



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Vem släcker stjärnorna?

- En sammanställning över det artificiella ljusets påverkan i den urbana kontexten från en landskapsarkitekts perspektiv.

Kajsa Andén

Vem släcker stjärnorna? - En sammanställning över det artificiella ljusets påverkan i den urbana kontexten från en landskapsarkitekts perspektiv.

Turning the starry-night off - The artificial light at night impact on the urban context

Kajsa Andén

Handledare: Kristin Wegren, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Anders Westin, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatexamensarbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0649

Ämne: Landskapsarkitektur

Program: Landskapsarkitektprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

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

Nyckelord: ljusförorening, artificiellt ljus, sky glow, hållbar belysning, mörker, urban planering, belysnings strategier, ekosystemtjänster, biologiska system

Innehållsförteckning

Sammandrag	2
Abstract	2
Bakgrund	3
Syfte	5
Mål	5
Frågeställning	5
Material och metod	6
Avgränsningar	8
Uppsatsens disposition	9
Förklaring av begrepp	10
2. Ljus	12
2.1 Vad är ljus?	12
2.2 Ljusets funktion	13
2.3 Dagens ljuskällor	13
2.4 Att jämföra olika ljuskällor	14
3. Ljusföroreningar	17
4. Ljusets påverkan på biologiska system	19
4.1 Ljus & människan	19
4.2.1 Ljus & djur	20
4.2.2 Ljus & ekosystemtjänster pollinering	21
4.3 Ljus & växter	23
5. Planera och arbeta med ljus som landskapsarkitekt	26
5.1 Den offentliga belysningen idag och tidigare motiv till förändring	27
5.2 Tekniska verktyg i design av ljus	28
5.3 Hållbarhet och belysning	29
5.4 Att upprätta belysningsplaner	30
5.5 Arbeta mot minskad ljusförorening & argumentera för mörker	31
6. Diskussion	33
Avslutning	36
Vidare forskning	37
Källförteckning	38

Sammandrag

Ljutföroeningar innebär det artificiella ljusets negativa påverkan på miljön. Denna påverkan uppmärksammas allt mer i dagens samhälle där belysningen av staden tenderar att bli allt aggressivare mot det naturliga mörkret.

Det artificiella ljuset påverkar människor och djurens biologiska system. Den upplysta natten möjliggör att vi människor kan vara aktiva en längre tid på dagen, men det artificiella ljuset kan även kopplas till flera av de folkhälsoproblem som finns idag. Även övriga organismer påverkas av en allt ljusare natt. Däribland de natt-aktiva insekterna vars nyckelfunktion som pollinatörer riskerar att gå förlorad om vi inte börjar arbeta mot trenden att jordens artificiellt upplysta yta ökar.

Ljusets påverkan bestäms av ljusets spektra, intensitet och riktning genom att dessa delar påverkar olika organismer på olika sätt är det ett komplext arbete att ljussätta staden. Det mest effektiva sättet för att minska ljutföroeningar är genom att släcka ljuset, vilket står i konflikt med sociala värden som upplevd trygghet. Genom att arbeta med belysningsstrategier och ha kunskap i ljusets påverkan kan landskapsarkitekter argumentera för en mer hållbar belysning. Där sociala, ekologiska och ekonomiska värderingar tas in i beräkningen och där den moderna teknologins framsteg utnyttjas på bästa sätt.

Abstract

Light pollution is the negative impact of artificial light on the environment. This impact is a relatively new concern in today's society, where new lighting regimes are turning more aggressive towards the natural nightscape.

Artificial light affects the biological systems of humans and animals. The illuminated night allows us to be active for a longer period of time but can also be linked to several health problems of today. Other organisms are affected by a brighter night for example the nocturnal insects whose key-function as pollinators is likely to be lost if we don't take action against the trend of increasing the artificial lit areas of the world.

The impact of light is determined by the spectrum, intensity and direction of light. These factors affect different organisms in different ways. The most efficient way to reduce light pollution is to turn the light off, which conflicts with social variables as the feeling of being safe. By working with lighting strategies and modern technology, landscape architects can be more equipped to argue for sustainable lighting, where social, ecological and economic values are taken into account and where the advances of modern technology is best used.

Bakgrund

Att ljuset har ett mycket stort inflytande på allt liv på jorden veta vi ju alla.

(Ur Allers Familj-Journal 1930, s. 19)

Det naturliga ljuset är nödvändigt för människor, djur och växters överlevnad. Det artificiella ljuset i sin tur är en förutsättning för att vi ska kunna röra oss i staden under den mörkare delen av dygnet och har blivit något vi tar för givet i vår urbana livsstil. Nästan lika självklart som att solen lyser på dagen förväntar vi oss att gatlamporna ska lysa på kvällen. Samtidigt har det artificiella ljusets negativa effekter blivit allt mer diskuterat och uppmärksammat i media under begreppet *Light Pollution* eller som det heter på svenska *Ljuskontamination* (Ganguly 2017; Gill 2017). Inledande i arbetet med denna uppsats var just en nyfikenhet över vad det dramatiska begreppet *Light Pollution* innebar.

Som landskapsarkitekt påverkar du konkret hur miljön runt omkring oss ser ut och fungerar. Du har en viktig roll i byggandet av framtidens samhälle, i staden eller på landet, kultur- eller naturmiljöer, och för olika uppdragsgivare.

(SLU 2018)

Som landskapsarkitekt är det viktigt att ha kunskap i hur olika ljus och ljusanordningar påverkar människan och ekosystemen i staden och vad vi i vår yrkesroll måste överväga när vi belyser stadsrummet. Detta för att skapa förutsättningar för att de funktioner vi planerar och gestaltar ska fungera. Ekosystem bygger på växelverkan, när en del av systemet rubbas påverkas nästa steg och alla efter det. Detta arbete utgår från människor, djur och växters direkta påverkan av ljus. I arbetet med artificiellt ljus är det viktigt att förstå vad ljus är och hur det fungerar samt vilka konsekvenser och effekter belysning kan innebära för samhället. Därför blir det även allt viktigare att förstå hur vi i planeringssyfte kan förhålla oss mer hållbart till det artificiella ljuset och även ha kunskap i hur teknologin kan användas på bästa sätt.

Ljuskontamination är ett relativt nytt ämne för forskning och det finns flera kunskapsluckor i ämnet. Konsekvenserna av ljuskontamination förutspås ha allvarlig påverkan på ekosystem och på människors hälsa globalt inom den närmsta framtiden. Därför är det viktigt att utveckla kunskap om dess konsekvenser och möjliga åtgärder (Hölker, Wolter, Perkin, & Tockner 2010). För landskapsarkitekter som är en av de verksamma aktörerna i att belysa och gestalta urbana sammanhang är det viktigt att förstå hur det artificiella ljuset påverkar

den urbana kontexten. Ännu har detta forskningsområde inte brutit mark inom landskapsarkitektur, likväl som det generellt anses vara brist på forskning inom ämnet.

Denna uppsats ämnar undersöka vilka konsekvenser artificiellt ljus innebär för stadens organismer och hur vi kan använda dagens verktyg och teknologi för att skapa ett hållbart ljuslandskap under natten.

For light, it's just a case of directing it where we need it and not wasting it where we don't.

(Professor Kevin Gaston ur intervju med Victoria Gill 2017)

Är det så enkelt?

Syfte

Uppsatsens syfte är att belysa effekterna av artificiellt ljus i den offentliga miljön med fokus på människan, djur och växter och vad så kallade ljusföroreningar kan innebära för samhället i framtiden. Uppsatsen ämnar även att åskådliggöra de faktorer som är viktiga för att arbeta hållbart med belysning i planering av staden och konkretisera vilka praktiska verktyg som finns idag för att belysa hållbart. Detta för att öka förståelsen kring artificiellt ljus möjligheter och hot i dagens och morgondagens urbana kontext.

Mål

Målet är att sammanställa en tvärvetenskaplig överblick över de faktorer som landskapsarkitekter, men också ljusdesigners och urbana planerare påverkar när staden belyses under natten, men även ge exempel för hur vi medvetet och hållbart kan använda oss av artificiellt ljus i framtidens städer.

Frågeställning

Med utgångspunkt i syftet har följande frågeställningar formulerats:

- Vad innebär det artificiella ljuset för stadens organismer och vilka problem skapar det?
- Är det möjligt att skapa *hållbara* ljuslandskap i staden och hur ser landskapsarkitektens roll ut i detta arbete?

Material och metod

Uppsatsen baseras på en sammanställning av forskning och artiklar inom de vetenskapliga fält som går att förankra till artificiell belysning i urbana sammanhang och det arbete som verksamma landskapsarkitekter bedriver. Främst bygger arbetet på vetenskapliga artiklar där artificiellt ljus påverkan på olika levande organismer behandlats och undersökts. I ambitionen att göra en sammanställning av forskning som är praktiskt tillämpbar för landskapsarkitekter och verksamma inom utomhusbelysning har även material från belysningsbranschen, myndigheter och liknande använts.

Materialet hittades inledningsvis via SLU:s databas Primo och Google scholar samt International Dark-Sky Associations (IDA) databas över forskning inom artificiell belysning och dess påverkan. Genom att granska relevant litteraturs referenser har fler källor hittats genom den vedertagna snöbollseffekten. Huvudsakligen har artiklar som publicerats i vetenskapliga tidskrifter använts. Även antologierna *Ecological consequences of artificial night lighting* (2006) och *Urban lighting, light pollution, and society* (2015) har varit till stor hjälp i detta arbete, där flera olika perspektiv på ljusföroreningar har samlats i vart verk.

Främst har bearbetning av litteratur inom ämnesområden så som ljus, artificiellt ljus, ljusföroreningar, biologi och belysnings-teknik använts. Urvalet av litteratur har gjorts i syfte att skapa en helhetsbild över de parametrar som en landskapsarkitekt påverkar och kan använda sig av i arbetet att artificiellt belysa staden.

Material valdes ut för att i största möjliga mån kunna tillämpas på den belysningssituation som råder i Skandinavien idag. Därför utgår majoriteten av litteraturen från en europeisk kontext med några få undantag. Dessa undantag har motiverats med att de visar forskningsrön som är relevanta oberoende av det geografiska läget.

I val av material har den populärvetenskapliga publikationen *Fighting Light Pollution* som organisationen IDA författat använts. IDA är en intresseorganisation som arbetar för att minska ljusföroreningars påverkan på miljön och bevara natthimlen. Detta innebär att det är en källa med tydlig agenda. I användandet av detta material och övrigt material från källor med ett uttalat egenintresse som t.ex. Belysningsbranschen har ansatsen i möjligaste mån varit kritisk och objektiv. Användandet av *Fighting Light Pollution* motiveras även med att IDA varit verksam i ämnet sedan slutet på 80-talet och varit en av de aktörer som lyckats väcka diskussionen om ljusföroreningar i samhället. Genom att använda källor där

författaren bakom har en tydlig agenda försöker uppsatsen även synliggöra de konflikter och särintressen som finns inom belysning av det offentliga rummet och de konflikter som kommer behöva lösas i framtiden.

Metoden att sammanställa befintlig forskning och undersökningar motiveras med att på bästa sätt nyttja den tillgängliga tiden för att kunna bearbeta och sammanställa fler aspekter och resultat av ljus och ljusföroreningars påverkan. Övriga metoder som övervägdes så som fallstudier och intervjuer med verksamma inom belysningsfältet valdes därför bort. Om arbetet hade haft en större tidstillgång så skulle metoderna ovan visa på fler och större dimensioner av vad belysning, ljusföroreningar och mörker innebär, de dimensionerna lämnar uppsatsen över för vidare forskning.

