

# Ljusföroreningars inverkan på den stora lysmasken, *Lampyris noctiluca*



Christina Elgert

Pro gradu-avhandling

Ekologi och evolutionsbiologi

Biovetenskapliga institutionen

April 2018



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- och miljövetenskapliga fakulteten		Laitos – Institution– Department Biovetenskapliga institutionen	
Tekijä – Författare – Author Christina Elgert			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Ljusföroreningars inverkan på den stora lysmasken, <i>Lampyrus noctiluca</i>			
Oppiaine – Läroämne – Subject Ekologi och evolutionsbiologi			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu-avhandling		Aika – Datum – Month and year 24.4.2018	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 46
Tiivistelmä – Referat – Abstract I takt med att den globala urbaniseringen fortskrider, påverkas och förändras allt fler av världens livsmiljöer av mänsklig aktivitet, och olika slags antropogena störningar blir allt vanligare. Till dessa hör bl.a. sådana välkända fenomen som oljud och utsläpp, men också de mer diffusa ljusföroreningarna. Dessa störningar och miljöförändringar ställer nya krav på organismerna, och kan påverka det adaptiva värdet på olika livshistorie-egenskaper bundna till överlevnad, tillväxt samt reproduktion, vilka reglerar organismernas fitness. Effekterna av miljöförändringarna kan variera stort från individ till individ, och kan inverka både positivt, negativt eller neutralt på individens fitness, beroende av dess förmåga att anpassa sig till de nya förhållandena. Även om de flesta organismer både utsatts för och anpassat sig till förändringar av olika slag under sin evolutionära historia, har de av människan förorsakade miljöförändringarna uppstått under en så evolutionärt kort tidsperiod, att anpassningen till dessa vanligen utgör en extra stor utmaning. Så är också de första responserna på antropogena förändringar vanliga plastiska och beteenderelaterade, som en följd av temporala och spatiala begränsningar.  Mängden ljusföroreningar, d.v.s. användandet av artificiella ljuskällor nattetid, ökar ständigt och artificiellt ljus förekommer både som direkt upplysning i form av bl.a. väg-, reklam- och fordonsbelysning, och som himlasken; ljus som sprids ut i atmosfären, upp till hundratals kilometer från källan. Livet på jorden har utvecklats under konstanta växlingar mellan ljus och mörker, och har anpassat sig till dessa då det bl.a. gäller biologiska rytmer och tidpunkten för aktivitet samt vila. Således kan den förlust av det naturliga mörkret ljusföroreningarna innebär medföra allvarliga konsekvenser.  Den stora lysmasken, <i>Lampyrus noctiluca</i> utnyttjar sig av bioluminescens för sin sexuella kommunikation. Då den stora lysmaskens honor lockar till sig flygande hanar genom att lysa, kan ljusföroreningar potentiellt ha en stor effekt på den sexuella signaleringen. En ökad ljusmängd kan dränka honornas naturliga ljussignaler under sig, och således försämra hanarnas chanser att upptäcka och urskilja de lysande honorna. Det är också möjligt att artificiellt ljus påverkar huruvida honorna alls lyser, och hur länge och var de väljer att lysa, eftersom honorna har förmågan att avläsa omgivningens ljusnivå och vanligen börjar lysa först då ljusnivåerna sjunkit tillräckligt. Då den vuxna lysmaskens livstid är mycket kort, honorna har en begränsad förmåga att förflytta sig och varje natt som förflyter utan parning utgör en risk, kunde artificiellt ljus ha en stor effekt på dessa insekters fitness.  Arbetets målsättningar var att reda ut, hur artificiellt ljus inverkar på attraktionen av hanar, hur honornas responser på artificiellt ljus ser ut samt hur dessa eventuella responser påverkar lysmaskarnas möjligheter till att finna en lämplig partner. Det artificiella ljusets inverkan på den stora lysmaskens sexuella signalering samt honans förmåga att attrahera hanar undersöktes med hjälp av ett fält- samt ett laboratorie-experiment. Artificiella ljuskällor samt fällor med gröna LED-lampor placerades ut i juni 2017 i omgivningen av Tvärminne zoologiska station och antalet gånger hanar fångades in i de upplysta vs. de kontrollfällor som befann sig i mörker undersöktes statistiskt med GLMM. Också vådrets inverkan på sannolikheten för att hanar fångas in undersöktes. Honor fångades in från fältet, och placerades i en arena med en vit LED-lampa i ena ändan. Honornas beteende samt rörelse undersöktes och analyserades med logistisk regression samt ANOVA i förhållande till de kontrollhonor som placerats i arenor där ljuskällan hölls avstängd.  Artificiellt ljus inverkar signifikant på ifall hanar fångas in eller ej, samt på andelen lysande honor och andelen honor som väljer att söka skydd. Även vådret påverkar hanarna. Både beteendet samt den sexuella signaleringen påverkas: hanarna har svårare att finna honor under artificiellt ljus, färre honor lyser, och honorna verkar inte heller förflytta sig till mörkare områden då de utsätts för artificiellt ljus. Andelen flygande hanar är högst då vådret är fördelaktigt. Då mängden ljusföroreningar ständigt ökar, lysmaskpopulationerna anses vara på tillbakagång, klimatförändringen medför mer instabilt väder och ljusföroreningarnas vidare följderna ännu är dåligt kända, är ytterligare forskning, utveckling av lagstiftningen samt upplysning av allmänheten av största vikt.  Allt större delar av jorden omfattas av mänsklig verksamhet, och dessa resultat stöder dem som fått från tidigare forskning, där antropogena störningar påvisats påverka beteendemönster och försvåra kommunikationen mellan organismer. Oberoende av om organismerna klarar av att anpassa sig till de antropogena störningar den mänskliga verksamheten ger upphov till eller ej, kommer dessa sannolikt att orsaka förändringar i både beteende och kommunikation hos ett flertal organismer. Då långtidseffekterna och de kombinerade effekterna av olika slags antropogena störningar tills vidare är dåligt kända, är ytterligare forskning av yttersta vikt.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Artificiellt ljus, antropogena miljöförändringar, Lampyridae, <i>Lampyrus noctiluca</i> , sexuell signalering, Tvärminne zoologiska station			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Ulrika Candolin			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helda (Helsingfors universitets öppna digitala arkiv)			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## Innehållsförteckning

