).

Det blå ljusets intensitet låg på 1674 lux, röda ljuset låg på 676 lux och det vita ljuset låg på 1668 lux. Dessa värden mättes med Hagners Screenmaster (B. Hagner, Solna, Sverige). Ljusbehandlingarna hade liknande värden i fotoner per våglängd vilket varierade mellan $31\text{--}33 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$, dessa mättes med Jaz spektrofotometer (Ocean Optics, Inc., Orlando, Florida, USA). För den vit/blåa behandlingen användes samma blåa ljus som i den blåa ljusbehandlingen och samma vita ljus som i vita ljusbehandlingen. På natten hade alla samma nattbelysning vilket hade en ljusintensitet på $10\text{--}14 \text{ lux}$ vilket med Jaz Ocean Optics Inc uppmättes till $0,16 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$. Alla ljusbehandlingar består av olika andelar av rött,

blått och grönt ljus men beroende på andelen av de olika färgdioderna togs det fram ett ljus som uppfattas som antingen blått, rött eller vitt för oss människor. Andelen av blått, grönt och rött ljus är angivet nedanför grafen för varje ljusbehandling (Bilaga 1, Figur 4, 5, 6 & 7).

3.5 Aktivitetsdata

Stå- och liggtider registrerades med aktivitetsmätare HOBOPendant® G Data logger modell UA-004-64 G, (ONSET, Bourne, Massachusetts, USA) som fästes på utsidan av kons bakben. Denna registrerade var femte minut om kon stod eller låg ner. Innan mätaren kunde användas aktiverades den i programmet HOBOWare® software och plastades in för att göra den vattentålig (Ito *et al.*, 2013). Den fästes på kons bakben med hjälp av bomull och vetrap. Bomullen lindades först runt benet för att förebygga skavsår sedan placerades aktivitetsmätaren horisontellt, med den blinkande röda lampan utåt, och vetrap lindades sedan runt benet för att hålla allt på plats. Var tionde dag flyttades aktivitetsmätaren till kons andra bakben för att undvika skavsår, en speciellt utformad kniv användes vid avtagningen. Rådata från aktivitetsmätarna laddades ner i mitten och i slutet av båda behandlingsperioderna. Tre dagar av varje vecka är med i denna analys vilket beror på att vissa dagar gick bort när exempelvis aktivitetsmätarna bytte plats. Denna rådata användes sedan i den statistiska databearbetningen. För att kunna jämföra dagen på 16 timmar med natten på 8 timmar har andel i % räknas ut för dagen respektive natten.

Under första perioden aktiverades aktivitetsmätarna 11 dagar innan ljusbehandlingen påbörjades. I första perioden vid tillvänjningsperioden togs aktivitetsmätarna av under en vecka på grund av att korna fick diarré och för att två inte fungerade. Aktivitetsmätarna justerades och sattes på igen när diarréutbrottet var över. Under andra perioden aktiverades aktivitetsmätarna 14 dagar innan ljusbehandlingen påbörjades och togs inte av förutom då de flyttades till andra bakbenet.

3.6 Hantering av data och statistisk databearbetning

Den statistiska analysen gjordes genom att använda SAS (ver. 9.4; SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Okorrigerade medelvärden beräknades med hjälp av PROC MEANS. Testerna av signifikanta eller fixa faktorer utfördes genom att använda analys av variansen (PROC MIXED). Den statistiska modellen inkluderade de fixa faktorerna behandling (blå/röd/vit/vitblå), tid på dagen (dag/natt), omgång (LED 1/LED 2) och en trevägsinteraktion mellan dessa faktorer. För mjölmängd inkluderades även den fixa faktorn DIM vilket gav en fyrvägsinteraktion mellan alla fixa faktorer. De slumpmässiga faktorerna av djur inom varje behandling och datum

inom perioderna inkluderades i den statistiska analysen. Datum inkluderades eftersom blodproverna, tillskillnad från övriga parametrar, togs under ett dygn vilket gav enbart ett värde från en ko vid en viss tidpunkt medan de andra parametrarna hade flera mätvärden under provtagningsveckan vilket gav ett medelvärde. Residualer testades med avseende normalfördelning (PROC UNIVARIATE). Medelvärden jämfördes med Tukey-Kramers test vid 5-% signifikansnivå.

Försöket var inte designat för att jämföra LED med lysrör. Därav redovisas endast resultat på jämförelser mellan ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå. Detta innebär att resultaten vid baslinjen enbart jämförs med baslinjen medan resultat för LED enbart jämförs med LED.

4 Resultat

4.1 Foderintag

Dygnsfoderintaget i kg torrs substans (ts) skiljde sig inte mellan ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå vid varken baslinjen eller LED (Tabell 5).

Tabell 5. Foderintag räknat i kg ts för ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå innan och efter ljusbehandling.

Ljusbehandling	Baslinje (kg ts)	SEM	LED (kg ts)	SEM
Blå	25,4	0,8	24,7	0,7
Röd	25,8	0,8	25,5	0,7
Vit	23,1	0,8	25,0	0,7
Vit/blå	24,7	0,8	26,5	0,7

4.2 Mjölmängd

Dygnsmjölmängden skiljde sig inte mellan ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå vid baslinjen eller LED (Tabell 6). Det fanns inga samspel mellan tid på dygnet för ljusbehandlingarna vid baslinjen eller LED (Tabell 7).

Tabell 6. Mjölmängd i kg och ECM för ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå vid baslinjen och LED.

	Ljusbehandling	Kg	SEM	ECM	SEM
Baslinje	Blå	32,0	1,3	33,8	1,2
	Röd	29,3	1,3	32,5	1,2
	Vit	31,5	1,3	32,8	1,2
	Vit/blå	31,3	1,4	34,5	1,3
LED	Blå	33,4	1,4	33,9	1,4
	Röd	30,0	1,3	32,5	1,3

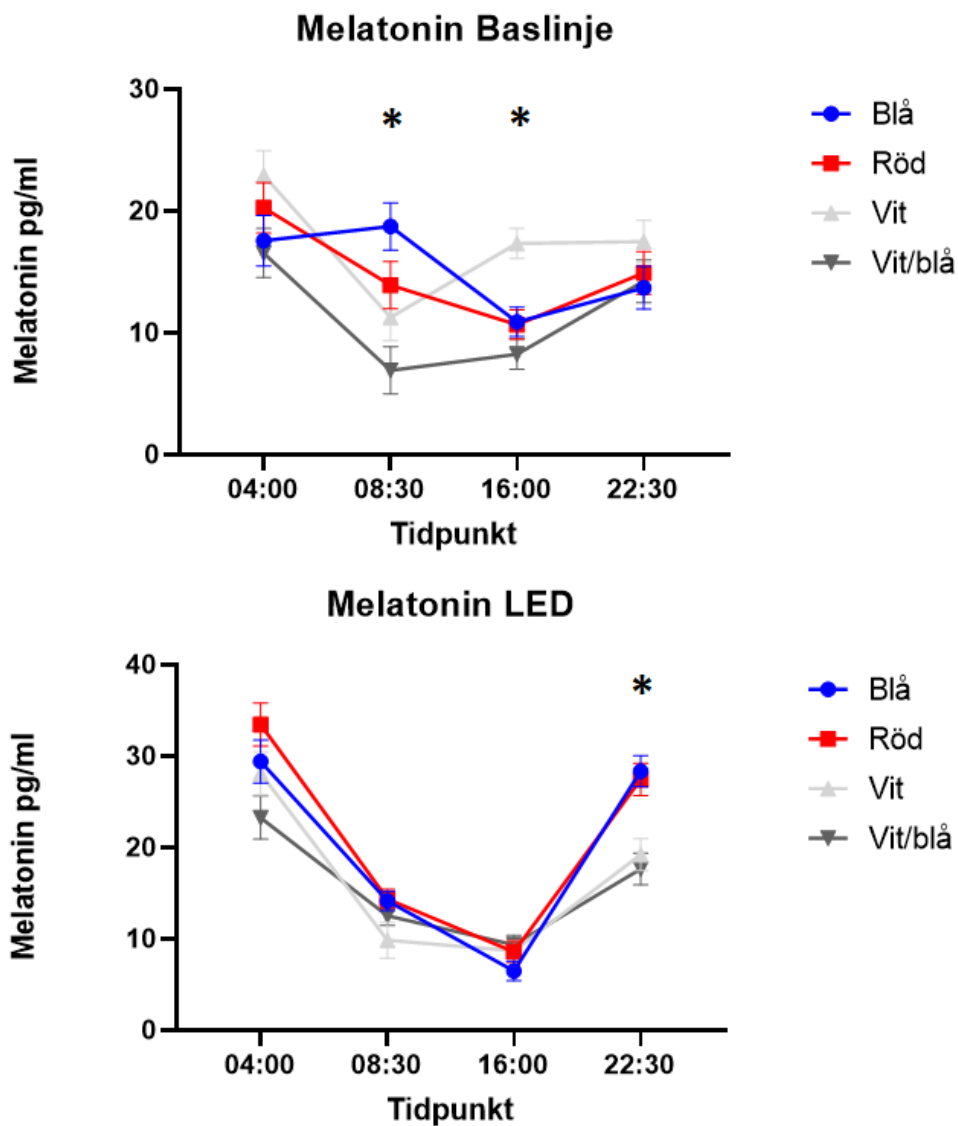
Vit	33,7	1,3	35,0	1,2
Vit/blå	34,0	1,3	36,6	1,2