Avgränsningar

Uppsatsen kommer fokusera på det artificiella ljusets påverkan utifrån ett naturvetenskapligt perspektiv i staden, vilka reaktioner de framkallar på olika organismer i fråga om exempelvis hormoner och fotosyntes. Miljöpsykologiska effekter som artificiellt ljus kan bidra till som känsla av ökad trygghet kommer även att tas in i arbetet. Avgränsning har även gjorts i att nästintill enbart förhålla sig till den västerländska och svenska kontexten i detta arbete.

Med målet att skapa en överblick över flera skilda faktorer av stadens belysning hålls var del på en nivå som är översiktlig, men som förhoppningsvis ger kontentan över den kunskap som vi har tillgång till idag. Där fokus har varit på den kunskap som landskapsarkitekter och urbana planerare kan ha användning av i ljussättning av urbana sammanhang.

Målgruppen för denna uppsats är landskapsarkitekter men även urbana planerare och ljusdesigners som arbetar tvärvetenskapligt och praktiskt med ljus i det offentliga rummet. Detta arbete försöker därför länka samman de två disciplinerna av samhällsvetenskap och naturvetenskap. Genom att vända sig till landskapsarkitekter och urbana planerare primärt, kan uppsatsen för en biolog eller ekolog verka allt för översiktlig.

Uppsatsens disposition

Litteraturstudien är disponerad i fyra delar. Inledningsvis kommer olika begrepp i uppsatsen introduceras och förklaras.

2. Ljus

Första delen introducerar begreppet ljus och artificiellt ljus med fokus på ljusets beståndsdelar i fråga om hur vi mäter och vad det tekniskt innebär.

3. Ljuskontaminering

Andra delen fokuserar och förklarar begreppet ljuskontaminering.

4. Ljusets påverkan på biologiska system

Tredje delen fokuserar på vad ljus innebär för olika organismer och är indelad i tre underkategorier: Ljus & människan, Ljus & djur samt Ljus & växter. Här beskrivs de fysiologiska reaktioner som ljus väcker oavsett om ljuset kommer från solen eller annan ljuskälla. I detta avsnitt avhandlas även vad ökad ljusstillgång får för konsekvenser för ekosystemtjänster som pollinering i staden.

5. Planera & arbeta med ljus som landskapsarkitekt

Fjärde och sista delen utgår från föregående avsnitts hotbild och beskriver vilka medel och verktyg vi som urbana planerare och landskapsarkitekter kan använda oss av för att arbeta hållbart med artificiell belysning. Här undersöks även argumenten för ett mörkare stadslandskap.

Förklaring av begrepp

Cirkadiansk rytm:

Även kallad dygnsrytm. Är en biologisk rytm i jordens organismer med en längd av ca 24 timmar. Rytmen uppkommer naturligt och upprätthålls med hjälp av ljuset, vilket resulterar i att rytmen upprätthålls. Denna rytm styr viktiga biologiska processer hos djur och växter. (Lundquist & Skogh u. å.)

Ekosystemtjänster:

Produkter och tjänster som organismer i naturen skapar gratis och som bidrar till människors välmående. (Nationalencyklopedin u. å. g)

Fotoperiod:

Den period under dagen då en organism utsätts för ljus, både naturligt och artificiellt. (Karolinska institutet u. å. a)

Fotoperiodism:

De fysiologiska reaktioner som styrs av tillgången av ljus och mörker det vill säga dagen och nattens längd. Dessa reaktioner kan vara blomning hos växter och fortplantning hos djur. (Johnsson u.å. b)

Fotoreceptorer:

Speciellt utvecklade celler för att registrera ljus. I människor finns de i ögonens tappar och stavar. (Nationalencyklopedin u. å. d)

Fotosyntes:

Process genom vilken växter omvandlar ljus till kemiskt bunden energi. Livsavgörande för jordens organismer. (Björn u. å.)

Fototropism:

Den tillväxt som framkallas av ljus i växter. (Johnsson u.å. b)

Habitat:

Den miljö som en art lever i, dess boplats. (Nationalencyklopedin u. å. f)

Habitus:

Det utseende som en växt specifika växtsätt ger (Nationalencyklopedin u. å. e)

Högtrycksnatriumlampa:

Tidigare den mest använda lampan inom offentlig belysning. Utsöndrar ett gulaktigt ljus med sämre färgåtergivning än både LED och metallhalogenlampor. (Belysningsbranschen 2012)

IDA:

International dark sky association. En intresseorganisation som arbetar för att minska ljusföroreningar och bevara natthimlen. (IDA 2012)

LED-lampa:

Light Emitting Diode. Lampa som bygger på dioder som utsöndrar vitt ljus, med möjlighet till olika färgtemperaturer. LED:s fördelar anses vara bra färgåtergivning och energieffektivare än tidigare ljuskällor. Relativt ny teknologi som vinner allt mer mark inom offentlig belysning. (Belysningsbranchen 2012)

LED-lampa retrofit:

LED Lampor som konstrueras för att passa i äldre armaturer. Marknadsförs som ett billigare alternativ istället för att byta både ljuskälla och armatur, vid ett skifte till LED. Dock utnyttjas inte de teknologiska fördelarna på bästa sätt genom detta .(Upphandlingsmyndigheten 2017)

Ljusförorening:

Överflödigt artificiellt ljus vars påverkan leder till negativa effekter på omgivningen. (Nationalencyklopedin u. å. b)

Melatonin:

Hormon som utsöndras under dygnets mörka perioder, och styr sömncykeln och ämnesomsättningen. (Malmquist u. å.)

Metallhalogenlampa:

Utsöndrar ett vitt ljus med bra färgåtergivning har inte lika låga driftkostnader som LED- eller högtrycksnatriumlampor. (Belysningsbranchen 2012)

Organism:

Växt eller djur vars uppbyggnad möjliggör självständigt liv. (Nationalencyklopedin u. å. c)

Populationsdynamik:

Förändringar över tid i en populations antal av individer. (Nationalencyklopedin u. å. h)

Sky glow:

Ljusförorening som sker när artificiellt ljus riktas mot himlen och reflekteras tillbaka mot jorden. Vilket är en bidragande faktor till att stjärnhimlen släcks. Det är de korta våglängderna av blått ljus från t.ex. LED som bidrar mest i skapandet av *Sky glow*. (Sánchez de Miguel 2017)

2. Ljus

2.1 Vad är ljus?

För att vi människor ska kunna se vår omgivning behöver ljuset vara tillräckligt starkt. Olika organismer tar in ljuset olika och är olika väl anpassade för ljus och mörker. Djur som är nattaktiva har anpassat sina ögon för att släppa in mer ljus och därmed se bättre på natten (Thorén 2000). Ljusets strålning eller våglängder, delas in i ett spektra från det ultravioletta till det infraröda ljuset, det ljus som är synligt för det mänskliga ögat är spektrat mellan 390 - 770 nanometer (nm) detta är den del av spektrat där solen har sin största intensitet (Nordling u. å.).

De kortaste längderna av violett ljus innehåller nästan dubbelt så mycket energi som de längsta våglängderna av rött. Därför skulle det kunna antas att en violett stråle är mer drabbande än en från det röda spektrat. Så är det inte nödvändigtvis, eftersom ljusets styrka även är en viktig faktor i hur stor påverkan ljuset har (Raven 1999).

I belysning används olika enheter för mätning av olika faktorer i ljuset. Enheten för ljusflödet är lumen (lm) vars spann är inom det ljus som är synligt för det mänskliga ögat. Belysning, även omnämnd som illuminans, mäter ljusflödet per areaenhet med hjälp av SI-enheten lux (lx) (Nordling u. å.). I dagsljus varierar belysningsstyrkan från ca 1000 lx, en mulen dag, till över 100 000 lx, en solig dag. För inomhusbelysning är en belysningsstyrka inom intervallen 100–1000 lx det vanliga (Fors 2014). Ett ljusflöde på 1000 lx innebär ungefär samma ljusstyrka som solens strålar ger vid gryning. Att utsättas för detta ljusflöde under en period mellan 10 och 15 minuter under natten kan ändra den naturliga dygnsrytmen med 1-2 h (Beier 2006).

De ögon som har väl anpassat mörkerseende är mer känsliga mot korta våglängder dvs. ljus som innehåller mycket blått (IDA 2012). Belysning med så låg intensitet som 5-10 lx har exempelvis visat sig påverka fladdermöss (Beier 2006). Människan har även lärt sig utnyttja ljusets strålning för att påverka organismers biologiska system, främst inom djurhållningen för att öka produktiviteten (Nationalencyklopedin u. å. a).

2.2 Ljusets funktion

Under miljontals år har ljuset varit livsavgörande för utvecklingen och funktionen av jordens organismer. Genom dygnsrytmen har skiftningen mellan dag och natt varit ett sätt att schemalägga den dagliga och nattliga aktiviteten och genom detta har de biologiska funktionerna optimerats (Ouyang, Davies & Dominoni 2018).

För att en organism ska kunna överleva måste de kunna anpassa sig efter dels tidsmässiga men också miljömässiga förutsättningar. Artens gemensamma biologiska klocka gör att den kan anpassa sig till dygnets mörka och ljusa perioder för att optimera ämnesomsättning, fysiologi och beteende. En arts överlevnad bygger således på att deras biologiska klocka säger åt dem att bete sig på ungefär samma sätt vid samma tidpunkt som t.ex. tid för att leta föda eller fortplantning (Navara & Nelson 2007).

Genom att det artificiella ljuset blev en naturlig del av staden i början på 1800-talet, har den naturliga cykeln av dag och natt rubbats. Allt eftersom det artificiella ljuset utvecklats till mer effektiva ljuskällor har staden belysts allt mer. Under de senaste 30 åren har belysningsstrategier blivit allt mer invasiva på det naturliga mörkret. Detta för att vi människor ska kunna utöka vår aktivitet till att även vara aktiva en längre tid in på kvällen och samtidigt känna oss trygga i staden. (Bokharaei & Nasar 2017; Ouyang, Davies & Dominoni 2018)

2.3 Dagens ljuskällor

De mest använda ljuskällorna för utomhusbelysning idag är högtrycksnatriumlampor, metallhalogenlampor och LED-lampor, tidigare användes även kvicksilverlampor men de fasades ut 2015 (Belysningsbranschen 2012). Idag har LED vunnit och förväntas vinna allt mer mark i belysning av det offentliga rummet genom dess energieffektivitet och dess teknologiska möjligheter (Belysningsbranschen 2015). Att dagens belysning utvecklats till energieffektivare och mindre kostsamt har även en baksida, när belysning blir billigare tenderar vi att belysa allt mer. Statistik visar att mellan 2012 till 2016 ökade jordens artificiellt upplysta yta med över 2 % per år (Kyba et al. 2017). En utveckling som inte är hållbar för miljön (Hölker et al. 2010). För att mäta det artificiella ljuset på jorden används en teknologi (VIIRS DNB) som inte tar upp ljusstrålning under 500 nm. Eftersom även dessa korta våglängder uppfattas och påverkar flera av jordens organismer blir denna typ

av uppmätningar missvisande vid kartläggning över jordens artificiellt belysta yta, som allt mer bygger på LED-lampor med kortvågig strålning (Kyba et. al. 2017).

LED har funnits på marknaden i ungefär 50 år men kunde då enbart ge ifrån sig rött och grönt ljus, när teknologi för att även ge ifrån sig blått ljus uppfanns kom LEDs stora genombrott. Detta gav möjlighet att skapa vitt ljus, en upptäckt som i sin tur skapade helt nya möjligheter att lysa upp det offentliga rummet (Rose 2014). Tidigare var det natriumlampor som utgjorde majoriteten av stadens belysning, genom att byta dessa till mer energieffektiva LED-lampor byts även ljusspektrat i staden från ett orange ljus till ett mer blått (Kyba et. al. 2017). En av nackdelarna med LED är att de ofta sänder ut ett blåvitt ljus vilket är det ljus som mest framkallar fenomenet *Sky glow*, vilket gör natthimlen mindre synlig. LEDs blå-vita ljus leder till 15-20 procent mer *Sky glow* än ljus från natriumlampor som ger ut ljus från den röda delen av spektrat (IDA 2012).