1. Introduktion .....	1
1.2 Anpassningar till antropogena miljöförändringar.....	1
1.3 Ljusföroreningar och förlusten av den naturliga natten.....	4
1.4 Lysmaskar: familjen Lampyridae.....	5
1.4.1 Den stora lysmasken, Lampyris noctiluca .....	6
1.5 Lysmaskar och ljusföroreningar .....	8
1.6 Avhandlingens målsättningar samt forskningshypoteser .....	10
2. Metoder och material.....	12
2.1 Forskningsområdet samt experimentstationernas placering.....	12
2.2 Utredning av hur ljusföroreningar inverkar på honornas attraktivitet .....	13
2.3 Utredning av honornas responser till ljusföroreningar .....	18
2.4 Statistiska metoder.....	19
2.4.1 Inverkan av artificiellt ljus på honornas attraktivitet .....	19
2.4.2 Honans ljusstyrkas inverkan på förmågan att attrahera hanar .....	20
2.4.3 Vädrets inverkan på mängden infångade hanar.....	21
2.4.4 Inverkan av artificiellt ljus på honornas beteende .....	21
3. Resultat .....	22
3.1 Inverkan av artificiellt ljus på honornas förmåga att attrahera hanar .....	22
3.2 Honans ljusstyrkas effekt på förmågan att attrahera hanar.....	24
3.3 Väderlekens inverkan på sannolikheten för att hanarna flyger.....	25
3.4 Inverkan av artificiellt ljus på sannolikheten för att honorna lyser .....	26
3.5 Inverkan av artificiellt ljus på sannolikheten för att honorna söker skydd .....	27
3.6 Inverkan av ljus på honans val av position.....	28
4. Diskussion .....	29
4.1 Artificiellt ljus försämrar chanserna för att hanarna ska upptäcka honorna .....	29
4.2 Dåligt väder missgynnar lysmaskhanarna .....	32
4.3 Artificiellt ljus får lysmaskhonorna att gömma sig och lysa mindre, men inte att röra sig bortåt.....	33
4.4 Antropogen verksamhet som påverkare av attraktion och kommunikation .....	35
4.5 Antropogen verksamhet som drivare av maladaptiva beteenden .....	36
4.6 Vad kan göras? .....	38
5. Slutsatser.....	39
6. Tack.....	40
7. Litteratur .....	41

## **1. Introduktion**

### **1.1 En värld i förändring**

I takt med att den globala urbaniseringen fortskrider, påverkas och förändras allt fler av världens livsmiljöer av mänsklig aktivitet, såsom urbanisering och skogsskövling, och olika slags antropogena störningar blir allt vanligare (Dominoni m.fl. 2013; Renthlei m.fl. 2017). Dessa störningar och miljöförändringar ställer i sin tur nya krav på organismerna, och kan bland annat påverka det adaptiva värdet på olika livshistoriaegenskaper ("*life history traits*") som är bundna till överlevnad, tillväxt samt reproduktion, och reglerar organismernas fitness (Stearns 1976; Tuomainen & Candolin 2011).