Tabell 7. *Mjölkmängd i kg och ECM för ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå vid baslinjen och LED för morgon- och kvällsmjölkning.*

		Morgon			Kväll				
	Ljusbehandling	Kg	SEM	ECM	SEM	Kg	SEM	ECM	SEM
Baslinje	Blå	17,5	0,7	17,9	0,6	14,2	0,7	15,8	0,6
	Röd	15,8	0,7	16,8	0,6	13,4	0,7	15,6	0,6
	Vit	16,5	0,7	16,4	0,6	14,9	0,7	16,4	0,6
	Vitblå	16,6	0,7	17,4	0,7	14,7	0,7	17,3	0,7
LED	Blå	18,0	0,7	17,7	0,7	14,9	0,7	15,9	0,7
	Röd	16,2	0,7	16,9	0,7	13,7	0,7	15,4	0,7
	Vit	18,4	0,7	18,3	0,6	15,2	0,7	16,6	0,6
	Vit/blå	18,5	0,7	19,0	0,6	15,4	0,7	17,6	0,6

4.3 Melatonin

Det fanns tre signifikanta skillnader i melatoninnivån vid baslinjen, kl. 8.30 mellan blå och vit/blå samt kl. 16.00 mellan röd och vit, vit och vit/blå (Figur 2). Det fanns inte några skillnader mellan tidpunkterna under dygnet vid baslinjen. Efter ljusbehandlingarna fanns det två signifikant skillnader vid kl. 22.30 mellan ljusbehandlingarna blå och vit/blå, röd och vit/blå (Figur 2). Det fanns även signifikanta skillnader mellan tidpunkterna. För blått ljus fanns det signifikanta skillnader mellan tidpunkterna 04.00 och 08.30, 04.00 och 16.00, 8.30 och 16.00, 08.30 och 22.30, 16.00 och 22.30 (Tabell 8). För rött ljus fanns det signifikanta skillnader mellan tidpunkterna 04.00 och 08.30, 04.00 och 16.00, 08.30 och 22.30, 16.00 och 22.30 (Tabell 8). För vitt ljus fanns det signifikanta skillnader mellan tidpunkterna 04.00 och 08.30, 04.00 och 16.00, 04.00 och 22.30, 08.30 och 22.30, 16.00 och 22.30 (Tabell 8). I vitt/blått ljus fanns det signifikanta skillnader mellan tidpunkterna 04.00 och 08.30, 04.00 och 16.00, 16.00 och 22.30 (Tabell 8).



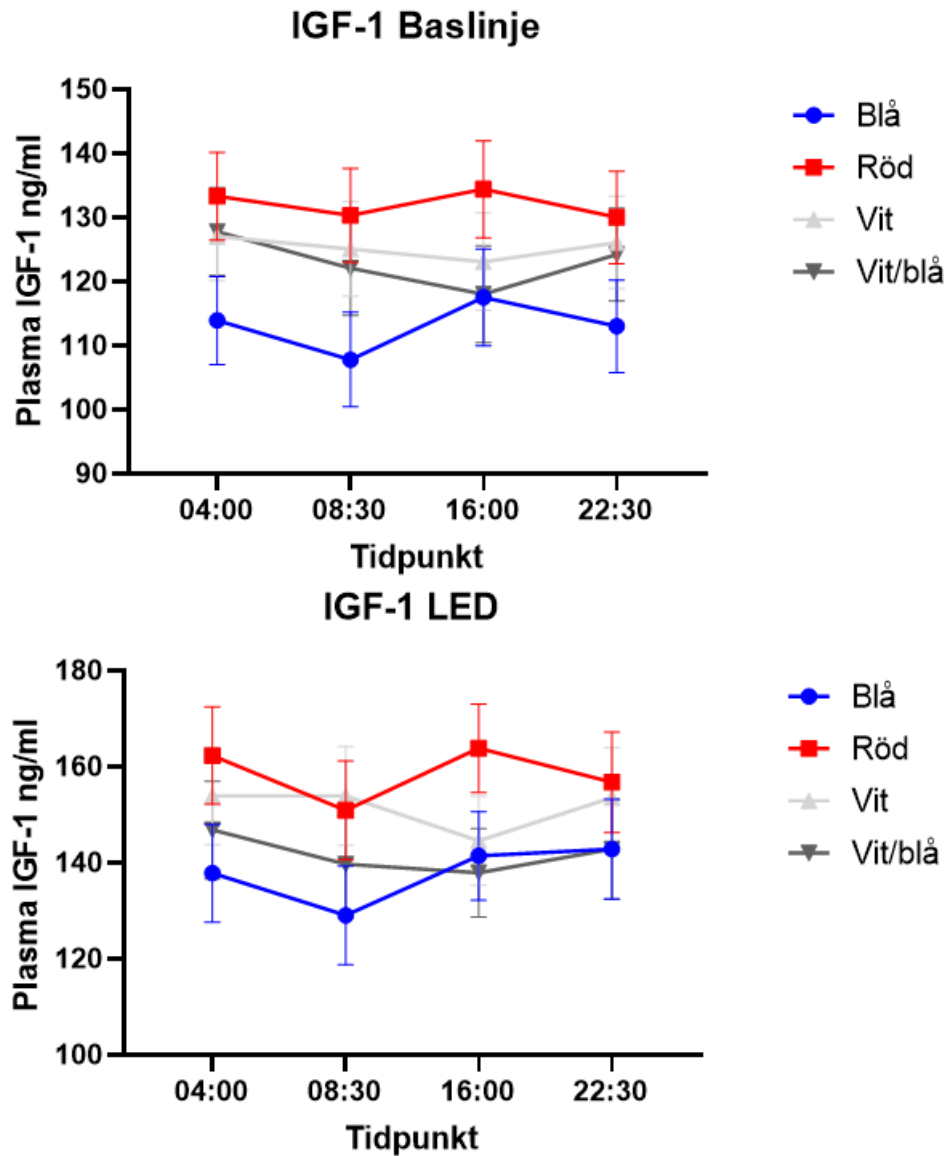
Figur 2. Melatoninnivån (pg/ml) för alla fyra ljusbehandlingar vid tidpunkterna 04.00, 08.30, 16.00 och 22.30. Figuren ovanför är vid baslinjen medan den nedanför är för LED. Värden som skiljer sig signifikant mellan någon ljusbehandling (minst 95 % konfidensintervall) vid baslinjen och LED är markerade med *.

Tabell 8. Tidpunkterna jämförs med varandra för melatoninnivån i ljusbehandlingarna blå och röd vid LED. Värden i samma rad som skiljer sig signifikant mot varandra (minst 95 % konfidensintervall) är åtföljda av olika bokstäver (a, b, c)

	04.00	08.30	16.00	22.30
Blå	29,4 ^a	14,2 ^b	6,5 ^c	28,3 ^a
Röd	33,5 ^a	14,4 ^b	8,6 ^b	27,5 ^a
Vit	28,1 ^a	9,6 ^b	8,7 ^b	19,2 ^c
Vit/blå	23,3 ^a	12,5 ^{bc}	9,3 ^b	17,6 ^{ac}

4.4 IGF-1

Det fanns inga skillnader i IGF-1 mellan ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå vid baslinjen eller LED (Figur 3). För blått ljus var kl. 08.30 signifikant lägre än kl. 22.30 vid LED ($P < 0,0005$). För övriga ljusbehandlingar fanns det inga signifikanta skillnader mellan tidpunkterna.

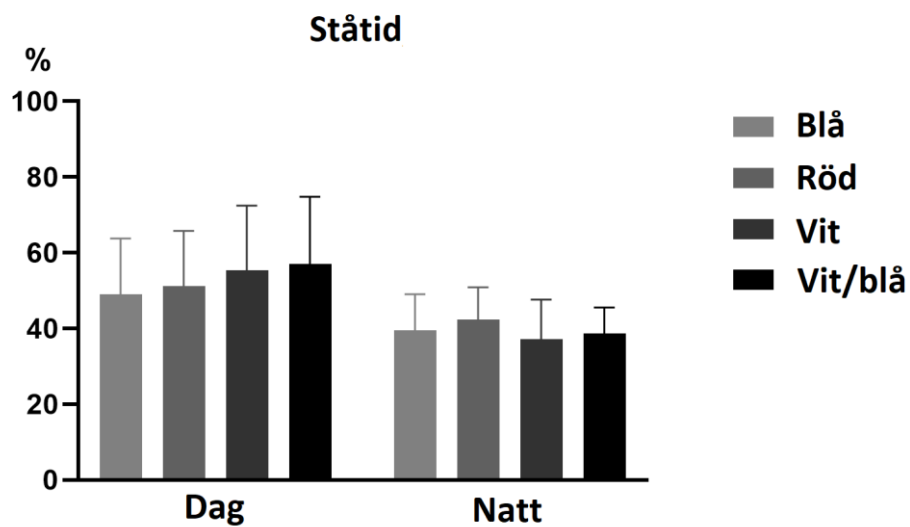


Figur 3. IGF-1 nivån (ng/ml) för alla fyra ljusbehandlingar vid tidpunkterna 04.00, 08.30, 16.00 och 22.30. Figuren ovanför är vid baslinjen medan den nedanför är vid LED.