Tack vare att nya teknologier utvecklas och att direktiv ovanifrån upprättas leder det till nya möjligheter och krav på belysningens utformning. LED är den ljuskälla som på bara några få år har förändrat belysningen av våra offentliga miljöer signifikant. Där möjligheten att utifrån samma grundarmatur kunna fördela ljuset olika med hjälp av linser, reflektorer eller filter är helt ny (Upphandlingsmyndigheten 2017). LED-belysningen har även öppnat upp för att använda ljus med ett skräddarsytt ljusspektra, vilket skulle kunna leda till mindre ljusföroreningar och mindre negativ påverkan på miljön (Spoelstra et al. 2015). Teknologins framsteg ger därmed nya möjligheter i fråga om rätt ljus, vid rätt tid och på rätt plats.

2.4 Att jämföra olika ljuskällor

I flera av de dokument som denna uppsats bygger på är de flesta positiva inför de nya möjligheter som LED innebär. I en uträkning och jämförelse med övriga ljuskällor på marknaden visar Upphandlingsmyndigheten (2017) med hjälp av en livscykelanalys hur LEDs sammanlagda kostnader är betydligt mindre jämfört med konkurrenten högtrycksnatrium. Jämförelsen visar även att LED drar en tredjedel av den energi som en högtrycksnatriumlampa förbrukar och att LED därför är ett bättre val med tanke på klimatet och miljön.

LED-lampas livscykel innehåller dock många luckor framförallt i tillverkningsprocessen och utvinningen av det nödvändiga råmaterialet som teknologin kräver. Information hur

denna utvinning sker i fråga om arbetsförhållande, kontaminering av grundvatten och övrig miljöförstöring är svår att få tillgång till. Informationsluckorna i produktionskedjan för att skapa en LED-lampa gör därför att de ofta exkluderas i de livscykelanalyser som görs med LED (Drachenberg, Mihailova & Nandamuri 2016). Även tillverkningsprocessen är konfidentiell på grund av rättigheter för de olika sammansättningar av grundämnen som krävs vid tillverkning även i fråga om transport är information bristfällig. Det enda stadie där det finns fullvärdig statistik och uppgifter för att göra en livscykelanalys är just i användningen av LED (Lekan & Tzeng 2016). Detta kan antas även vara fallet med tidigare nämnda beräkning från Upphandlingsmyndigheten (2017).

Direktiv och krav från EU kan vara ett verktyg för att begränsa de negativa effekterna vid utvinning av de råmaterial som LED innehåller samt att utvinningen sker på ett etiskt sätt (Drachenberg, Mihailova & Nandamuri 2016). Råmaterialet som krävs för att tillverka dagens LED-lampor utvinns och exporteras nästan uteslutande från Kina, vilket gör landet allenarådande på marknaden (GE u. å.). Genom Kinas särställning på marknaden och övriga länders beroendeställning finns det skäl att utveckla alternativa sätt för att skapa LED samt utveckla teknologi för att återanvända uttjänta ljuskällor (Golev, Scott, Erkskine, Ali & Ballantyne 2014). Idag är det dock mer kostsamt och energikrävande att återanvända råmaterial från uttjänad elektronik än att använda nyutvinnt material (Drachenberg, Mihailova & Nandamuri 2016). Med de pågående trenderna inom belysning i västvärlden kan det antas att det urbana ljuset kommer gå mot ett vitare ljus med bättre färgåtergivning för det mänskliga ögat tack vare LED-teknologin. Samtidigt förutspås det påverka den biologiska mångfalden negativt genom att de korta våglängderna ökas (Gaston et al. 2012).

Sammanfattning

Ljuset är nödvändigt för jordens organismer, men olika organismer uppfattar ljuset olika beroende på vilka våglängder organismernas ljusreceptorer kan ta upp. Detta i sin tur gör att organismer påverkas olika av olika typer av ljus. Ofta pratar man om ljusets våglängd, vilka delas in i ett spektra från ultraviolett till infrarött. Ljus med korta våglängder utsöndrar ett blåare ljus och ljus från den röda delen av spektrat benämns som ljus med långa våglängder. Tillgången av ljus har varit en grundläggande faktor för att schemalägga olika arters aktivitet under dygnet och är därför en viktig del i skapandet av dygnsrytmen. Den artificiella belysningen har gjort det möjligt för oss att vara aktiva en längre tid på dygnet.

Olika ljuskällor ger olika typer av ljus. I staden går vi allt mer från ett rött ljus till ett mer blått genom att teknologin utvecklas och att vi använder den moderna LED-teknologin i allt högre grad i det offentliga rummet.

Det finns olika typer av ljuskällor på marknaden, vid jämförelser av dessa segrar LED som det mest energieffektiva med minst påverkan på miljön. Eftersom att en stor del av LEDs produktionskedja är mörkerlagd så visar ofta inte dessa jämförelser hela sanningen. Speciellt i fråga om den miljöförstöring som sker i brytningen av råmaterialet till LED. Att ljuset i städerna består i allt högre grad av korta våglängder förutspås även utgöra ett hot mot den biologiska mångfalden.

3. Ljusföroreningar

...konstgjort ljus utomhus som påverkar djur och människor negativt.

(NE u. å. b)

Begreppet ljusföroreningar eller *light pollution* blir allt vanligare att diskutera i skapandet av hållbara städer. De grupper som primärt intresserar sig för denna typ av förorening är astronomer, biologer och ekologer. Konsekvenserna av astronomisk ljusförorening innebär att stjärnhimlen försvinner på grund av artificiellt ljus som riktas uppåt. Ljuset som sedan reflekteras tillbaka från himlen är det som benämns som *Sky glow* vilket gör att stjärnhimlen slås ut. Ekologisk ljusförorening leder till att organismers naturliga beteende och populations dynamik förändras. Bidragande till de ekologiska ljusföroreningarna anses vara tidigare nämnda *Sky glow*, men även övrig överflödigt artificiell belysning som sker på land eller i vatten (Longcore & Rich 2004). De konsekvenser som följer av att jorden blir allt mer upplyst och att exponeringen av det artificiella ljuset ökar blir allt tydligare och påverkar både fysiologiska nätverk och sociala strukturer (Navara & Nelson 2007). Den ökade artificiella belysningen och ljusföroreningar förutspås leda till stora negativa konsekvenser för människors hälsa och den biologiska mångfalden. Trots detta har inte förebyggande arbete mot ljusföroreningar fått särskilt mycket utrymme (Hölker et al. 2010).

NE:s definition av ljusförorening inkluderar även ljus från en gatlykta som lyser in i sovrummet som ljusförorening vilket är det som även kallas *obtrusive light* eller störande ljus (NE u.å. b). I arbetet mot ljusföroreningar är det viktigt att skilja ljusföroreningar och det störande ljuset åt för att stärka angelägenheten av de konsekvenser som ljusföroreningar innebär (Morgan-Taylor 2015).

Ljus anses kulturellt i västvärlden som något positivt, när det elektriska ljuset introducerades i slutet av 1800-talet var det den högsta grad av modernitet (Hasenöhr 2015). IDA var en av de första organisationerna att uppmärksamma de negativa effekterna av ljusföroreningar i slutet av 1980-talet. Ett problem som de menar egentligen är den enklaste föroreningen att motverka, genom att släcka ljuset. Detta är inte inte enbart bra för natthimlen utan även bra för ekonomin i fråga om att minska energiförbrukningen (IDA 2012). Denna lösning är i all sin enkelhet oftast inte applicerbart i det offentliga rummet eftersom de finns fler faktorer och aktörer att förhålla sig till.

Även sett till historien har belysning varit omdiskuterat. Det var då inte enbart de faktiska belysningsproblemen som diskuterades utan även omkringliggande dimensioner som maktspel, påverkan, resurser och kulturella värden. Städernas belysningplaner har tidigare upprättats främst för att reglera upplyst reklam i stadslandskapet och genom detta spara energi och minska den ekonomiska kostnaden, men även klimatpåverkan. De senaste 10 åren har utomhusbelysningens konsekvenser på ekosystem och natthimlen fått allt mer uppmärksamhet i media och av myndigheter. (Hasenöhr 2015)

I arbetet mot ljusföroreningar kan de intressegrupper som arbetar för ett bevarande av natthimlen och minskning av ljusföroreningar delas in i två grupper de tematiska vilket innebär astronomer, miljökämpar och konservatorer och grupper som har ett intresse ovanifrån det vill säga politiker, beslutsfattare och företag (Meier 2015). För att inleda arbetet mot ljusföroreningar krävs det att alla intressegrupper och aktörer är överens om vad ljusföroreningar innebär och även är införstådda kring vilka konsekvenser som ljusföroreningar kan förväntas leda till (Morgan-Taylor 2015).

Sammanfattning

De negativa effekterna av det artificiella ljuset benämns som ljusföroreningar. Astronomer fokuserar på hur ljusföroreningar släcker ner den naturliga natthimlen och ekologers fokus ligger på ljusföroreningars påverkan på olika biologiska system.

Ljusföroreningar förutspås med pågående belysningstrender innebära ett hot för människors hälsa och den biologisk mångfald. Det enklaste sättet att minska ljusföroreningar är genom att släcka ljuset, eftersom det även finns sociala och ekonomiska faktorer att ta hänsyn till är detta oftast inte en möjlig lösning.

4. Ljuset påverkan på biologiska system

4.1 Ljus & människan

Människans hormonsystem är en förutsättning för att vi ska kunna anpassa vårt beteende och fysiologi för olika förhållanden i vår miljö. Detta system är även det som påverkas starkast av nattens artificiella ljus (Ouyang, Davies & Dominoni 2018). Människans beteende och fysiologi upprätthålls genom den externa cykeln av dag och natt. Även kroppens energinivåer hålls i jämvikt genom att människans dygnsrytm regleras av ljuset (Mcfadden et al. 2014). Gryning och skymning spelar en viktig roll i skapandet av denna dygnsrytm, genom dessa två hållpunkter i dygnet märker vi av hur kvantiteten och intensiteten på ljus förändras vilket skapar naturliga reaktioner i vårt biologiska system (Beier 2006).

Hormonet som meddelar information om dygnets mörka och ljusa cykler och dagens längd heter melatonin. Detta hormon är anledningen till att vi kan upprätthålla en tidsmässig organisation av vår fysiologi och beteende. Melatonin utsöndras när det är mörkt och är det hormon som gör oss sömna (Arendt 1998). När utsöndringen av melatonin uteblir eller minskas kan detta leda till förändring av sönmönster och ämnesomsättning (Mcfadden et al. 2014). Jämvikt i dygnsrytmen är essentiell för att bibehålla kroppens funktion och hälsa. Därför utgör det artificiella ljuset under natten en hälsorisk genom att minska kroppens nivå av melatonin. Detta kan leda till negativ effekt på människors hälsa i fråga om ämnesomsättning, övervikt, depression samt öka risken för cancer (Ouyang, Davies & Dominoni, 2018). Utsöndringen av melatonin varierar beroende på art men generellt kan sägas att det är nattens längd som påverkar. Att exponeras för ljus i olika längd och intensitet under natten fungerar hämmande för utsöndringen av melatonin i människor och andra ryggradsdjur (Arendt 1998). Detta sker i olika grad beroende på ljusintensitet och exponeringslängd. Även ett rums belysning kan påverka kroppens utsöndring av melatonin (Foster & Kreitzman 2004). Det har föreslagits att det artificiella ljuset kan påverka vår uppfattning av dagens och årstidernas längd och rytm (Arendt 1998). För att det ska ske en förändring av dygnsrytmen i kroppens system krävs en högre ljusintensitet än vad som krävs för ögat att skapa en visuell bild samtidigt

som stimuli måste ske under en längre period, allt från 30 sekunder till 100 minuter (Beier 2006).