Effekterna av de antropogena miljöförändringarna kan dock variera stort från individ till individ, beroende på bland annat temperament och personlighet, och kan inverka både positivt, negativt eller neutralt på individens fitness, beroende på dess förmåga att anpassa sig till de nya förhållandena (Sih m.fl. 2011; Tuomainen & Candolin 2011). Även om de flesta organismer både har utsatts för, och också anpassat sig till, förändringar av olika slag under sin evolutionära historia, har de av människan förorsakade miljöförändringarna uppstått under en evolutionärt väldigt kort tidsperiod, vilket innebär att anpassningen till dessa utgör en extra stor utmaning för många arter (Chevin m.fl. 2010; Wong & Candolin 2015).

### **1.2 Anpassningar till antropogena miljöförändringar**

Organismerna kan anpassa sig till förändringar i miljön både genom dispersion, fenotypisk plasticitet, det vill säga genotypens förmåga att producera olika fenotyper under olika förhållanden, och genetisk adaptation (Chevin m.fl. 2010; Sih m.fl. 2011; Wong & Candolin 2015). De plastiska responserna är beroende av tidigare utvecklade reaktionsnormer, medan genetisk adaptation i sin tur inte kan ske utan genetisk variation, kombinerat med tid (Botero m.fl. 2015; Wong & Candolin 2015). Dessutom kan även de miljöförhållanden som föräldrarna utsatts för under sin livstid påverka avkommans egenskaper, via bland annat paternala och maternala effekter, det vill säga, transgenerationella och epigenetiska anpassningar (Auge m.fl. 2017). Då det gäller antropogena miljöförändringar, spelar speciellt de plastiska responserna en stor roll, då möjligheterna till dispersion och genetisk adaptation ofta är begränsade, som en följd av spatiala och temporala begränsningar. Dessa begränsningar uttrycker sig bland annat som fysiska hinder, såsom fragmenterade habitat, som förhindrar organismerna från att förflytta sig, samt som den snabba takt den antropogena verksamheten förändrar levnadsmiljöerna med, vilken begränsar den tid organismerna har på sig för att anpassa sig (Chevin m.fl. 2010; Tuomainen & Candolin 2011; Wong & Candolin 2015; Auge m.fl. 2017).

De första responserna på antropogena förändringar av olika slag är ofta plastiska och beteenderelaterade ("behavioral"), och kan bland annat ta sig uttryck som förändringar i habitatval, furagering, dispersion, socialt och sexuellt beteende (Pigliucci 2001; Ghalambor m.fl. 2007). Dessa kan i sin tur leda till förändringar i både populationsdynamiken, interaktionerna mellan arter och de evolutionära processerna (Tuomainen & Candolin 2011; Wong & Candolin 2015). Ifall dessa responser är adaptiva eller ej, beror i hög grad på organismens evolutionära historia, via dess effekt på nuvarande egenskaper samt den genetiska variationen, och på om tidigare behövda egenskaper matchar de egenskaper som krävs då förhållandena ändrats (Pigliucci 2001; Ghalambor m.fl. 2007; Sih m.fl. 2011; Tuomainen & Candolin 2011). Dessa responser kan komma till nytta, ifall de ökar individens sannolikhet för att överleva och föröka sig under de förändrade förhållandena i förhållande till individer som inte uppvisar dylika responser. Om de beteende-relaterade responserna ökar individens fitness, kan de också ge en extra tidsfrist för att evolutionära anpassningar skall hinna uppstå (Wong & Candolin 2015). Till exempel har många djur bland annat förändrat sitt furageringsbeteende för att kunna dra nytta av nya födokällor, såsom avfall, och för att undvika människor och fordon (McKinney 2002; Sih m.fl. 2011; Wong & Candolin 2015). Vissa djur, såsom många fåglar, har även förändrat sina dispersionsmönster samt kommunikations- och sångbeteenden för att undvika de mest bullriga områdena och tidsperioderna (McClure m.fl. 2013; Dorado-Correa m.fl. 2016). Som en följd av detta finns det redan många arter, som frodas i våra urbana miljöer (McKinney 2002; Sih m.fl. 2011). Responserna (eller avsaknaden av responser) kan dock också vara maladaptiva, försämra individernas fitness och i värsta fall leda till populationens utdöende ifall mortaliteten förhöjs (Sih m.fl. 2011; Tuomainen & Candolin 2011).