4.5 Aktivitet

Ståtiden var längre under dagen jämfört med natten för alla ljusbehandlingar ($P < 0,01$). Det fanns dock inga signifikanta skillnader i aktiviteten vad gäller ståtid mellan blått, rött, vitt och vitt/blått ljus för dagen respektive natten vid LED (Tabell 9).

Tabell 9. Ståtid under dagen respektive natten angett i andel, %, vid LED. Dagen för de fyra ljusbehandlingarna är till vänster medan natten är till höger. Dag och natt skiljer sig signifikant mellan alla ljusbehandlingar ($P < 0,01$)



5 Diskussion

5.1 Mjölmängd och foderintag

Mjölproduktionen minskar succesivt efter topplaktation (Knight, 2001), vilket innebär att DIM har en påverkan på mjölmängden. I de olika ljusbehandlingsperioderna låg korna ganska olika i DIM men genom att det inkluderades i modellen kan effekten av dessa tas bort. Detta leder till att en eventuell effekt av ljusbehandling kan komma fram tydligare.

Enligt Knight (2001) minskar mjölproduktionen efter topplaktationen med 2 % per vecka. Detta innebär för denna studie att det var en förväntad minskning mellan 2,3–2,7 kg mjölk per ko under försöksperioden. Dock var det ingen av grupperna som sjönk mer än 0,4 kg. Att mängden mjölk höll sig konstant tyder på att ljusbehandlingarna eller något annat i miljön i försöksstallet stimulerade en mer uthållig laktation. Tidigare studier har visat att det tar ungefär fyra veckor för att kunna detektera en respons i mjölmängd och det var troligtvis det som skedde här (Dahl *et al.* 1997; Dahl & Petitclerc 2003). Vid mätningen vid baslinjen hade korna inte haft en tillräckligt lång tillväxningsperiod för att se förändringar i deras mjölmängd jämfört med lösdriften men vid LED hade korna varit inhysta i det uppbundna stallet tillräckligt länge för att kunna se en respons. Dock är det viktigt att påpeka att detta examensarbete inte var utformat för att jämföra baslinjen med LED vilket gör att nya studier som är utformade för dessa typer av jämförelser kan vara av intresse att genomföra.

Dräktighet påverkar mjölmängden negativt (Bachman *et al.*, 1988). Korna i försöket var dräktiga för att undvika effekter av brunstcykel på aktivitets- och hormondata, men även för att mjölkkor oftast är dräktiga under tiden de producerar mjölk. Enligt Capuco *et al.* (2003) finns det större möjligheter att påverka dräktiga mjölkkor vad gäller ökad mjölproduktion jämför med icke-dräktiga vilket innebär en fördel vid försök att öka mjölmängden hos våra mjölkkor.

Att försöka öka mjölmängden har exempelvis gjorts genom att exponera korna för en längre ljusperiod för att uppnå en ökad mjölkproduktion (Peters *et al.*, 1981; Bilodeau *et al.*, 1989; Gavan & Motorga, 2009). Dahl *et al.* (2000) har föreslagit att torrsubstansintaget generellt ökar när kor exponeras för en lång ljusperiod. Det beror på att en längre ljusperiod ökar mjölkproduktionen, vilket ger ett ökat energibehov som avspeglas i ett högre foderintag vid fri tillgång på grovfoder (Peters *et al.*, 1981; Bilodeau *et al.*, 1989; Miller *et al.*, 1999). Det vore intressant att se om ljusets våglängd också skulle kunna bidra till en ökad mjölkproduktion. Resultatet från detta examensarbete visade inga skillnader mellan blå, röd, vit eller vit/blå ljusbehandling vad gäller mjölmängd (Tabell 6 & 7) eller foderintag (Tabell 5). Detta visar tendenser på att våglängden inte kan påverka nötkreatur på samma sätt som en längre ljusperiod. Det var många faktorer i miljön som kan ha påverkat mjölmängden vilket gör det svårt att urskilja vilka faktorer som är betydande i denna studie. Några exempel på faktorer som spelar roll är att korna kom från lösdrift med konkurrens om ätplatser till uppbundet stall med jämnare tillgång på foder, mjölkningsintervallen blev jämna vilket de inte alltid är i automatisk mjölkning och korna rörde sig inte på samma sätt som de gör i en lösdrift. Dessa faktorer skulle kunna påverka aktiviteten vilket påverkar foderintaget vilket sedan kan påverka mjölmängden.

Phillips och Lomas (2001) föreslog att blått ljus skulle kunna göra korna lättare att mjölka jämfört med grönt och rött ljus. I och med att det inte kunde urskiljas några skillnader mellan någon av ljusbehandlingarna (Tabell 6 & 7) kan inte denna teori styrkas. Det skulle kunna bero på Phillips och Lomas (2001) använde sig av ett blått ljus som skiljde sig markant från det blåa ljuset i detta examensarbete vad gäller ljusintensitet och/eller våglängd. Detta är dock svårt att veta då deras blåa ljus är mätt i enheten foton medan detta examensarbete mätte i fotoner per våglängd respektive lux. Detta är ett bra exempel på det Lindkvist (2019) påpekade om att forskningen behöver komma överens om en enhet som ska användas.

Det finns som sagt många miljöfaktorer som kan ha påverkat mjölmängden och foderintaget utöver ljusbehandlingen. En ytterligare faktor är att personalen skiftade, det var inte samma person som mjölkade varje gång. Detta kan innebära att olika tekniker och rutiner kring mjölkningen mellan personalen kan ha påverkat mjölknedsläpp och urmjölkning och därmed resultatet. Dock är detta ingen som har kunnat urskiljas i datan.

5.2 Endokrinologi

Felmarginalerna i analyserna för IGF-1 och melatonin var högst för melatonin. Dessa uträknade felmarginaler kan dock vara fel då dessa ELISA kit är utvecklade för människor. Det finns inga referensvärden för nötkreatur för detta kit. I och med

att referensvärdena kan vara olika för människor och nötkreatur så går det inte att helt lita på felmarginalerna i detta examensarbete.

5.2.1 Melatonin

Melatoninhalterna uppmättes i detta examensarbete verkar rimliga trots att felmarginalerna var höga. I en studie av Muthuramalingam *et al.* (2006) mättes melatoninhalten med den andra metoden RIA. Vid jämförelse av halterna verkar resultaten från detta examensarbete inte vara helt orimliga, utan håller sig inom rimliga ramar.

Skillnaderna klockan 16.00, mellan ljusbehandlingarna röd och vit, vit och vit/blå vid baslinjen (Figur 2) skulle kunna bero på individskillnader. Detta beror på att det var få djur med i behandlingsgrupperna där enskilda individer skulle kunna haft en stor betydelse i den lilla gruppen. Dessa variationer kan då ha berott på faktorer som inte togs med i modellen för melatonin, såsom laktations- och dräktighetsstadium. I det vit/blåa ljuset hade sex kor låga melatoninnivåer, vilket drog ner medelvärdet. I en studie av Buchanan *et al.* (1992) sågs det individskillnader i melatoninnivån vilket gjorde att en kviga uteslöts på grund av att hon inte hade någon dygnsrytm av melatonin. Korna med låga melatoninnivåer stod inte bredvid varandra i båsallarna vilket gör att det inte verkar vara miljöskillnader som påverkade melatoninnivån. Det verkar däremot mer troligt, utöver individskillnader, skett en felaktig provtagning eller felaktig hantering av blodproverna eftersom dessa individers blodprover togs efter varandra. Dock fanns det ingen signifikant skillnad mellan ljusbehandlingarna blå, röd och vit/blå vilket skulle kunna tyda på att det snarare var korna i vita ljuset som hade ovanligt höga melatoninnivåer. Eftersom det inte finns något som tydligt sticker ut i mätningarna av melatoninhalten vid baslinjen är det svårt att avgöra vad dessa signifikanta skillnader kan bero på. Det mest optimala i detta examensarbete hade varit om det inte fanns några signifikanta skillnader vid baslinjen eftersom korna ska ha haft samma förutsättningar fram till denna mätning.

Huruvida resultaten efter ljusbehandlingsperioden är trovärdiga är också oklart. Efter ljusbehandlingarna vit och vit/blå sågs ingen signifikant skillnad mellan dessa ljusbehandlingar (Figur 3). Detta kan tyda på att provtagningen och hanteringen vid detta tillfälle gjordes utan felaktigheter och därmed berodde inte de signifikanta skillnaderna vid baslinjen på individskillnader. Däremot fanns det signifikanta skillnader kl. 22.30 mellan blå och vit/blå, röd och vit/blå (Figur 2). Detta skulle kunna tyda på att ett blåare eller rödare ljus under dagen kan ge en högre melatoninnivå senare på kvällen. Dock vore det förväntat att det vit/blåa ljuset också skulle följa denna trend i och med att det innehåller samma blåa ljus från eftermiddagen fram tills nattbelysning. Det vit/blåa ljuset verkar mer likna det vita ljuset vad gäller melatoninnivåer i och med att dessa inte skiljde sig från varandra (Figur 2).