Organismer påverkas olika av olika typer av ljus. Korta till mellanlånga våglängder av ljus, alltså ljus från den blå delen av spektrat, kan sänka nivån av melatonin och påverka den cirkadiska fysiologin till en större omfattning jämfört med längre våglängder (Ouyang, Davies & Dominoni 2018). Även intensiteten av ljuset, alltså ljusflödet, är en parameter att ta hänsyn till i belysning. Tillräckligt lång stimuli av lågintensivt ljus kan undertrycka melatonin produktionen hos människor och andra däggdjur (Beier 2006).

4.2.1 Ljus & djur

Uppdelningen mellan djur och människor kan verka missvisande eftersom de biologiska system och processerna i mångt och mycket är lika däggdjur emellan. Att t.ex. tillgången av ljus bevarar dygnsrytmen och bildandet av nödvändiga hormoner är sant för många andra organismer än bara människan (Beier 2006). Av jordens ryggradsdjur är 30% nattaktiva, motsvarande procent av de ryggradslösa är 60 % (Naturmorgon 2017). Många studier pekar på att nattaktiva djur ändrar sin aktivitetsperiod, minskar sin aktivitet, reser kortare sträckor och konsumerar mindre mat beroende på månens sken. I undersökningar med artificiellt ljus i samma ljusintensitet som månen minskades djurs aktivitet och rörelse även då. Detta yttrade sig speciellt i de nattaktiva djur som använde sig av nattens mörker för att dölja sig från rovdjur (Beier 2006). Generellt för djurs rörelse så är mindre artificiellt ljus alltid bättre. I arbete med gröna korridorer vars syfte är att främja djurs rörelse är det därför inte enbart viktigt att korridoren ska vara tillräckligt bred utan även att den är tillräckligt mörk för att tilltala djur (Eisenbeis 2006).

Artificiellt ljus påverkan kan även vara mer drabbande särskilda tider på året. Fåglar har en naturlig lockelse till ljus. Vilket kan leda till problem under deras tider för flytt under vår och höst, eftersom det artificiella ljuset kan få de att komma ur kurs och fastna i ljusskenet. Under en 7-dagars period undersöktes ljusets attraktionskraft med hjälp av en ljusinstallation som lös på himlen under den tid på året fåglarna flyttade. Under denna period fastnade en miljon fåglar i ljuset som istället för att fortsätta sin kurs, cirkulerade i det artificiella ljusskenet. Problemet löstes sedan genom att stänga ner installationen under de tider på året då fåglar emigrerar (Naturmorgon 2017).

Fåglar har även visat sig påverkas av artificiellt ljus från gatubelysning genom att hanarna började sjunga tidigare jämfört med de som inte var bosatta nära belysningen, även

honorna visade påverkan genom att lägga sina ägg tidigare jämfört med referensgruppen som ej utsattes för artificiell belysning (Kempnaers, Borgström, Loës, Schlicht, & Valcu 2010). I en jämförande undersökning där målet var att kartlägga fåglars påverkan av olika typer av artificiellt ljus med olika ljusintensitet visade fåglarna ingen påverkan jämfört med referensgruppen som ej utsattes för belysning under natten (da Silva et al. 2016).

Dessa två undersökningar skiljde sig åt i tillvägagångssätt. Den första undersökningen skedde under ett tidsspänn på 7 år (1998-2004) där ljuskällan bestod av högtrycksnatriumlampor med en intensitet mellan 0.01-100 lx. Den andra pågick under våren 2013 med olika typer av LED-lampor med en intensitet mellan 5,7-10,1 lx (Kempnaers et.al. 2010; da Silva et. al. 2016). För att skapa en referens till vad dessa ljus innebär i praktiken så ligger ljusintensiteten på vägbelysningen i Sverige mellan 1–50 lx beroende på vilken trafiksituation som ska belysas (Fors 2014).

En annan faktor i ljusföroreningars påverkan på ekosystem är den tidigare nämnda *Sky glow* som uppstår när det artificiella ljuset reflekteras tillbaka från himlen. *Sky glow* sprids från urbana områden vilket gör att den naturliga natthimlen inte går att se med det mänskliga ögat. Detta fenomen har även visat sig påverka beteendet hos organismer som befinner sig flera kilometer från den ursprungliga ljuskällan. (Kyba, Ruhtz, Fischer & Hölker 2011). Genom att belysa medvetet, med tanke på ljusnivåer, spektra och riktning kan ljusets påverkan på djur minskas (Bruce-White & Shardlow 2011). Beroende på det artificiella ljusets våglängd och färg kan den uppfattas mer eller mindre lockande för djur och insekter (Eisenbeis 2006). En minskning av det blå ljuset, alltså de korta våglängderna har visat sig vara mindre lockande för insekter (Spoelstra et al. 2015).

4.2.2 Ljus & ekosystemtjänster pollinering

Det är lagstadgat att vi i Sverige ska bevara och nyttja den biologiska mångfalden på ett hållbart sätt, det innebär att arternas livsmiljöer och ekosystem tillsammans med deras funktion och processer ska värnas om för att bevara ett rikt växt- och djurliv (Miljö- & energidepartementet 2013; Naturvårdsverket 2017). Genom att spana trender i fråga om miljö och hot försöker forskare förutse framtidens problem och därmed initiera forskning i ämnet innan det är för sent (Sutherland 2010). Ljusföroreningar anses utge ett sådant hot mot den biologiska mångfalden genom att det nödvändiga mörkret för nattaktiva organismer försvinner (Hölker et al. 2010). Det är ett faktum att insekter dras till ljus, men

det har även visat sig att insekters attraktionskraft kan skilja sig mellan arter beroende på ljusets våglängd och vilken intensitet ljuset har (Longcore et al. 2014).

En av de största rollerna insekter har i vårt ekosystem och näringskedja är som pollinatörer (Eisenbeis 2006). Att skapa livsmiljöer för pollinatörer i staden är en av de ekosystemtjänster som landskapsarkitekter ofta försöker planera in i olika urbana projekt med ambitionen att skapa hållbara städer (Keane et al. 2014). Det artificiella ljuset är farligt för insekter på grund av att de inte har någon förmåga att motstå ljus, därför hindrar det artificiella ljuset dem att utföra deras huvuduppgifter att fortplanta, leta föda och pollinera under natten (Eisenbeis 2006).

Insekters biomassa och populationsmängd reduceras därför genom denna attraktion. Detta sker primärt genom att de samlas runt ljuskällan, där de fastnar tills de dör av den utmattning det innebär att cirkulera runt ljuset. Ekosystems växelverkan gör att risken för att organismer längre upp i näringskedjan även påverkas negativt av detta (Hölker et al. 2010). Genom att växter inte blir pollinerade i samma utsträckning, resulterar det i mindre frukt-utvecklingen vilket i sin tur innebär mindre mat till organismer högre upp i näringskedjan (Bittel 2017). Pollinering som sker av insekter och djur är därmed en nyckelfunktion inom ekosystemen, men även en fundamental faktor för vår globala mat tillgång (Knop et al. 2017).

Det artificiella ljuset stör de pollineringsnätverk som är aktiva under natten och innebär negativa konsekvenser för växternas möjlighet att föröka sig. Nätverken och ekosystemen som pollinatörer bygger på är avancerad arkitektur och om en del rubbas är risken stor att andra system störs som följd. De dagaktiva pollinatörerna och nattaktiva pollinatörerna är beroende av varandra, en minskning av de senare skulle innebära ett ökat pollineringstryck på de dagaktiva vilket de inte förmodas klara av att uppfylla (ibid.). En fördel de nattaktiva pollinatörerna besitter jämfört med de dagaktiva, är att de visat sig vara effektivare pollinerare och därmed pollinerar större kvantiteter. Att en pollinatör som är aktiv under mörker uppnår ett högre pollineringsresultat jämfört med en dagaktiv pollinatör ger slutsatsen att om de nattaktiva pollinatörerna skulle minskas skulle det ha en negativ effekt på ekosystemen i stort (Bittel 2017).

Den spektrala kompositionen har visat sig vara en mer avgörande faktor i attraherandet av insekter än ljusflödet (Longcore et al. 2015). De korta våglängderna har majoriteten av insektsarter visat sig vara känsliga för och bör därför undvikas. Även vissa områden är speciellt känsliga för ljusföroreningar som till exempel nära vatten samt områden där ljuskänsliga arter huserar (Bruce-White & Shardlow 2011).

Globala trender visar att städer breder ut sig allt mer och de urbana upplysta områden därmed tar allt större arealer i anspråk (Moström 2013). I takt med att världen blir allt mer upplyst förutspås de ljuskänsliga arterna att förloras, detta kommer främst att ske i urbana områden, men också i de områden som är urbant närliggande. Vissa arter med ett kort generations-spann förutspås dock kunna anpassa sig till de nya ljusförhållandena (Hölker et al. 2010).

4.3 Ljus & växter

Växtens utveckling är beroende av ljus. Ljusets strålar bidrar till att fröet gro, att plantan växer, löv tillverkas alternativt slutar tillverkas och sänder signaler när det är dags för plantan att gå in i viloperiod. Ljus är även en avgörande faktor till att växten går från ett vegetativt till blommande stadie, att den sen utvecklar frukt och även tappar sina löv på hösten. Alla de processer som ett träd eller växt går igenom under ett år är ljuset en förutsättning för. (Briggs 2006)

Genom fotoperioden är träd och växter beroende av ljus för att fotosyntesen ska ske (Deak Sjöman, Sjöman, & Johansson 2015). Växtens olika processer sker under olika delar av dygnet, under mörkerperioden maximeras stamtillväxten och växten förlänger sig för att nå ljuset. Under de ljusa perioderna investeras resurser istället till bladtillväxt och utveckling av det maskineri som sköter fotosyntesen (Briggs 2006). Det är inte väsentligt för trädet om strålningen kommer från solen eller en artificiell ljuskälla. Det som påverkar är ljusets våglängd, intensitet och exponeringstid, därför kan även artificiell belysning från t.ex. gator och byggnader inverka på trädens fotoperiod (Chaney 2002).

Fotoperioden ger träd och växter information för att klara de olika årstiderna. En längre fotoperiod leder till ökad fotosyntetisk aktivitet. Även om en plats är i samma geografiska område så kan de enskilda platserna i området ha olika långa fotoperioder, beroende på om trädet står i skugga större delen av dagen eller i gassande sol (Deak-Sjöman, Sjöman, & Johansson 2015). Vissa arter är särskilt känsliga eller hårdiga mot ljus, men det är också skillnad på vilken typ av ljus i form av våglängd som används för att trädet ska må bra. De typer av ljus som anses farligast för växter är det ljus med långa våglängder från den röda delen av spektrat och även då det infraröda ljuset (Chaney 2002).

Växter är beroende av ljus, men har även utvecklat mekanismer för att skydda sig och absorbera ljus beroende på om ljusets intensitet är hög eller låg (Reddy & Raghavendra

2006). Genom evolutionens gång har växter utvecklat strategier för att svara på de signaler som miljön skickar till dem. I växtvävnaden finns fotoreceptorer som hämtar information från ljuset den har tillgång till och svarar med en reaktion på dessa. Fotoreceptorerna är oerhört känsliga och kan uppfatta ljus som det mänskliga ögat inte kan. Det finns fyra olika fotoreceptorer vilka hjälper att mäta och svara på fyra olika parametrar av ljus: Ljusets våglängd, intensitet, riktning och längd (Briggs 2006). Den spektrala kompositionen av ljusets våglängder är en viktig faktor i växters respons av ljus, detta eftersom olika våglängder påverkar olika typer av fotoreceptorer som signalerar till växtens övriga system att reagera på ett visst sätt (Gaston, Davies, Bennie & Hopkins 2012). Växtens reaktion att sträcka sig och växa mot ljuset, fototropism, sätts igång av ljusets blå våglängder till exempel (Raven 1999).