En tydlig dygnsrytm av melatonin fanns hos alla ljusbehandlingar efter behandlingsperioderna (Tabell 11). Enligt Reiter (1980) är det melatonin som sköter dygnsrytmen. Detta tyder på att ljusets våglängd skulle kunna påverka melatoninhalten under dygnet. Denna typ av påverkan på melatonin har även setts i studier som har undersökt hur olika ljusintensiteter kan påverka melatoninhalten under dagen (Lawson & Kennedy, 2001) och natten (Muthuramalingam *et al.*, 2006). Den tydliga dygnsrytmen av melatonin visar även hur viktigt det är att i studier nämna när blodprover för hormoner tas eftersom halten vid olika tidpunkter skiljer sig åt. Dock är det väldigt oklart om skillnaderna i resultaten av melatonin verkligen berodde på de olika ljusbehandlingarna eftersom ljusbehandlingarna i samma period verkar reagera likadant. Detta tyder på att andra faktorer i miljön skulle kunna ha påverkat under ljusbehandlingsperioden.

5.2.2 IGF-1

Enligt Muthuramalingam *et al.* (2006) är melatonin negativt korrelerat med IGF-1. I och med att resultatet visade tendenser på att ljusbehandlingarna verkade ge en tydlig dygnsrytm av melatonin var det förväntat att detta skulle påverka även IGF-1. Men trots att melatonin har förmågan att inhibera IGF-1 sågs det inte tydligt i denna studie. IGF-1 var lägre på natten än dagen som förväntat, men trots att melatonin uppvisade signifikanta skillnader mellan tidpunkterna så fanns det bara en signifikant skillnad mellan olika tidpunkter för IGF-1. Den signifikant lägre IGF-1 nivån hos kor i blått ljus klockan 08.30 jämfört med klockan 22.30 vid LED skulle kunna bero på flera olika faktorer. Exakt vad det beror på är oklart. Kanske hade en längre ljusbehandlingsperiod kunnat visa en tydlig dygnsrytm av IGF-1. Detta hade i sin tur eventuellt kunnat gett signifikanta skillnader i mjölmängden mellan de olika ljusbehandlingarna. Det är just de temporära minskningarna av melatonin vid en längre ljusperiod som verkar bidra till en ökad mjölkproduktion enligt Bal *et al.* (2008) men enligt resultaten från detta examensarbete verkar olika våglängder inte kunna påverka på samma sätt. Detta skulle även kunna bero på ett blått ljus tar längre tid på sig för att påverka IGF-1 jämfört med de andra ljusbehandlingarna. IGF-1 har inhiberats av melatonin under hela natten och inte hunnit öka till kl. 8.30 medan vid kl. 22.30 har inhibitionen av IGF-1 inte hunnit sätta fart vilket gör att det är ett högre värde trots att det är mörkt. Detta syns inte som någon signifikant skillnad hos någon av de andra ljusbehandlingarna. Det finns många olika faktorer i miljön som kan ha påverkat resultaten utöver ljuset, inklusive individskillnader. I en studie av Kendall *et al.* (2003) sågs IGF-1 öka i takt med att kalvarna blev äldre. Hur mycket IGF-1 kan påverkas av åldern hos vuxna nötkreatur är oklart men det skulle kunna vara en betydande faktor vid mätning av IGF-1. Dock borde detta även visat sig vid baslinjen som signifikanta skillnader.

Vad gäller skillnader i IGF-1 mellan olika ljusbehandlingar verkar det finnas en numerisk skillnad mellan framförallt blått och rött ljus, både vid baslinjen och LED (Figur 3). För att säkerställa hur många individer det hade krävts i detta examensarbete för att få en signifikant skillnad användes Power of test. Denna metod visade att för blått respektive rött ljus hade det vid baslinjen behövts 50 individer och vid LED hade behövts 35 individer för att få ett signifikant resultat. I och med att korna var i samma ljusbehandlingsperiod och hade liknande faktorer som påverkade IGF-1 skulle detta kunna vara en individskillnad. Det skulle vara mer troligt att det hade berott på ljusbehandlingen om den numeriska skillnaden enbart hade syns vid LED. För vit och vit/blått ljus sågs det inte någon numerisk skillnad mellan varandra och de andra ljusbehandlingarna vid baslinjen eller vid LED. Kanske hade en längre ljusbehandlingsperiod gett en signifikant skillnad istället för en numerisk då melatonin visade tendenser till att kunna påverkas av de olika ljusbehandlingarna.

En ytterligare faktor som visar tendenser på att kunna påverka IGF-1 är foderstaten och tiden efter foderintag. I en studie av Pedernera *et al.* (2008) sågs en högre halt av IGF-1 hos kor som utfodrades för en hög mjölkproduktion medan Chelikani *et al.* (2004) såg att IGF-1 ökade två timmar efter foderintag. Detta kan innebära att foderstaten och tiden efter foderintag kan ha en större påverkan på IGF-1 än vad olika ljusvåglängder har eftersom detta examensarbete inte såg någon större skillnad i IGF-1. Ljusbehandlingsperioderna i detta examensarbete skiljde sig dessutom inte vad gäller tiden för utfodring eller hade stora skillnader i foderstaterna.

Försöket var inte designat för att jämföra baslinjen med LED men resultaten av IGF-1 ger en antydning på att ljusbehandlingarna generellt skulle kunna öka IGF-1 nivån vid alla tidpunkter. Dock är det oklart om det är självaste ljusbehandlingarna eller något annat i miljön, fler studier om hur våglängder och LED kan påverka IGF-1 verkar kunna vara av intresse.

5.3 Aktivitet

Den signifikanta skillnaden mellan dag och natt i denna studie var förväntad (Tabell 9). Det har länge varit funnits kunskap om att korna ligger ner och vilar mer på natten än dagen (Wierenga & Hopster 1990; Norring 2011; Nielsen 2013). Vid jämförelse av kornas aktivitet med en studie av Nielsen (2013) var ståtiden på dagen ungefär samma, runt 60 %, för båda studierna medan ståtiden på natten var lite längre i studien i detta examensarbete (Tabell 9). I och med att Nielsen (2013) hade korna på bete är resultaten inte helt jämförbara trots att det var kor av samma ras och från samma besättning i båda studierna. Det visar dock att ståtiden mellan de olika ljusbehandlingarna inte påverkade korna i så stor utsträckning. Eftersom det

inte fanns skillnader mellan ljusbehandlingarna eller några större skillnader mot Nielsen (2013) verkar inte olika våglängder vid de ljusintensiteter som användes i studien ha någon större påverkan på aktiviteten hos mjölkorna. Även i Nielsens studie var det högre ljusintensitet eftersom solens ljus är starkare än lampor.

I Phillips och Lomas (2001) studie verkade kalvarna vara mer aktiva i rött ljus jämfört med blått eller grönt ljus. Detta skulle kunna ha berott på ökad stress då Olsson (2014) såg att andningsfrekvensen ökade hos kor som exponerades för ett rött ljus. Dock så exponerades korna i studien av Olsson (2014) för olika ljusintensiteter mellan 0–50 lux vilket är mycket lägre än studien i detta examensarbete och korna skulle dessutom röra sig i en hinderbana. Detta examensarbete kunde inte se någon ökad aktivitet i form av längre ståtid när mjölkorna exponerades för det röda jämfört med det blåa ljuset (Tabell 9). En längre tillvänjningsperiod till det uppbundna stallet innan ljusbehandlingarna påbörjades hade kanske gett ett annat resultat i ståtid mellan ljusbehandlingarna. Mjölkorna i denna studie är vana vid lösdrift och detta kan haft en inverkan på resultatet. Det är viktigt att påpeka att examensarbetets resultat inte utesluter att rött ljus kan öka aktiviteten hos mjölkor eller att den typen av ljus kan vara stressande men det är inget som styrker dessa antaganden. Dock har det inte använts några direkta metoder för att mäta stress i denna studie, såsom andningsfrekvens. I och med att Phillips och Lomas studie dessutom hade mätt ljusets intensitet i enheten foton blir det svårt att veta hur mycket deras olika ljusintensiteter skiljde sig från ljusintensiteterna i detta examensarbete eftersom det mättes i fotoner per våglängd respektive lux.

I studier om olika lång dagsljusperiod har studier sett att aktiviteten kan förändras vid olika tidpunkter på dygnet. Macmillan *et al.* (2018) såg att liggtiden minskade vid det artificiella ljuset i en lång ljusperiod medan den totala liggtiden inte förändrades. Phillips och Schofield (1989) såg också att liggtiden minskade vid det artificiella ljuset i den långa ljusperioden men den totala liggtiden ökade i denna studie. I detta examensarbete fanns det inga signifikanta skillnader i den totala liggtiden för de olika ljusbehandlingarna (Tabell 9). Det verkar därför inte som att ljusets våglängd kan påverka liggtiden. Det finns många andra faktorer som kan ha påverkat resultatet utöver våglängderna. Korna är, som det nämnts tidigare, inte vana vid att vara uppbundna. En längre tillvänjningsperiod eller en längre ljusbehandlingsperiod hade kanske gett ett annat resultat.

I en studie av Hjalmarsson *et al.* (2014) påverkades inte aktiviteten av olika ljusintensiteter. Precis som i den studien kan inte detta examensarbete göra några antaganden om hur olika våglängder skulle kunna påverka aktiviteten hos mjölkor. Det finns många faktorer som påverkar aktiviteten hos mjölkor som exempelvis miljö, skötsel och individuella variationer som hälsostatus, rang, personlighet, dräktighetsstadie och laktationsstadie (Wierenga & Hopster, 1990).