De skador som olika typer av föroreningar orsakar på växter är beroende av flera faktorer, både biotiska och abiotiska. Biotiska signaler kan komma till växten från andra organismer som insekter och djur. Abiotiska signaler kan vara temperaturförändringar, förändring i vattentillgång och förändring av ljus (Briggs 2006). De viktigaste faktorerna i olika föroreningars påverkan är växtens habitus, ålder, tidpunkten då föroreningen sker i förhållande till plantans aktivitetsperiod samt plantans generella vigör samt klimat- och jordmåns-förhållande. Även föroreningens koncentration och längd är en viktig faktor för hur mycket växten påverkas (Larcher 2003). Träd i urbana miljöer är i sitt habitat utsatta för åtskilliga stressfaktorer och är därför mer benägna att påverkas av föroreningar inklusive ljusföroreningar (Saebo, Benedikz & Randrup 2003).

Det artificiella ljusets påverkan kan ses under hösten och vintern på träd som står nära en ljuskälla, då bladen nära belysningen hänger kvar längre än de som är längre ifrån ljuset (ibid). Den skadligaste påverkan det artificiella ljuset har på de urbana träden är dess påverkan på trädets invintring. När träd inte får rätt signaler för att invintra i tid ökar risken för frostsador vilket i sin tur leder till försämrade vinterhärdighet. Denna skada utgör störst hot för unga plantor (Chaney 2002).

I ett experiment med Tulpanträd (*Liriodendron tulipifera*), som enligt Chaney (2002) klassas som ett väldigt ljuskänsligt träd, undersöktes det artificiella ljusets påverkan i fyra olika fokusgrupper. En grupp av träden utsattes för en naturlig dygnsrytm av ljus och mörker och de resterande tre utsattes för artificiellt ljus i olika intervaller och omfång. Resultatet visade att artificiellt ljus från en högtrycksnatrium-lampa verkade mest hämmande för trädets fotosyntes och tillväxtmönster. Unga plantor var extra känsliga mot den artificiella belysningen, tidpunkterna då denna påverkan var störst inträffade vid gryning och skymning (Kwak et al. 2018). Likt för människor och djur är dessa tidpunkter

viktiga för växternas funktion, eftersom de signalerar dagens övergång till natt och vice versa med hjälp av en snabb ändring av ljusintensitet. Genom denna förändring skapas den dygnsrytm som de olika biologiska systemen förhåller sig till (Beier 2006).

Sammanfattning

Genom ljuset anpassas organismers beteende och fysiologi efter den externa dygnsrytmen och skiftningen mellan dag och natt. Människor och djurs biologiska system påverkas av ljus på ungefär på samma sätt. Där ljusets våglängd, intensitet och exponeringstid är de viktigaste faktorerna för ljusets påverkan och attraktion.

Majoriteten av jordens ryggradslösa djur är nattaktiva och påverkas därför mest när det naturliga mörkret försvinner. Speciellt djur med en naturlig dragning till ljus som insekter och fåglar påverkas negativt av det artificiella ljuset. Även fenomenet *Sky glow* kan påverka ekosystem som befinner sig flera kilometer från den ursprungliga ljuskällan.

En nyckelfunktion för att bevara den biologiska mångfalden är den roll insekter har som pollinatörer. Genom deras attraktion till ljus är de nattaktiva insekterna speciellt i farozonen när världen belyses allt mer. När en del av ekosystemets nätverk rubbas, leder det till konsekvenser för övriga delar av nätverket. Därför förutspås den ökade artificiella belysningen ha ödesdiga effekter på den biologiska mångfalden. Genom att belysa medvetet, med tanke på ljusnivåer, spektra och riktning kan ljusets påverkan på ekosystem minskas.

Växter är liksom människor och djur beroende av ljus för att utvecklas. De långa våglängderna av artificiellt ljus påverkar växter mest negativt. Hur mottaglig ett träd är för föroreningar beror på dess generella mående och hur mycket stress den är utsatt för. Unga plantor har dock visat sig vara extra sårbara för ljusföroreningar genom att de invintrar för sent och löper då större risk för frostsador.

5. Planera och arbeta med ljus som landskapsarkitekt

Det tidigare kapitlet visade på de negativa effekterna och det hot som det artificiella ljuset innebär för städernas organismer. När urbana platser gestaltas och planeras är det i första hand med människor i fokus. Där ljussättningen sker för att vi ska kunna vara aktiva, men även för att vi ska uppleva staden tryggare. I de nordiska länderna där halva året är mörkt, finns det en enorm fördel med artificiell upplysning och de estetiska inslag det ger till stadsbilden. Det är tydligt att artificiell belysning ändrar vår och övriga organismers naturliga uppfattning av dagen. Genom detta ändras även fysiologiska processer och inte minst beteende. Det artificiella ljuset skapar en artificiell dygnsrytm. En dygnsrytm som biologiska processer och beteende anpassar sig efter, men även luras av. Denna artificiella dygnsrytm är landskapsarkitekten med och skapar och därför är det viktigt att i arbetet med belysning vara medveten att i tillförande av ljus ändrar vi naturliga processer som kan kosta oss i framtiden om vi inte redan nu börjar jobba hållbart med belysningen i staden.

I vår ambition att skapa hållbara städer är det viktigt att kunna överblicka de potentiella konsekvenser olika belysningsalternativ kan innebära. Kunskap i hur ljus fungerar och vad det påverkar är viktigt för att ljussätta utan att ekosystem rubbas och för att skapa rätt förutsättningar för platsen och organismers funktion. Detta kapitel kommer därför fokusera på de verktyg och idéer som finns för att belysa hållbart med utgångspunkt i begreppen artificiell belysning, ljusföroreningar och mörker.

Den artificiella belysningen i våra städer är ett verktyg och en förutsättning för att människor ska kunna bruka det offentliga rummet även under dygnets mörka timmar (Frank & Hellman 2017). Tidigare avsnitt visar att människor rent fysiologiskt påverkas av det artificiella ljuset, men att det även möjliggör för aktivitet under dygnets mörka perioder vilket oftast premieras i dagens samhälle. Övriga organismers påverkan av artificiellt ljus är därför mer alarmerande, med tanke på att de inte har samma möjlighet att undvika ljuset och att aktivt välja bort det som människan har. Detta avsnitt kommer fokusera på vad för verktyg det finns för att skapa ett nattlandskap där även hänsyn till övriga organismers behov av mörker tas i beräkning och vilka verktyg landskapsarkitekten kan använda sig av i sitt arbete med belysning för att minska ljusföroreningar.

5.1 Den offentliga belysningen idag och tidigare motiv till förändring

I arbetet med kommuners belysning är det viktigt att uppmärksamma utgångsläget i stadens ljuslandskap. Där en stor del av dagens offentliga armaturer köptes in på 60- och 70-talet. Sedan dess har belysningsteknologin utvecklats väsentligt vilket tidigare avsnitt visat. Ett skifte i den offentliga belysningen kom när Ekodesigndirektivet bestämde att kvicksilverlampan skulle fasas ut till år 2015 eftersom den ansågs dålig för miljön och bidrog till allt för hög energianvändning (Energimyndigheten 2018). Det ansågs som en nödvändighet för att minska de negativa effekterna på miljön, men utfasningen fick även kritik. För i praktiken innebar det att ta bort produkter från marknaden utan att det fanns lampor som kunde fungera med de befintliga armaturerna (Krause 2015). Det tvingade producenterna av ljuskällor att agera och när denna utfasning väl trädde i kraft hade LED-lampan retrofit utvecklats. Detta innebar att dagens moderna ljuskällor utformades för att passa in i gårdagens armaturer. LED-lampan retrofit har marknadsförts som ett billigare alternativ än ett byte av hela armaturen. Denna ljuskälla är energieffektivare än kvicksilverlampan och i mån av ljusmängd är den likvärdig. Det som talar till LED retrofit nackdel är hur ljuset ges ut. Detta eftersom LEDs ljusflöde fungerar helt annorlunda jämfört med kvicksilverlampans ljusflöde, där ljuset spreds med en reflektor från en lysande punkt (Upphandlingsmyndigheten 2017).

Att kommuner och beslutsfattare väljer denna ljuskälla för att ersätta kvicksilverlampan har även lett till skepsis och kritik eftersom det innebär att teknologins framsteg inte utnyttjas på bästa sätt. Den verksamma ljusdesignern Abhay Wadhwa beskriver det som: *...att peta in iPhone-teknologi i en telefon med nummerskiva – idioti*. Han menar på att det finns bättre sätt att utnyttja resurserna när vi ska belysa det offentliga rummet (Modig 2018). Även forskaren Christopher Kyba är av den åsikt att vi låter den nya teknologin gå till spillo när vi bara byter ljuskällan och inte hela armaturen (Ganguly 2017).

Det argument som oftast väger tyngst för att uppdatera en kommuns ljuskällor är den ekonomiska vinning som finns att göras. Genom att byta en stads ljuskällor till ett mer energieffektivt alternativ som LED minskar kostnaderna avsevärt för att belysa och med det även klimatpåverkan (Kyba et al. 2017). Samtidigt visar tidigare avsnitt att det finns fler aspekter att ta hänsyn till än enbart energieffektiviteten när det kommer till miljöpåverkan. De LED-källor som utger starkast ljus från den blå delen av spektrat är de som förväntas leda till mest negativ påverkan på miljön. Det är även dessa lampor som

idag är de billigaste att köpa in, vilket kan ses som oroväckande om inte fler parametrar än den ekonomiska tas in i beräkningen vid investering av belysning (Jägerbrand 2015).

5.2 Tekniska verktyg i design av ljus

Att vara insatt i vad för teknologi det finns att använda är ett sätt att börja arbeta mer medvetet med den offentliga belysningen. Ett exempel på detta som landskapsarkitekter kan ha användning av är de standardtillval som finns vid inköp av LED som till exempel Stand alone. Detta ger möjlighet till energieffektivare och mer detaljstyrd belysning genom att den möjliggör en reducering av ljuseffekten i flera steg (Upphandlingsmyndigheten 2017). Det blir allt viktigare i den framtida ljussättningen av staden att använda den nya teknologin med bra principer och praxis. SSL-lighting, solid-state lighting, är en annan typ av ljusanordning som använder sig av LED-ljuskällor. Dessa kan justeras så att de mest negativa effekterna från nattlig belysning undviks (IDA 2012). De bästa gatlamporna anses vara de som riktar ljuset nedåt eftersom de leder till optimal energianvändning och mindre spilljus. Genom att dagens armaturer och ljuskällor kan designas så att spilljus minimeras, minskas även mängden ljusföroreningar (Upphandlingsmyndigheten 2017).

Att använda sig av styrsystem för att tända och släcka stadens belysning är ytterligare ett sätt att arbeta medvetet med hållbar belysning. De tidigaste styrsystemen hade enbart funktionen att manuellt eller genom signaler till kommunens belysningscentraler tända och släcka stadens lampor. Dagens avancerade system kan reglera belysningsanläggningen antingen i grupp eller var armatur för sig. Där belysningen inte enbart tänds och släcks utan även kan dimmas ner under vissa delar av natten till förmån för nattaktiva djur och insekter till exempel. Vid en upphandling är det viktigt att överväga vilket alternativ som passar den befintliga anläggningen och utforma styrsystemen beroende på vad som efterfrågas (Upphandlingsmyndigheten 2017). Valet av ljuskällor och upprättandet av belysningsstrategier är en långsiktig investering som kräver att de negativa och positiva effekterna av olika belysningsalternativ jämförs och övervägs (IDA 2012). LED teknologins flexibilitet och möjlighet för att exempelvis skräddarsy ljuset i fråga om ljusspektra och ljusflöde skulle kunna användas för att minska den negativa påverkan som artificiellt ljus innebär för miljön (Davies et al. 2017).