6 Slutsats

I denna studie hittades inga tydliga skillnader mellan ljusbehandlingarna blå, röd, vit och vit/blå. Däremot verkar alla ljusbehandlingar ge en tydlig dygnsrytm av melatonin. Många faktorer i miljön kan ha påverkat resultatet och det är därmed svårt att avgöra vad som beror på ljuset. Det finns än idag stora brister i kunskapen om nötkreaturs ögon och vilka våglängder de kan uppfatta. I och med att det inte fanns några större skillnader mellan ljusbehandlingarna är det svårt att veta vad som kan vara att föredra för nötkreatur. Ytterligare forskning behövs för att ta reda på vilka våglängder nötkreaturs ögon kan uppfatta och hur de skulle kunna påverkas av dessa.

Referenslista

- Akers, R.M. (1985). Lactogenic Hormones: Binding Sites, Mammary Growth, Secretory Cell Differentiation, and Milk Biosynthesis in Ruminants. *Journal of Dairy Science*, vol. 68 (2), ss. 501–519
- Asher, A., Shabtay, A., Brosh, A., Eitam, H., Agmon, R., Cohen-Zinder, M., Zubidat, A.E. & Haim, A. (2015). “Chrono-functional milk”: The difference between melatonin concentrations in night-milk versus day-milk under different night illumination conditions. *Chronobiology International*, vol. 32 (10), ss. 1409–1416
- Auchtung, T.L. & Dahl, G.E. (2004). Prolactin Mediates Photoperiodic Immune Enhancement: Effects of Administration of Exogenous Prolactin on Circulating Concentrations, Receptor Expression, and Immune Function in Steers¹. *Biology of Reproduction*, vol. 71 (6), ss. 1913–1918
- Auchtung, T.L., Salak-Johnson, J.L., Morin, D.E., Mallard, C.C. & Dahl, G.E. (2004). Effects of Photoperiod During the Dry Period on Cellular Immune Function of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 87 (11), ss. 3683–3689
- Bachman, K.C., Hayen, M.J., Morse, D. & Wilcox, C.J. (1988). Effect of Pregnancy, Milk Yield, and Somatic Cell Count on Bovine Milk Fat Hydrolysis. *Journal of Dairy Science*, vol. 71 (4), ss. 925–931
- 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*, vol. 88 (4), ss. 609–612
- Bauman, D.E. & Vernon, R.G. (1993). Effects of Exogenous Bovine Somatotropin on Lactation. *Annual review nutrition*, s. 25
- Bilodeau, P.P., Petitclerc, D., St. Pierre, N., Pelletier, G. & St. Laurent, G.J. (1989). Effects of Photoperiod and Pair-Feeding on Lactation of Cows Fed Corn or Barley Grain in Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science*, vol. 72 (11), ss. 2999–3005
- Bochenek, G.M. & Fällström, I. (2015). How green is white light? A comparison of basil growth under green or white enriched LED light regimes. *Acta Horticulturae*, (1107), ss. 311–316
- Buchanan, B.A., Chapin, L.T. & Tucker, H.A. (1992). Prolonged suppression of serum concentrations of melatonin in prepubertal heifers. *Journal of Pineal Research*, vol. 12 (4)
- Capuco, A.V., Ellis, S.E., Hale, S.A., Long, E., Erdman, R.A., Zhao, X. & Paape, M.J. (2003). Lactation persistency: Insights from mammary cell proliferation studies. *Journal of Animal Science*, vol. 81 (15_suppl_3), ss. 18–31
- Capuco, A.V., Wood, D.L., Baldwin, R., Mcleod, K. & Paape, M.J. (2001). Mammary Cell Number, Proliferation, and Apoptosis During a Bovine Lactation: Relation to Milk Production and Effect of bST. *Journal of Dairy Science*, vol. 84 (10), ss. 2177–2187

- Chagin, A., Lindberg, M., Andersson, N., Moverare, S., Gustafsson, J.-Å., Sävendahl, L. & Ohlsson, C. (2003). Estrogen Receptor- β Inhibits Skeletal Growth and Has the Capacity to Mediate Growth Plate Fusion in Female Mice. *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 19 (1), ss. 72–77
- Chelikani, P.K., Ambrose, J.D., Keisler, D.H. & Kennelly, J.J. (2004). Effect of short-term fasting on plasma concentrations of leptin and other hormones and metabolites in dairy cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, vol. 26 (1), ss. 33–48
- Clarke, S., Eng, P., House, H. & Eng, P. (2006). ENERGY EFFICIENT DAIRY LIGHTING. *Food and rural affairs*, (Fact Sheet 06-007), s. 8
- Collier, R.J., Hernandez, L.L. & Horseman, N.D. (2012). Serotonin as a homeostatic regulator of lactation. *Domestic Animal Endocrinology*, vol. 43 (2), ss. 161–170
- Cooper, M.D., Arney, D.R. & Phillips, C.J.C. (2008). The effect of temporary deprivation of lying and feeding on the behaviour and production of lactating dairy cows. *animal*, vol. 2 (2), ss. 275–283
- Dahl, G.E. (2006). Effect of Photoperiod on Feed Intake and Animal Performance. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, s. 4
- Dahl, G.E., Buchanan, B.A. & Tucker, H.A. (2000). Photoperiodic Effects on Dairy Cattle: A Review. *Journal of Dairy Science*, vol. 83 (4), ss. 885–893
- Dahl, G.E., Chapin, L.T., Allen, M.S., Moseley, W.M. & Tucker, H.A. (1991). Comparison of Somatotropin and Growth Hormone-Releasing Factor on Milk Yield, Serum Hormones, and Energy Status. *Journal of Dairy Science*, (74), ss. 3421–3428
- Dahl, G.E., Elsasser, T.H., Capuco, A.V., Erdman, R.A. & Peters, R.R. (1997). Effects of a Long Daily Photoperiod on Milk Yield and Circulating Concentrations of Insulin-Like Growth Factor-I. *Journal of Dairy Science*, vol. 80 (11), ss. 2784–2789
- Dahl, G.E. & Petitclerc, D. (2003). Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science*, vol. 81 (15_suppl_3), ss. 11–17
- Dahl, G.E., Tao, S. & Thompson, I.M. (2012). LACTATION BIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of photoperiod on mammary gland development and lactation1. *Journal of Animal Science*, vol. 90 (3), ss. 755–760
- DeLaval (2019). DeLaval stallplatsenhet MU480 [Instruktion]
- Dowell, S.F. (2001). Seasonal Variation in Host Susceptibility and Cycles of Certain Infectious Diseases. *Emerging Infectious Diseases*, vol. 7 (3), s. 6
- Doxsee, D.D., Setlur, A.A., Brown, Z.R., Srivastava, A. & Comanzo, H., *White light LED device*. US 6,936,857 B2. 2005-08-30.
- Dyce, K.M., Sack, W.O. & Wensing, C.J.G. (2010). *Textbook of veterinary anatomy*. 4. ed. St.Louis, MO : Saunders Elsevier.
- Ekstig, B. & Boström, L. (2003). *Quanta. Fysik A*. 1. uppl. Stockholm: Natur och kultur.
- Engstrand, U. & Olsson, U. (2003). *Variansanalys och försöksplanering*. Lund : Studentlitteratur.
- Evans, N.M. & Hacker, R.R. (1989). Effect of Chronobiological Manipulation of Lactation in the Dairy Cow. *Journal of Dairy Science*, vol. 72 (11), ss. 2921–2927
- Erneborg, S., Ternman, E., Salama, A.A.K. & Agenäs, S. (2013). The effects of continuous light on milk yield, milk composition. *ADSA ASAS Joint Annual Meeting*, s. 152
- Fisher, A.D., Verkerk, G.A., Morrow, C.J. & Matthews, L.R. (2002). The effects of feed restriction and lying deprivation on pituitary–adrenal axis regulation in lactating cows. *Livestock Production Science*, vol. 73 (2–3), ss. 255–263
- Fraser, S., Cowen, P., Franklin, M., Francey, C. & Arendt, J. (1983). Direct Radioimmunoassay for Melatonin in Plasma. *Clinical Chemistry*, (29), ss. 396–397

- Gavan, C. & Motorga, V. (2009). The effect of supplemental light on milk production in Holstein dairy cows. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, vol. 42 (2), ss. 261–265
- Gilbert, B.J. & Arave, C.W. (1986). Ability of Cattle to Distinguish Among Different Wavelengths of Light. *Journal of Dairy Science*, vol. 69 (3), ss. 825–832
- Hansen, P.J., Kamwanja, L.A. & Hauser, E.R. (1983). Photoperiod Influences Age at Puberty of Heifers1. *Journal of Animal Science*, vol. 57 (4), ss. 985–992
- Hedlund, L., Lischko, M., Rollag, M. & Niswender, G. (1977). Melatonin: daily cycle in plasma and cerebrospinal fluid of calves. *Science*, vol. 195 (4279), ss. 686–687
- Heinrichs, A.J. & Hargrove, G.L. (1987). Standards of Weight and Height for Holstein Heifers. *Journal of Dairy Science*, vol. 70 (3), ss. 653–660
- Hermanussen, M., Geiger-Benoit, K. & Burmeister, J. (1989). Differential effects of oestrogen treatment on the proportionality of growth in tall girls. *European Journal of Pediatrics*, vol. 149 (1), ss. 14–17
- Hernandez, L.L., Stiening, C.M., Wheelock, J.B., Baumgard, L.H., Parkhurst, A.M. & Collier, R.J. (2008). Evaluation of Serotonin as a Feedback Inhibitor of Lactation in the Bovine. *Journal of Dairy Science*, vol. 91 (5), ss. 1834–1844
- Hjalmarsson, F. (2014). The effect of a lowered light intensity at night on cow traffic and milk yield in automatic milking systems. *Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.*, ss. 30 Examensarbete / SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, 464
- Hjalmarsson, F., Olsson, I., Ferneborg, S., Agenäs, S. & Ternman, E. (2014). Effect of low light intensity at night on cow traffic in automatic milking systems. *Animal Production Science*, vol. 54 (10), s. 1784
- Hörndahl, T. (2007). *Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader - en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktningar*. (145). Alnarp.
- IBL International, Hamburg, Tyskland Melatonin ELISA
- Ito, K., Zobel, G. & Chapinal, N. (2013). SOP – HOBO Data Loggers. [2019-05-06]
- Jacobs, G.H., Deegan, J.F. & Neitz, J. (1998). Photopigment basis for dichromatic color vision in cows, goats, and sheep. *Visual Neuroscience*, vol. 15 (03). DOI: <https://doi.org/10.1017/S0952523898153154>
- Jamieson, M. (u.å.). *Energieffektiva djurstallar - En handbok*
- Jensen, M.B., Pedersen, L.J. & Munksgaard, L. (2005). The effect of reward duration on demand functions for rest in dairy heifers and lying requirements as measured by demand functions. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 90 (3–4), ss. 207–217
- Kendall, P.E., Auchtung, T.L., Swanson, K.S., Radcliff, R.P., Lucy, M.C., Drackley, J.K. & Dahl, G.E. (2003). Effect of photoperiod on hepatic growth hormone receptor 1A expression in steer calves1. *Journal of Animal Science*, vol. 81 (6), ss. 1440–1446
- Kniffen, D.M., Wagner, W.R. & Lewis, P.E. (1999). Effects of long-term estrogen implants in beef heifers. *Journal of Animal Science*, vol. 77 (11), s. 2886
- Knight, C.H. (2001). Lactation and gestation in dairy cows: flexibility avoids nutritional extremes. *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 60 (4), ss. 527–537
- Knight, C.H., Peaker, M. & Wilde, C.J. (1998). Local control of mammary development and function. *Reviews of Reproduction*, (3), ss. 104–112
- Knight, C.H. & Wilde, C.J. (1993). Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livestock Production Science*, vol. 35 (1–2), ss. 3–19
- Kremers, J. (2016). *Human color vision*. New York, NY: Springer Science+Business Media.
- Lacasse, P., Vinet, C.M. & Petitclerc, D. (2014). Effect of prepartum photoperiod and melatonin feeding on milk production and prolactin concentration in dairy heifers and cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 97 (6), ss. 3589–3598

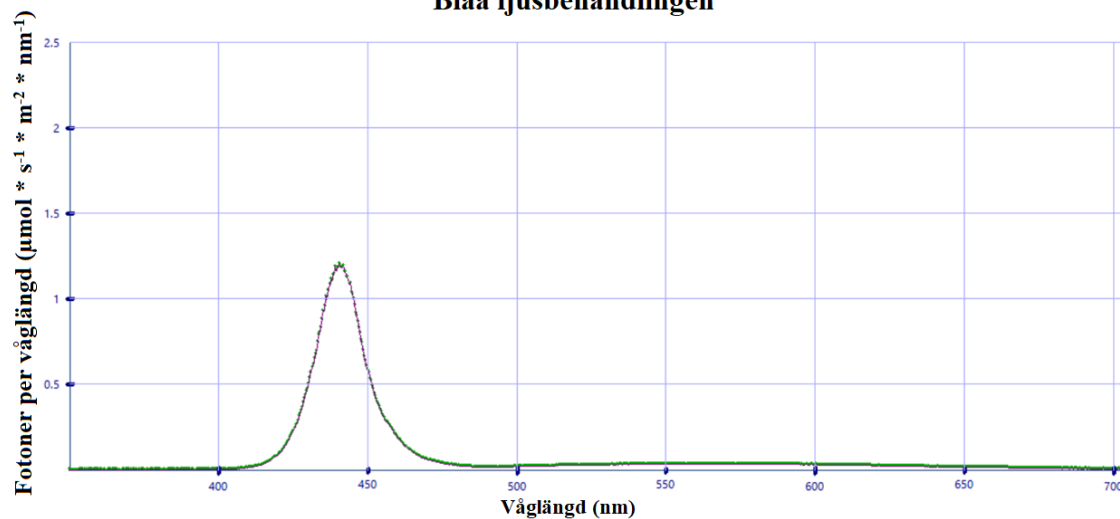
- Lamote, I., Meyer, E., Massart-Leën, A.M. & Burvenich, C. (2004). Sex steroids and growth factors in the regulation of mammary gland proliferation, differentiation, and involution. *Steroids*, vol. 69 (3), ss. 145–159
- Lawson, T.J. & Kennedy, A.D. (2001). Inhibition of nighttime melatonin secretion in cattle: threshold light intensity for dairy heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 81 (1), ss. 153–156
- Lequin, R.M. (2005). Enzyme Immunoassay (EIA)/Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). *Clinical Chemistry*, vol. 51 (12), ss. 2415–2418
- Lindkvist, S. (2019). Light for dairy cows – Methods to measure light in dairy barns. s. 63
- Linzell, J.L. & Peaker, M. (1971). The effects of oxytocin and milk removal on milk secretion in the goat. *The Journal of Physiology*, vol. 216 (3), ss. 717–734
- McCluney, R. (2014). *Introduction to radiometry and photometry*. Second edition. Boston: Artech House.
- Mediagnost, Reutlingen, Tyskland IGF-1 ELISA
- Meyer, M.J., Capuco, A.V., Ross, D.A., Hummel, A. & Amburgh, M.E.V. (2004a). PREPUBERTAL MAMMARY DEVELOPMENT IN THE BOVINE: INFLUENCE OF NUTRITION AND AGE AT PUBERTY. s. 20
- Meyer, M.J., Capuco, A.V. & Van Amburgh, E. (2004b). Effects of energy intake and time to puberty on mammary growth of prepubertal Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, vol. 87 (1), s. 47
- Miller, A.R.E., Erdman, R.A., Douglass, L.W. & Dahl, G.E. (2000). Effects of Photoperiodic Manipulation During the Dry Period of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 83 (5), ss. 962–967
- Miller, A.R.E., Stanisiewski, E.P., Erdman, R.A., Douglass, L.W. & Dahl, G.E. (1999). Effects of Long Daily Photoperiod and Bovine Somatotropin (Trobect®) on Milk Yield in Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 82 (8), ss. 1716–1722
- Moallem, U., Dahl, G.E., Duffey, E.K., Capuco, A.V. & Erdman, R.A. (2004a). Bovine Somatotropin and Rumen-Undegradable Protein Effects on Skeletal Growth in Prepubertal Dairy Heifers. *Journal of Dairy Science*, vol. 87 (11), ss. 3881–3888
- Moallem, U., Dahl, G.E., Duffey, E.K., Capuco, A.V., Wood, D.L., McLeod, K.R., Baldwin, R.L. & Erdman, R.A. (2004b). Bovine Somatotropin and Rumen-Undegradable Protein Effects in Prepubertal Dairy Heifers: Effects on Body Composition and Organ and Tissue Weights. *Journal of Dairy Science*, vol. 87 (11), ss. 3869–3880
- Munksgaard, L., Jensen, M.B., Pedersen, L.J., Hansen, S.W. & Matthews, L. (2005). Quantifying behavioural priorities—effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 92 (1–2), ss. 3–14
- 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*, vol. 40 (3), ss. 225–229
- Neuman, L. (2009). Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008 Rapport. s. 36
- Neville, M.C. (2006). Lactation and Its Hormonal Control - Chapter 57. *Knobil and Neill's Physiology of Reproduction*, (3), ss. 2993–3054
- Nielsen, P.P. (2013). Automatic registration of grazing behaviour in dairy cows using 3D activity loggers. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 148 (3–4), ss. 179–184
- Nilsson, D.E. & Smolka, J. (2019). Image-based quantification of environmental light (in preparation).
- Norring, M. (2011). The effects of stall surfaces and milk yield on the lying behavior of dairy cow. s. 42