5.3 Hållbarhet och belysning

För att belysa hållbart och i övrigt arbete med begreppet hållbarhet används ofta Bruntlandsrapporten tre delar som vägledning, vilket innebär att det ska vara miljömässigt, socialt och ekonomiskt hållbart. För att belysa hållbart ges ofta direktiven: Rikta ljuset där det behövs, i rätt mängd och endast de tider då det behövs (Upphandlingsmyndigheten 2017; IDA 2012). Den socialt hållbara dimensionen innebär bland annat att använda belysning som ett verktyg för att öka tillgängligheten till viktiga målpunkter i staden (Frank & Hellman 2017). Belysning används även ofta som ett incitament för ökad trygghet eftersom det leder till en central idé i trygghets- skapande, nämligen att ha överblick och kunna orientera sig. Det kan även leda till ökad social trygghet genom att belysning leder till att fler människor rör sig i staden en längre tid på dygnet (Cruse-Sondén & Olsson u. å.). Även den kulturella dimensionen kan inkluderas i begreppet hållbar belysning, där hänsyn även tas för att bevara hur platsen belysts från ett historiskt perspektiv (Köhler 2015). Ekologiskt hållbart ljus innebär hur ljuset påverkar miljön och ekosystemet (Frank & Hellman 2017). En hållbar belysningsplan bygger således på att vi ställer oss frågor rörande när och hur det artificiella ljuset påverkar oss vid särskilda tidpunkter, platsens krav på ljus kontra mörker samt vilka sociala värden det finns i att låta natten vara mörk i staden (Köhler 2015). Även den inprogrammerade känslan och uppfattningen i det västerländska medvetandet, att ljus associeras som positivt och mörker som negativt är parametrar som spelar roll i belysningen av staden (Hassenöhr 2015). Inom landskapsarkitektur och samhällsplanering är det oftast fokus på den sociala aspekten när vi arbetar med belysning. Att inkludera frågorna ovan skulle även adressera arbete för att motverka hotbilden som den biologiska mångfalden förväntas utsättas för som tidigare avsnitt visat.

IDA (2012) menar även att det inte enbart går att designa ljus från en aspekt utan vi måste ta hänsyn till flera variabler: tekniska, miljömässiga och socioekonomiska. För att belysa hållbart med så lite ljusförorening som möjligt så manar IDA till att aldrig sända ljus uppåt, använda dimmervänlig belysning och ett filtrerat LED-ljus i en varm vit färg. För att välja ljuskälla medvetet måste hänsyn till både kvalitet, livslängd och miljöbelastning tas in i beräkningen. Genom kunskap i hur olika armaturer fungerar blir det enklare att belysa offentliga miljöer ändamålsenligt (Upphandlingsmyndigheten 2017). Faktorer för att uppnå ekonomiskt hållbart ljus är att använda sig av armaturer och ljuskällor av bra kvalitet som är möjliga att reglera och har lång livslängd med bibehållna ljusegenskaper (Frank, J. & Hellman, M. 2017).

En förståelse för vad de kommande nätterna med vitare ljus kommer innebära för miljön och de organismer som vistas där, krävs för att ett skifte av ljuskällor ska bli en hållbar investering (Gaston et al. 2012).

5.4 Att upprätta belysningsplaner

Instiftandet av belysningsplaner har från flera håll uppmärksammats som en viktig del av att arbeta aktivt för att minska ljusföroreningar och skapa bättre förutsättningar för att använda det artificiella ljuset på ett mer medvetet sätt i staden. Detta skulle innebära tydligare riktlinjer för hur landskapsarkitekter och andra verksamma skulle arbeta med stadens belysning. Upphandlingsmyndigheten (2017) föreslår att belysningsplanen ska upprättas i två delar där en del fokuserar på hur belysningen ska upplevas och den andra behandlar tekniska krav som till exempel ljusnivåer och material på anläggningen. Köhler (2015) föreslår vidare att arbeta med zoner i vår planering av ljus, där vi med hjälp av moderna armaturer har möjlighet att bestämma vilken mängd och kvalitet av ljus som behövs för var timme på specifika områden i staden.

Det finns även befintliga direktiv som fungerar vägledande vid upprättandet av belysningsplaner. Ett sådant är till exempel EU-direktivet EN13201 vilket är en riktlinje för gatubelysning. I den ligger huvudfokus på att främja trafiksäkerhet, men innehåller ingen rekommendation vad gäller ljusets flöde, färgtoner, design och energi-effektivitet (Krause 2015). Parametrar som skulle kunna användas i direktiv för att ge bättre förutsättningar för djur och växtliv och tydligare riktlinjer för de som arbetar med belysning. I samma ton menar Köhler (2015) att det är nödvändigt att upprätta restriktiva och formella verktyg för planering av städernas ljussättning. Han yrkar på att det finns behov av en *Lighting masterplan* som skulle verka vägledande i kommuners och länders arbete med belysningsstrategier. I detta arbete är det viktigt att se till olika platsers behov av belysning. Platser som idag anses kräva en hög ljuskvalitet är framför allt platser där människor rör sig till fots (Upphandlingsmyndigheten 2017).

I belysningsstrategier är det fokus på ljus, men i det arbete så är det viktigt att vara medveten om att ljus fascinerar och upplevs i sitt samspel och kontrasterande med mörker (Hasenöhrl 2015). Därför innebär planering av belysning även i praktiken planering av mörker. Det är viktigt att vara medveten att beroende på omgivande platsers ljus kan platsen som är i fokus för att belysas uppfattas som olika grader av ljust eller mörkt i förhållande till angränsande områden. Att belysa vissa områden starkare för att exempelvis uppnå en känsla av ökad trygghet kan därför istället leda till att angränsande

områden uppfattas som mörkare och eventuellt otryggare än vad jämnare ljusnivåer över fokusområdet och angränsade områdena hade gjort (Upphandlingsmyndigheten 2017).

5.5 Arbeta mot minskad ljusförorening & argumentera för mörker

Artificiell belysning möjliggör att vi kan bibehålla vår urbana rytm genom att vi kan vara aktiva längre in på natten. Det kan tillföra ett estetiskt värde i form av ljusdesign, vilket stärker stadens identitet och atmosfär, ökar trafiksäkerheten och känslan av trygghet (Pottharst & Wukovitsch 2015). Eventuell reglering av ljus måste bygga på en bred förståelse av ljusföroreningarnas negativa påverkan på människors hälsa, ekosystem och miljö för att lyckas. Om inte kunskap finns om ljusföroreningars allvarliga konsekvenser kan det leda till att förebyggande insatser mot föroreningen möts med motstånd (Morgan-Taylor 2015).

Det effektivaste sättet att förebygga ljusföroreningar och minska påverkan på nattaktiva djur, är helt enkelt genom att minska ljusanvändningen och släcka ljuset (Davies et al. 2017; Gaston et al. 2012). Denna åtgärd kan upplevas göra mer skada än nytta i fråga om säkerhet, trygghet och ekonomiska intressen (Morgan-Taylor 2015). Eftersom mörker i de offentliga miljöerna associeras i många som otryggt (Jägerbrand 2015). Det finns även en konflikt i att tiderna då människans efterfrågan av belysning är som högst, är samma tid på dygnet som nattaktiva djurs aktivitetsperiod är som störst (Gaston 2012).

Ett sätt att få medborgare att acceptera en lägre ljusnivå och ett mörkare stadslandskap är genom att informera om ljusets negativa effekter på ekosystem och människor (Jägerbrand 2015). I arbetet för att begränsa ljusföroreningars negativa effekt krävs en gemensam förståelse av problematiken hos medborgare, handeln och politiker. För att lyckas med detta arbete krävs det dels lagar och regleringar, men även en attityd där rätt mängd ljus, rätt typ av ljus, när det behövs och på den plats där det behövs segrar över devisen ju ljusare desto bättre (Morgan-Taylor 2015).

Att arbeta mot ljusföroreningar och planera för mörker är ovanligt i våra tätbefolkade städer, även om det skulle vara bättre för miljön att ge tillbaka det förlorade estetiska värdet av natthimlen till staden (Hasenöhr 2015). Att återfå natthimlen tas ofta upp som ett argument för att arbeta mot ljusföroreningar. Natthimlens värde är dock något som varierar geografiskt beroende på konsumenternas, alltså invånarnas preferenser. Ofta

efterfrågas ljusa gaturum som upplevs trygga, än ett mörkare stadslandskap med möjlighet att se natthimlen (Willis 2015). Undantag kan hittas i så kallade *Dark sky parks* och *Dark sky areas* en certifiering som bygger på att en kommun eller område arbetar aktivt med att bevara natthimlen. Det kan jämföras med ett naturreservat för mörker. IDA är organisationen som ger ut denna certifiering och oftast är det områden som är relativt obebyggda som lyckats certifiera sig. Det kan därför ses som ett förebyggande arbete där man medvetet implementerar ljusstrategier och belysningsplaner för att hålla emot för framtidens ljusföroreningar (Meier 2015). Vid etablerandet av ett sådant område behöver flera olika intressenter stödja arbetet och oftast bygger det på initiativ från gräsrotsnivå, oftast från personer med ett astronomiskt intresse. Detta etablerades just från gräsrotter till kommunal nivå på ön Mön i Danmark, vilket är Sveriges närmsta mörkerpark (Naturmorgon 2017).

Genom planering av mörker eller minskad belysning bibehålls habitat och utrymme för stadens nattaktiva djur (Frank & Hellman 2017). Det ekonomiska argumentet nämndes tidigare som den historiskt starkaste drivkraften för att förändra det artificiella ljuslandskapet. Tidigare nämndes även att pollineringen som sker på natten är effektivare än den som sker på dagen (Knop et al. 2017). Denna nattliga pollinering som i princip sker gratis av vilda insekter beräknas uppgå till ett värde mellan 260 och 466 miljoner kronor i Sverige eftersom det är en viktig förutsättning för vår matproduktion (Romare 2014). Därför kan vi dra slutsatsen att ljusföroreningar kan komma att kosta samhället avsevärt i framtiden om vi inte aktivt arbetar för att minska dess påverkan och även börjar planera in mörker i städerna.

Sammanfattning

Den urbana livsstilen är beroende av den artificiella belysningen, tack vare den kan vi vara aktiva även under dygnets mörka timmar. Genom att arbeta hållbart med belysningsstrategier och belysningsplaner vägs sociala, ekonomiska och ekologiska faktorer mot varandra vid belysning av urbana områden. Fördelaktigt är att arbeta utifrån dels hur belysningen ska upplevas och dels vilka tekniska krav som ställs. Med medvetna val och modern teknologi skapas förutsättningarna för ett urbant hållbart ljuslandskap.

6. Diskussion

Ljus är en nödvändighet för att ekosystem ska fungera. Det artificiella ljuset är skapat för människan och människans behov. Genom belysningen i staden har vi etablerat en urban livsstil där vi kan nyttja stadsrummet och vara aktiv även under dygnets mörka timmar. Detta är en upplysning som funnits i staden i över 100 år, vilket innebär att vi anser den vara lika naturlig som ljuset under dagen. Speciellt i de nordiska länderna är den artificiella belysningen en förutsättning för vår livsstil. Vi förväntas vara aktiva en större del av dygnet och det skulle inte gå att enbart följa solens upp och nedgång. Samtidigt är det tydligt att den urbana livsstilen med det ökade artificiella ljuset även innebär konsekvenser för vår hälsa. För vårt biologiska system kräver även mörker i likhet med resterande av jordens organismer. Att planera för ljus innebär att planera bort mörker och vi behöver dem båda för att fungera optimalt.

Som landskapsarkitekt använder vi det artificiella ljuset för att tillgängliggöra platser, där människor bjuds in och med det aktiveras staden. Ofta vill vi skapa platser där torg fungerar som mötesplatser och gaturum som sorlar av aktivitet. Men allt eftersom åskådliggörs flera av de problem som vår moderna livsstil innebär, ljusföroreningar är ett av dem. Det som denna uppsats först och främst visar på är komplexiteten i att belysa staden. Vi vill ha och behöver det artificiella ljuset, samtidigt som det biologiskt sett inte är det vi eller andra organismer mår bäst av. Ljusföroreningar är ett problem och fenomen som är helt skapat av människan och därför är det också bara vi som kan arbeta för att minska de negativa konsekvenser som denna uppsats uppmärksammat.

Landskapsarkitekten är oftast inte ljusdesigner, därför är det en fördel att de material som finns angående ljussättning är aktuella och uppdaterade. Ett problem som beskrivs är hur det finns modern teknologi som skulle kunna användas för att minska ljusföroreningar, men att det helt enkelt inte används. Detta beror ofta på ekonomi. Investering av artificiellt ljus i en kommun är en långsiktig investering, den byts inte ut i första taget om det inte upplevs att behövas. När kostnader tenderar att bli höga letar vi ofta efter sätt att göra investeringarna billigare. Ett sätt är att återanvända det som går och byta ut det som behövs. Även detta kan ses som ett hållbart sätt att spara på resurser och värna om miljön. Det bidrar dock inte nödvändigtvis till minskad ljusförorening. Att investera i dagens moderna ljuskällor med syfte att spara på energi och minska kostnader blir allt vanligare. Det är dock inte lika vanligt att vi utnyttjar dagens teknologi fullt ut. Att behålla de äldre armaturerna och enbart skifta ljuskällan gör att flera av de fördelar som exempelvis LED

skulle kunna innebära gård förlorade. För att verksamma ska göra medvetna val för att minska ljusförorening, krävs det därför att kunskap sprids och att problemen som de kommer innebära för framtiden tas på allvar. Att LED anses vara det mest hållbara alternativet för framtidens belysning råder det nästintill konsensus om. Det är dock skillnad på LED och LED, där de billigaste lamporna tenderar sprida det ljus som mest leder till ljusföroreningar. Det krävs därför att kunna argumentera för en eventuellt dyrare belysning för skapa ett hållbart ljuslandskap. Eftersom arbetet mot ljusföroreningar med största sannolikhet kommer innebära ett mörkare stadslandskap, alternativt ett stadslandskap där ljusnivåerna inte höjs ytterligare krävs det att invånarna i staden förstår varför det urbana ljuslandskapet behöver förändras. Det blir därför viktigt att problematiken kring den artificiella belysningen inte stannar inom de yrkesverksamma utan även når ut till alla som brukar staden.

Att vara insatt i vilka skeden urbana planerare och landskapsarkitekter kan påverka utformningen av det artificiella ljuset på en plats är viktigt i arbetet för ett hållbart ljuslandskap. Ett sånt skede är exempelvis vid projekteringen av en ny plats. Att där formulera de funktioner och upplevelser det artificiella ljuset ska uppnå kan vara ett sätt för att ge utrymme för innovativa lösningar där ny teknologi används.

Inledningsvis av detta arbete citerades Professor Kevin Gaston i en artikel från 2017 där han formulerade lösningen av problemet ljusföroreningar enkelt och slagkraftigt: *Rikta ljuset dit vi behöver det och släp inte bort det där vi inte har någon användning av det.* Ljussättning i staden är komplext och ett vägande av värderingar efter vad stadens beslutsfattare och invånare anses vara viktigt. Det artificiella ljuset och dess föroreningar är inte ett problem där det finns en enkel eller en rätt lösning. Det är en komplex fråga där flera perspektiv behöver undersökas för att belysa på bästa sätt. Att belysa med rätt mängd ljus, vid rätt tid och på rätt plats är ett bra grunddirektiv tillsammans med Gastons riktlinjer, men det leder till vidare frågor och ställningstagande. För det artificiella ljuset är dels teknologiskt med allt vad det innebär, val av ljuskälla, ljusflöde och så vidare. Det är också en del i hur en plats upplevs oavsett om det är solen eller en lampa i natten som lyser. Denna upplevelse under dygnets mörka timmar innefattar även samspelet mellan de olika ljuskällorna i området. Det handlar därför dels om att tänka varje ljuskälla för sig, men också helheten av alla ljuskällor på platsen.

Landskapsarkitektur kan ses som ett verktyg för att skapa hållbara städer och att föra in ekosystemtjänster i staden. I nya urbana projekt är det vanligt med en målsättning att främja fler gröna värden för att skapa en mer hållbar och välmående stad. Att förstå hur olika organismer fungerar tillsammans med det artificiella ljuset och när den negativa

påverkan är som mest kritisk är viktigt för att lyckas uppnå de önskade funktionerna i en gestaltning där exempelvis pollinatörer ska främjas. För när vi belyser påverkar vi allt kring ljuskällan, men ljuskällan lockar även till sig organismer.

I alla negativa effekter av ljuset som behandlats i detta arbete är det dock viktigt att komma ihåg att ljus är något som är nödvändigt för överblick och trafiksäkerhet. Det artificiella ljuset är också något som fascinerar och ger ett spännande inslag i den nattliga stadsbilden. Under mörka tider kan en ljusinstallation skänka ett stort estetiskt värde till stadens invånare. Att arbeta mot ljusföroreningar kan inte innebära att det artificiella ljuset försvinner från staden. Dock är det viktigt att överväga det artificiella ljusets påverkan för att fungera både för människan och miljön när staden belyses.

Ljusföroreningars enklaste lösning är att inte belysa alls. Det är väldigt simpelt i teorin, men svårt för att inte säga omöjligt i praktiken. Landskapsarkitektur ligger på ett sätt i periferin i arbetet mot ljusföroreningar samtidigt som det är genom landskapsarkitektur städer skapas. Dessa urbana platser kräver det artificiella ljuset och därför viktigt att som landskapsarkitekt vara medveten om de konsekvenser detta verktyg kan innebära för att på bästa sätt gestalta spännande och hållbara platser i staden. Den stora skillnaden mellan de här grupperna är att människan har skapat staden och utformat belysningen efter hennes behov. Övriga organismer har antingen behövts anpassa sig eller tvingats bort på grund av hur den artificiella belysningen utformats i staden.

Avslutning

Landskapsarkitekter och urbana planerare har en drivande och viktig roll i att planera och gestalta en stad som är hållbar där de sociala, ekonomiska och ekologiska värderingarna är vägledande i arbetet. Denna planering och gestaltning innefattar även planering för staden under dygnets mörka timmar. Den artificiella belysningen har varit en naturlig del av staden i över hundra år och är idag en förutsättning för den urbana livsstilen. Det som drivit teknologin framåt är i första hand en strävan efter energieffektivitet. Framstegen inom belysning har resulterat i minskad ekonomisk kostnad för privatpersoner, kommuner och företag, även miljön har besparats genom den minskade energiförbrukningen.

Tidigare var det enkelt att motivera en måttlig belysning eftersom det var dyrt att belysa, men i och med LED och dess energieffektivitet har frågan om belysning blivit en mindre ekonomiskt laddad fråga och en mer ekologisk och social. Till naturen är jordens organismer inklusive oss, inte skapta för det upplysta nattlandskapet. Genom att skapa städer som aldrig sover får vi människor vars dygnsrytm rubbas. Denna rubbning kan i sin tur härledas till flera av de hälsoproblem vi ser i dagens samhälle. Vi har skapat ett nattlandskap för människan men som i vissa aspekter är dåligt för oss och övriga organismer på jorden.

Upphandling och projekterings-skedet i ett projekt kan fungera som ett verktyg i att minimera mängden ljusföroreningar. Genom att som beställare önska en funktion av en plats snarare än en teknologi, gör det möjligt för leverantören att skapa lösningar för att belysa platsen bättre med de senaste rönen från forskning och belysningsbranschen.

Det är tydligt att olika intressenter har olika tankar och värderingar om belysning och vad målet med att belysa är. Därför leder den offentliga belysningen till svåra ställningstaganden, där ett ifrågasättande gentemot ljusets egenvärde blir allt viktigare. För att befolkningen ska acceptera en mörkare stad har spridning av kunskap om det artificiella ljusets negativa konsekvenser visat sig mest framgångsrikt. Att se till det ekonomiska värdet av ljusföroreningars konsekvenser skulle även kunna ge tyngre argument för att belysa mindre.

Denna uppsats har visat på flera av de biologiska system och processer som det artificiella ljuset påverkar och även visat på de orosmoln som finns angående ljusföroreningar i

framtiden. Den mest effektiva åtgärden för att minska ljusföroreningarna är att släcka ljuset. Detta är inte en funktionell lösning i den urbana kontexten där det artificiella ljuset är en nödvändighet utan belysningen av framtidens stad kommer bygga på en kompromiss av de olika intressen i staden samt att normen att belysa efter enbart människans behov ifrågasätts.

Vidare forskning

Inom landskapsarkitekturen krävs forskning där upplevelse-aspekten och den ekologiska påverkan av det artificiella ljuset vävs samman.

Källförteckning

- Allers Familj-Journals 63:dje handbok (1930). *Ljus: ljuset och dess problem : där oändligheten och vardagen mötas*. Hälsingborg:
- Arendt, J. (1998) Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reviews of Reproduction*, 3, ss. 13–22. Doi: 10.1530/ror.0.0030013 ·
- Beier, P. (2006). Effects of Artificial Night Lighting on Terrestrial Mammals. I Rich, Catherine & Longcore, Travis (red.) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington: Island Press, ss. 19-42.
- Belysningsbranschen (2012). *Allt ljus på utomhusbelysning* (Broschyr 2012:2). Stockholm: Belysningsbranschen. http://belysningsbranschen.se/files/2012/06/Allt_ljus_DR_2.pdf [11-05-18]
- Belysningsbranschen (2015). LED ett genombrott för energieffektiv belysning, 1 mars. <http://belysningsbranschen.se/pressrum/pressmeddelanden/led-ett-genombrott-for-energieffektiv-belysning/>
- Bittel, J. (2017). Nocturnal pollinators go dark under street lamps. *Nature news*, 2 augusti. <https://www.nature.com/news/nocturnal-pollinators-go-dark-under-street-lamps-1.22395>
- Björn, L.O. (u. å.). Fotosyntes. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Bokharaei, S. & Nasar, J. (2017) Lighting modes and their effects on impressions of public squares. *Journal of Environmental Psychology*, 49, ss. 96-105. Doi:10.1016/j.jenvp.2016.12.007
- Bruce-White, C. & Shardlow, M. (2011). A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates. *Buglife – The Invertebrate Conservation Trust*. (12 mars). https://www.buglife.org.uk/sites/default/files/A%20Review%20of%20the%20Impact%20of%20Artificial%20Light%20on%20Invertebrates%20docx_0.pdf
- Chaney, W. R (2002). Does Night Lighting Harm Trees? [Faktablad], Forestry and Natural Resources. Indiana, US: Purdue University.
- Cruse-Sondén, G. & Olsson, S. (u. å.). Trygghet och öppenhet. <http://stadsutveckling.socialhallbarhet.se/trygghet-och-oppenhet/> [2018-05-15]
- Davies, T. W., Bennie, J., Cruse, D., Blumgart, D., Inger, R & Gaston, K. J. (2017). Multiple night-time light-emitting diode lighting strategies impact grassland invertebrate assemblages. *Global Change Biology*, 23, ss. 2641–2648. Doi: 10.1111/gcb.13615
- Da Silva, A., de Jong, M., van Grunsven, R. H. A., Marcel Visser, M.E. & Kempenaers, B. & Spoelstra, K. (2016). Experimental illumination of a forest: no effects of light of different colors on the onset of the dawn chorus in songbirds. *Royal Society Open Science*, 4(60638), Doi: 10.1098/rsos.
- Deak Sjöman, J., Sjöman, H. & Johansson, E. (2015). Staden som växtplats. Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.) (2015). *Träd i urbana landskap*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur, ss. 291-298
- Drachenberg, E., Mihailova, D. & Nandamuri, S.S. (2016). Digging for Truth, Raw Material Extraction and Future Potential for LEDs. I *Circle of light: the impact of the LED lifecycle*. Lund: IIIIEE, Lund University, ss. 12-20.
- Eisenbeis, G. (2006). Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. Rich, C. & Longcore, T. (red.) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington: Island Press, ss. 19-42.