- Nørgaard, J.V., Sørensen, M.T., Theil, P.K., Sehested, J. & Sejrsen, K. (2008). Effect of pregnancy and feeding level on cell turnover and expression of related genes in the mammary tissue of lactating dairy cows. *animal*, vol. 2 (4), ss. 588–594
- Olsson, P. (2014). The effect of low light intensities and red light on heart rate, blood pressure, respiratory rate and activity in dairy cows. *Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.*, ss. 38 Examensarbete / SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, 470
- Pedernera, M., García, S.C., Horagadoga, A., Barchia, I. & Fulkerson, W.J. (2008). Energy Balance and Reproduction on Dairy Cows Fed to Achieve Low or High Milk Production on a Pasture-Based System. *Journal of Dairy Science*, vol. 91 (10), ss. 3896–3907
- 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*, vol. 64 (8), ss. 1671–1678
- Peters, R.R. & Tucker, H.A. (1978). Prolactin and Growth Hormone Responses to Photoperiod in Heifers. *Endocrinology*, (103), ss. 229–234
- 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*, vol. 57 (4), ss. 892–898
- Phillips, C.J.C., Morris, I.D., Lomas, C.A. & Lockwood, S.J. (2000). The Locomotion of Dairy Cows in Passageways with Different Light Intensities. *Animal Welfare*, s. 11
- Phillips, C.J.C. & Schofield, S.A. (1989). The effect of supplementary light on the production and behaviour of dairy cows. *Animal Science*, (48), ss. 293–303
- Reiter, R.J. (1980). The pineal and its hormones in the control of reproduction in mammals. *Endocrine Reviews*, (1), ss. 109–131
- 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*, vol. 88 (12), ss. 4356–4365
- Rius, A.G. & Dahl, G.E. (2006). Short communication: Exposure to long day photoperiod prepubertally increases milk yield in primiparous heifers. *Journal of Dairy Science*, (89), ss. 2080–2083
- Sjaastad, Ø.V., Sand, O. & Hove, K. (2010). *Physiology of Domestic Animals*. 2. uppl. Oslo: Scandinavian Veterinary Press.
- Sjaunja, L.-O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J. & Setälä, J. (1990). A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. *26th session of the international Committee for Recording the Productivity of Milk Animals (ICPRMA)*,
- SJVFS 2019:18 Statens Jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om nötkreaturshållning inom lantbruket m.m. (Saknr L 104), s. 22
- Spicer, L.J., Buchanan, B.A., Chapin, L.T. & Tucker, H.A. (2007). Effect of Exposure to Various Durations of Light on Serum Insulin-Like Growth Factor-I in Prepubertal Holstein Heifers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, vol. 2 (2), ss. 42–45
- 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*, vol. 66 (3), s. 727
- Sternlicht, M.D. (2005). Key stages in mammary gland development: The cues that regulate ductal branching morphogenesis. *Breast Cancer Research*, vol. 8 (1). DOI: <https://doi.org/10.1186/bcr1368>
- Ternman, E. (2014). Sleep in Dairy Cows. *Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.*, s. 52
- Wall, E.H., Auchtung, T.L., Dahl, G.E., Ellis, S.E. & McFadden, T.B. (2005). Exposure to Short Day Photoperiod During the Dry Period Enhances Mammary Growth in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 88 (6), ss. 1994–2003

- Wierenga, H.K. & Hopster, H. (1990). The significance of cubicles for the behaviour of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 26 (4), ss. 309–337
- Yakar, S., Rosen, C.J., Beamer, W.G., Ackert-Bicknell, C.L., Wu, Y., Liu, J.-L., Ooi, G.T., Setser, J., Frystyk, J., Boisclair, Y.R. & LeRoith, D. (2002). Circulating levels of IGF-1 directly regulate bone growth and density. *The Journal of Clinical Investigation*, vol. 110 (6), s. 12

Bilaga 1 - Ljusbehandlingar

Blåa ljusbehandlingen



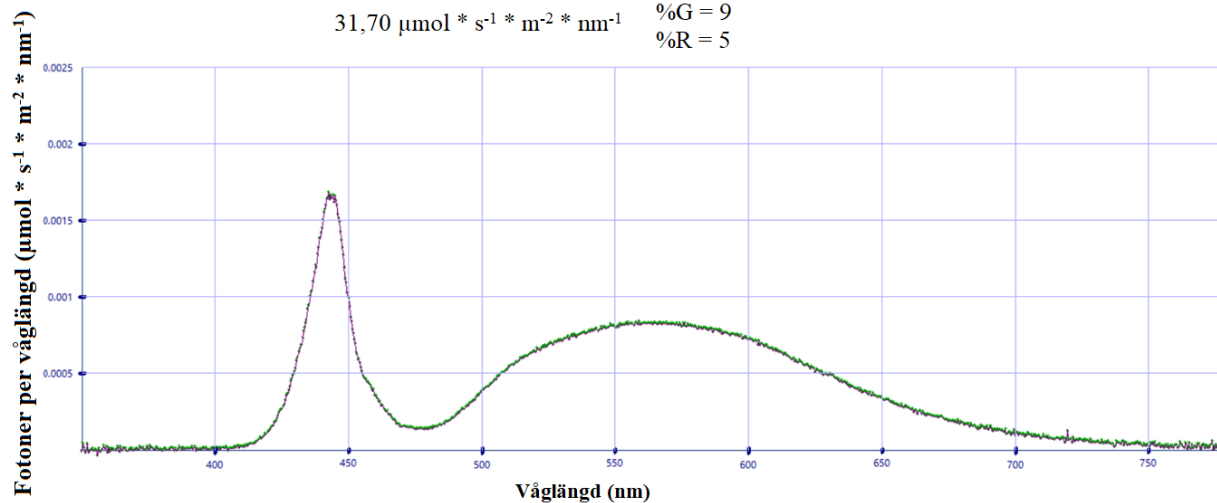
Kl. 05.00-21.00

%B = 84

$31,70 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

%G = 9

%R = 5



Kl. 21.00-05.00

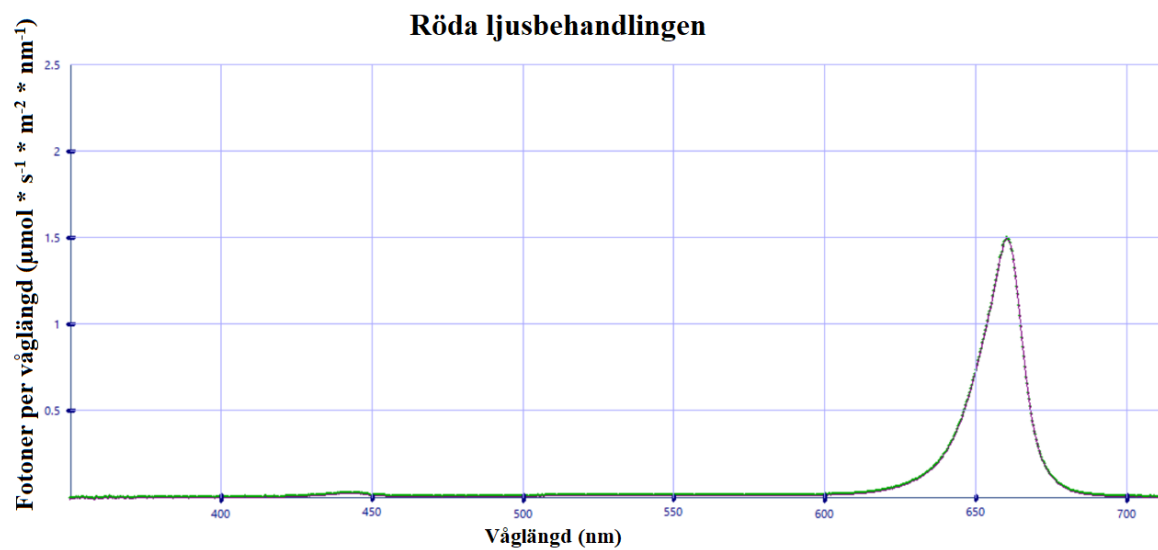
%B = 27

$0,16 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

%G = 46

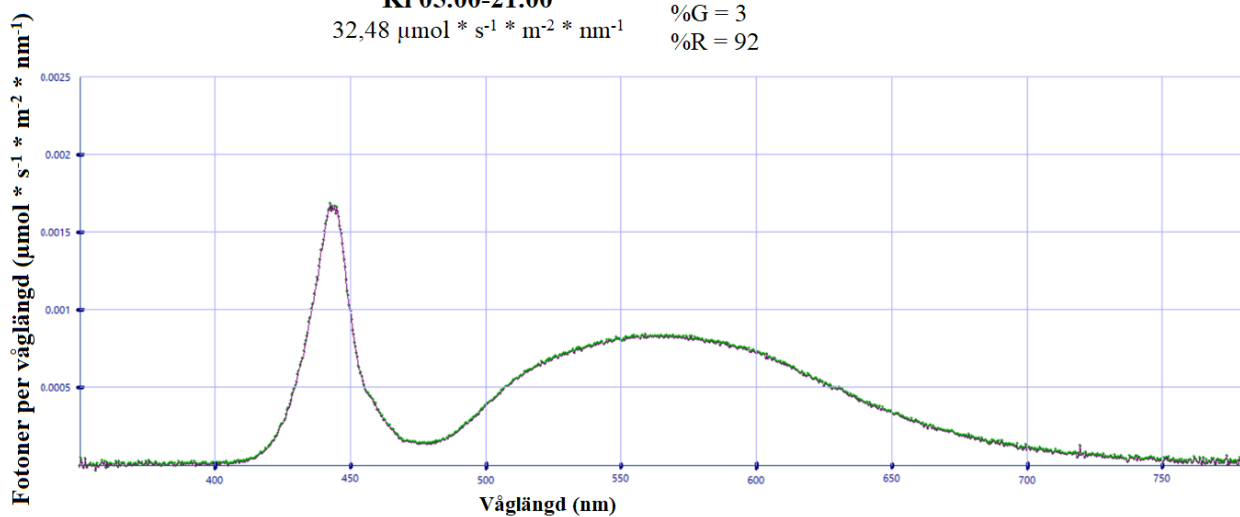
%R = 23

Figur 4. Ljusmiljö uppmätt med spektrofotometer för blått ljus. Y-axeln har olika skalor i figuren, den övre har högre ljusintensitet än den undre. Diagrammen visar fördelningen av fotoner vid olika våglängder. Totala antalet fotoner per våglängd anges under klockslaget. Andelen av blått, grönt och rött ljus anges i %