- Energimyndigheten. (2018). *Ekodesigndirektivet*. <http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/lag-och-ratt/ekodesign1/> [2018-04-15]
- Farrington, D. P. & Welsh, B. C. (2007). *Förbättrad utomhusbelysning och brottsprevention [Elektronisk resurs] : en systematisk forskningsgenomgång* (Rapport 2007:28). Stockholm: Brottsförebyggande rådet. https://www.bra.se/download/18.cba82f7130f475a2f180006312/1371914721870/2008_forbattrad_belysning_och_brottsprevention.pdf
- Fors, C. (2014). *Vägbelysningshandboken*. Borlänge: Trafikverket. https://www.trafikverket.se/contentassets/18ab6d1957f04fa49039b11998c7c016/handbok_vagbelysning_ver_14_140625.pdf [2018-05-08]*
- Foster, R. & Kreitzman, L. (2004). *Rhythms of life: the biological clocks that control daily lives of every living thing*. London: Profile
- Frank, J. & Hellman, M. (2017). *Belysning där det behövs: belysning längs statlig väg*. [Stockholm]: [Sveriges kommuner och landsting]
- Ganguly, M. (2017). Loss of the night: Light pollution rising rapidly on a global scale. CNN, 25 november. <https://edition.cnn.com/2017/11/23/health/light-pollution-increase-study/index.html> [2018-04-25]
- Gaston, K. J., Davies, T. W., Bennie, J. & Hopkins, J. (2012). Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology*, 49, ss. 1256–1266. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x
- GE. (u. å.). *Understanding the Rare Earth Materials Crisis*. http://www.fsgi.com/images/Igttoolbox/Fluorescent_Lamp_Volatility/GE_RareEarthPaper_7.20.11.pdf [2018-05-02]
- Gill, V. (2017). Light pollution: Night being lost in many countries. BBC News, 22 november. <http://www.bbc.com/news/science-environment-42059551> [2018-04-25]
- Golev, A., Scott, M., Erskine, P. D., Ali, S. H. & Ballantyne, G. R. (2014). Rare earths supply chains: Current status, constraints and opportunities. *Resources Policy*, 41, ss. 52–59. [Elektronisk resurs hämtad från Elsevier.] Doi: 10.1016/j.resourpol.2014.03.004
- Hasenöhr, U. (2015). Lighting Conflicts From a Historical Perspective. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 105-124.
- Hölker, F., Wolter, W., Perkin, E. K. & Tockner, K. (2010). Light Pollution as a Biodiversity Threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(12), ss. 681–682. Doi: 10.1016/j.tree.2010.09.007
- IDA (2012). *Fighting light pollution: smart lighting solutions for individuals and communities*. 1. ed. (2012). Mechanicsburg, PA: Stackpole Books
- Johnsson, A. (u. å. a). Fotoperiodism. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Johnsson, A. (u. å. b). Fototropism. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Jägerbrand, A. K. (2015) New Framework of Sustainable Indicators for Outdoor LED (Light Emitting Diodes) Lighting and SSL (Solid State Lighting), *Sustainability* 2015, 7, ss. 1028-1063; Doi: 10.3390/su7011028
- Karolinska Institutet (2018). Photoperiod. <https://mesh.kib.ki.se/term/D017440/photoperiod> [2018-04-05]
- Keane, Å., Stenkula, U., Wijkmark, J., Johansson, E., Philipson, K & Hård af Segerstad, L. (2014) Ekosystemtjänster i stadsplanering - En vägledning. % city [www.stockholm.se/Reports/Ekosystemtjänster i stadsplanering - en vägledning.pdf](http://www.stockholm.se/Reports/Ekosystemtjanster_i_stadsplanering_-_en_vagledning.pdf) [2018-04-23]

- Kempenaers B., Borgström P., Loës P., Schlicht E., & Valcu M. (2010). Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. *Current Biology*, 20(19), ss. 1735-1739. Doi: 10.1016/j.cub.2010.08.028
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M. & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7665), ss. 206-209. Doi: 10.1038/nature23288
- Krause, K. (2015). Regulating Urban Lighting: Prospects for Institutional Change. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 125-140.
- Kyba C. M. et al. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3 (11). ss. 38-47 Doi: 10.1126/sciadv.1701528
- Kyba, C. M., Ruhtz, T., Fischer, J. & Hölker, F. (2011). Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLoS ONE* 6(3). Doi: 10.1371/journal.pone.0017307
- Köhler, D. (2015). The lighting Master Plan as an instrument for Municipalities? A critical Assessment of Possibilities and Limitations. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 141-158.
- Lekan, M. & Tzeng, R. V. (2016). Lighting the Paths for Eco- Design, Life Cycle Assessment of Light Sources. I *Circle of light: the impact of the LED lifecycle*. Lund: IIIIEE, Lund University, ss. 4-11.
- Longcore, T., Aldern, H.L., Eggers, J.F., Flores, S., Franco, L., Hirshfield-Yamanishi, E., Petrinec, L.N., Yan, W.A. & Barroso, A.M. 2015 Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370, 20140125, ss. 1-10. Doi: / 10.1098/rstb.2014.0125
- Longcore, T. & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), ss. 191-198. Doi: / 10.1890/1540-9295(2004)002%5B0191:ELP%5D2.0.CO;2
- Lundquist, A. & Skogh, L. (u. å.). Cirkadiansk rytm. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Malmquist, J. (u. å.). Melatonin. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- McFadden, E., Jones, M. E., Schoemaker, M. J., Ashworth, A., & Swerdlow, A.J. (2014) The Relationship Between Obesity and Exposure to Light at Night: Cross-Sectional Analyses of Over 100,000 Women in the Breakthrough Generations Study. *American Journal of Epidemiology*, 180, (3) Doi: 10.1093/aje/kwu117
- Meier, J. (2015). Designating Dark Sky Areas: Actors and Interests. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 177-196.
- Miljö- & energidepartementet (2013). *En svensk strategi för biologisk mångfald och ekosystemtjänster* (Regeringens proposition 2013/14:141). Stockholm: Regeringskansliet. <http://www.regeringen.se/49bb9c/contentassets/d11a7625086a4c3cb09fcf6322687aba/en-svensk-strategi-for-biologisk-mangfald-och-ekosystemtjanster-prop-201314141>
- Modig, A. (2018). Utan mörker inget ljus. *Ljuskultur*, (2), <https://ljuskultur.se/artiklar/utan-morker-inget-ljus/> [11-05-18]
- Morgan-Taylor, M. (2015). Regulating Light Pollution in Europe: Legal Challenges and Ways forward. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 159-176.

- Moström, J. (2013). Världens städer växer allt snabbare. *SCB*, 10 oktober. https://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Artiklar/Varldens-stader-vaxer-allt-snabbare/ [11-05-20]
- Kwak, M. J. et al. (2018). Night Light-Adaptation Strategies for Photosynthetic Apparatus in Yellow-Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) Exposed to Artificial Night Lighting. *Forests*, 9(2). Doi:10.3390/f9020074
- Nationalencyklopedin. (u. å. a). Ljusprogram. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-04-23]
- Nationalencyklopedin. (u. å. b). Ljusförening. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-14]
- Nationalencyklopedin. (u. å. c). Organism. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Nationalencyklopedin. (u. å. d). Fotoreceptor. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Nationalencyklopedin. (u. å. e). Habitus. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Nationalencyklopedin. (u. å. f). Habitat. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Nationalencyklopedin. (u. å. g). Ekosystemtjänster. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Nationalencyklopedin. (u. å. h). Populationsdynamik. I Nationalencyklopedin. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-22]
- Naturmorgon* (2017). Mön är Nordens första internationella mörkerpark. [radioprogram]. Sveriges Radio, P1, 30 december. <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=1027&artikel=6850534>
- Naturvårdsverket (2017). *Ekosystemtjänster internationellt*. <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallat/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Konventionen-om-mangfald/Ekosystemtjanster/> [2018-05-08]
- Nordling, C. (u.å.). Ljus. I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2018-05-02]
- Ouyang, J. Davies, S. & Dominoni, D. (2018). Hormonally mediated effects of artificial light at night on behavior and fitness: linking endocrine mechanisms with function. *Journal of Experimental Biology*, 221, Doi: 10.1242/jeb.156893.
- Pottharst, M. & Wukovitsch, F. (2015). The Economics of Night-Time Illumination. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 203-223.
- Reddy, A.R. & Raghavendra, A.S. (2006). Photooxidative Stress. Madhava Rao, K.V., Janardhan Reddy, K. & Raghavendra, A.S. (red.) *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants* [elektronisk resurs]. Dordrecht: Springer
- Romare, P. (2014). Alla bin behövs - även våra vildbin. *Fokus Forskning*, 16 oktober. <https://www.fokusforskning.lu.se/2014/10/16/alla-bin-behovs-aven-vara-vildbin/> [2018-05-02]

Rose, J. (2014). *Blå lysdioder – en uppfinning som sprider nytt ljus över världen*. Stockholm: Nobelkommittén för fysik. https://6702d.https.cdn.softlayer.net/assets/globalassets-priser-nobel-2014-fysik-pop_fy_sv_14.pdf [2018-05-07]

Sánchez de Miguel, A., Aubé, M., Zamorano, J., Kocifaj, M., Roby, J. & Tapia, C. (2017) Sky Quality Meter measurements in a colour changing world, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467, (3), ss. 2966–2979, Doi: /10.1093/mnras/stx145

SLU. (2018). *Landskapsarkitekt - Alnarp* <https://www.slu.se/utbildning/program-kurser/program-pa-grundniva/landskapsarkitekt-alnarp/> [11-05-18]

Spoelstra, K., van Grunsven, R.H.A., Donners, M., Gienapp, P., Huigens, M.E., Slaterus, R., Berendse, F., Visser, M.E., Veenendaal, E. (2015) Experimental illumination of natural habitat—an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. *Philosophical Transaction B. Royal Society* 370: 20140129. Doi: 10.1098/rstb.2014.0129 [Publicerad 2015-03-16]Ljusets påverkan på människan

Sutherland, W. J. et. al. (2009). A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(1), ss. 1-7. Doi:10.1016/j.tree.2009.10.003

Sæbø, A., Benedikz, T. & Randrup, T.B. (2003) Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. *Urban Forestry & Urban Greening* 2(2), 101-114. Doi: /10.1078/1618-8667-00027

Thorén, Ingvar (red.) (2000). *Kunskapsträdet. Fysik*. Solna: Ekelund

Upphandlingsmyndigheten (2017). *Upphandling av hållbar utomhusbelysning* (Vägledning 2017:3). Solna: Upphandlingsmyndigheten. https://www.upphandlingsmyndigheten.se/globalassets/publikationer/vagledningar/uhm_vagledning_utomhusbelysning_ensidig.pdf [11-05-18]

Willis, K. (2015). Improved Visibility of the Night Sky: An Economic Analysis. I Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K. & Pottharst, M. (red.) (2015). *Urban lighting, light pollution, and society*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, ss. 203-223. improved viability of the night sky