Kl 05.00-21.00
 $32,48 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

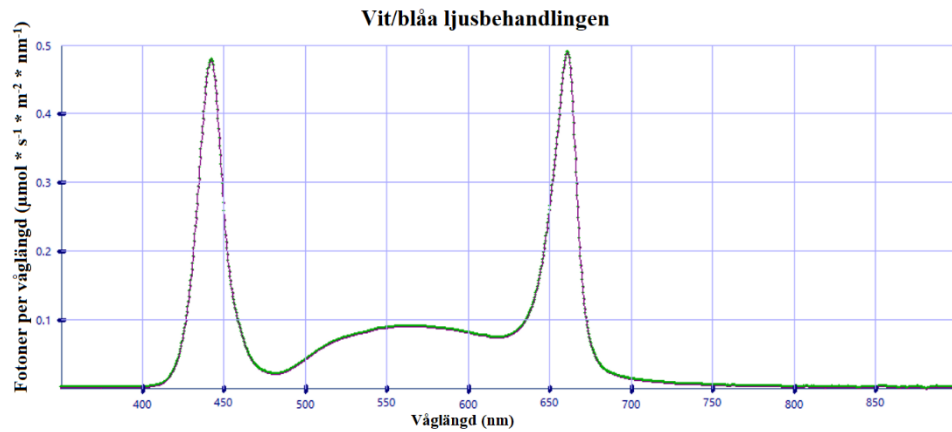
%B = 2
 %G = 3
 %R = 92



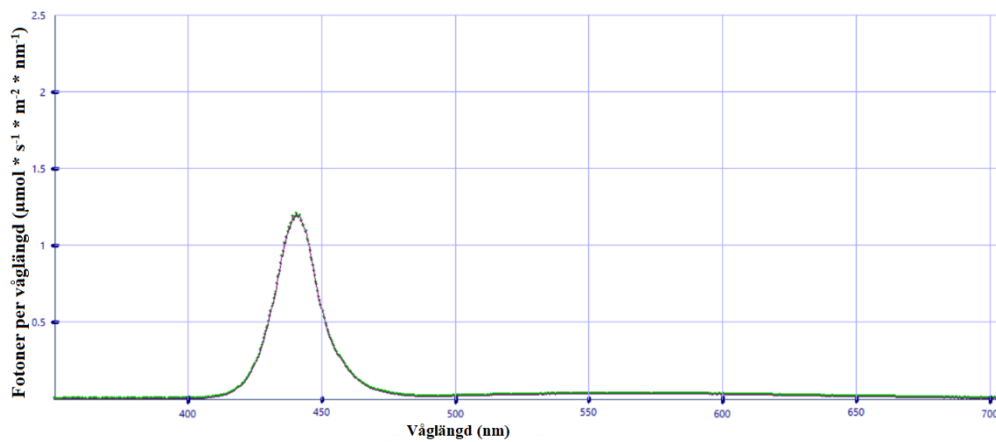
Kl. 21.00-05.00
 $0,16 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

%B = 27
 %G = 46
 %R = 23

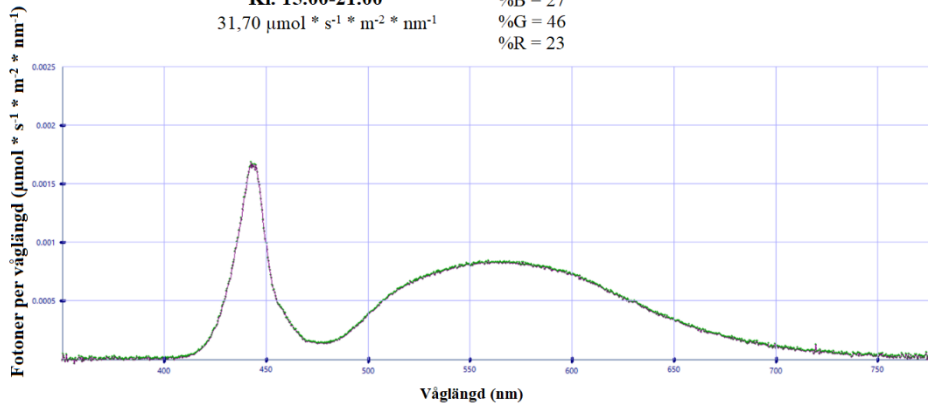
Figur 5. Ljusmiljö uppmätt med spektrofotometer för rött ljus. Y-axeln har olika skalor i figuren, den övre har högre ljusintensitet än den undre. Diagrammen visar fördelningen av fotoner vid olika våglängder. Totala antalet fotoner per våglängd anges under klockslaget. Andelen av blått, grönt och rött ljus anges i %



Kl. 05.00-15.00 %B = 33
 33,03 $\mu\text{mol} * \text{s}^{-1} * \text{m}^{-2} * \text{nm}^{-1}$ %G = 24
 %R = 41



Kl. 15.00-21.00 %B = 27
 31,70 $\mu\text{mol} * \text{s}^{-1} * \text{m}^{-2} * \text{nm}^{-1}$ %G = 46
 %R = 23



Kl. 21.00-05.00 %B = 27
 0,16 $\mu\text{mol} * \text{s}^{-1} * \text{m}^{-2} * \text{nm}^{-1}$ %G = 46
 %R = 23

Figur 7. Ljusmiljö uppmätt med spektrofotometer för vitt och blått ljus. Y-axeln har olika skalor i figuren, den övre har högre ljusintensitet än den undre. Diagrammen visar fördelningen av fotoner vid olika våglängder. Totala antalet fotoner per våglängd anges under klockslaget. Andelen av blått, grönt och rött ljus anges i %

Populärvetenskaplig sammanfattning

Ljuset i ladugårdar för kor spelar en viktig roll, både vad gäller kornas välfärd och produktion. Hur ljusperiodens längd kan påverka mjölkkor är välstuderat men det finns däremot få studier som har undersökt olika typer av ljuskälla, våglängder och ljusintensiteter som kan rekommenderas. Det är därför viktigt att undersöka hur olika våglängder på ljuset skulle kunna påverka mjölkorns prestation, välbefinnande och hälsa.

Genom vetenskapliga studier har det visat sig att ljuset kan påverka kornas mjölkproduktion, könsmognad, foderintag, tillväxt och immunsystem. Dock finns inte så mycket kunskap om hur kornas ögon uppfattar ljuset. Det finns ett lagkrav på att djuren ska ha tillgång till dagsljus och belysning dagtid samt dämpad belysning under natten men det finns inga fastställda minimumkrav på ljusintensiteten. Det saknas även studier på hur olika våglängder skulle kunna påverka korna. Med LED belysning får man inte bara en lång brinntid och en mer energisnål belysning utan även en möjlighet att kunna anpassa ljusets våglängd och intensitet utifrån djurslag. Det krävs dock studier på hur olika våglängder kan påverka mjölkkor för att kunna göra ett ljusprogram med särskilt anpassade våglängdsblandningar. Därför vore det intressant att undersöka hur olika våglängder på ljuset skulle kunna påverka våra kor.

För att kunna ta reda på hur mjölkkor kan påverkas av olika typer av våglängder genomfördes en studie under perioden januari – maj 2019. 40 dräktiga kor av rasen svensk röd och vit boskap fördelades på fyra olika ljusbehandlingar, tio kor i varje grupp. Ljusbehandlingarna bestod av ett blått, rött, vitt respektive vitt ljus som följdes av ett blått ljus innan nattbelysning. Dagsljuset var tänt i 16 timmar och på natten användes en svag vit belysning till alla kor. Före och efter ljusbehandlingarna gjordes provtagningar och analyser på mjölmängd, foderintag, aktivitet och hormonerna melatonin och IGF-1. Melatonin är ett hormon som påverkar den biologiska dygnsrytmen och dess nivå i blodet stiger vid mörker och minskar vid exponering av ljus. Detta hormon har visat sig kunna minska nivån av IGF-1 vilket gör att IGF-1 är högre på dagen då melatoninnivån i blodet är lägre. IGF-1 är ett hormon som har tillväxtfrämjande effekter på nästan alla celler i kroppen och tros vara det hormon som kan öka kornas mjölkproduktion vid exponering av ljus.

Resultaten från denna studie visade inte några tydliga skillnader mellan de fyra olika ljusbehandlingarna. Däremot verkade alla ljusbehandlingar ge en tydlig dygnsrytm av melatonin. Det är svårt att dra konkreta slutsatser från resultaten i studien eftersom det är många faktorer i miljön som kan ha påverkat korna. Ytterligare forskning behövs för att ta reda på vilka våglängder nötkreaturs ögon kan uppfatta och hur de kan påverkas av dessa.