Riskerna för att de beteenderelaterade responserna ska vara maladaptiva är speciellt stora då organismerna utsätts för förhållanden de inte tidigare upplevt under sin evolutionära historia (Chevin m.fl. 2010). Vanligen uppkommer maladaptiva responser då nya maladaptiva beteenden uppstår som en följd av antropogena förändringar, eller genom att tidigare adaptiva beteenden bibehålls, även om de under de nya förhållandena är maladaptiva (Tuomainen & Candolin 2011). Till exempel blir många djur mera vaksamma och stressade i närvaron av mänsklig aktivitet, vilket kan leda till att de lättare överger sina byten och bon ifall de blir störda (Green & Giese 2004). Detta kan medföra negativa fitness effekter, ifall de antropogena störningarna, till exempel närvaron av turister eller oljud, inte i verkligheten utgör något större hot (Tuomainen & Candolin 2011). Ett exempel på det senare, där organismerna fortsätter bete sig som tidigare, är att många akvatiska insekter, som vanligen förlitar sig

på polariserat ljus för att identifiera gynnsamma vattenkällor för sin äggläggning, förvirras av artificiella strukturer, såsom asfaltytor och bilar som reflekterar ljus på samma sätt som vatten. Som en följd av detta lockas de till att lägga sina ägg på dessa ytor, som dock inte lämpar sig för ändamålet (Kriska m.fl. 2006). Antropogena förändringar kan således skapa ekologiska och evolutionära fällor, genom att förvränga sådana signaler ("cues"), som tidigare ansetts pålitliga kvalitetsindikatorer, och få organismerna att göra val som inte maximerar deras fitness (Schlaepfer m.fl. 2002).

Evolutionär anpassning framträder oftast under ett senare skede av anpassningen till antropogena förändringar än de beteenderelaterade responserna, då det vanligen krävs mera tid för att genetiska förändringar skall hinna uppstå (Wong & Candolin 2015). Då antropogena förändringar, såsom habitatfragmentering, dessutom har en tendens att ske mycket snabbt, reducera mängden genetisk variation och öka den genetiska driftens inverkan, kan genetisk anpassning till antropogena förändringar vara mycket krävande för organismerna (Chevin m.fl. 2010; Tuomainen & Candolin 2011). Krävande innebär dock inte omöjligt. Ett välkänt exempel på evolutionär anpassning är industrimelanism ("industrial melanism"), ett fenomen där mörka fenotyper blir allt vanligare som en följd av ett förändrat selektionstryck orsakat av luftburna industriföroreningar, vilka sotar ner och förmörkar omgivningen, och gör ljusa individer lättare att upptäcka (Brakefield 1987).

Industrimelanism förekommer hos många arter, bland annat hos björkmätaren (*Biston betularia*), som utgör ett av de mest kända exemplen, och hos var den mörka formen sannolikt uppstått som en följd av en enda mutation (Van't Hof m.fl. 2011).

Om en organism skall lyckas anpassa sig till olika miljöförändringar, beror detta således på kombinationen av ett flertal olika faktorer, såsom dess fenotypiska plasticitet, sensoriska och kognitiva ekologi, evolutionära historia samt populationens storlek och genetiska variation. Dessutom inverkar även den grad, till vilken de av miljöförändringar rubbade signalerna påminner om, och påverkar, de naturliga signaler och signal-responsmönster organismerna normalt utnyttjar, på organismens förmåga att reagera korrekt på de förändrade förhållandena (Sih m.fl. 2011; Tuomainen & Candolin 2011).

### 1.3 Ljutföroreningar och förlusten av den naturliga natten

Allt större områden påverkas idag av mänsklig verksamhet, vilket orsakar antropogena störningar av olika slag. Till dessa hör bland annat sådana välkända störningar som oljud och utsläpp, men också ljutföroreningar (Dominoni m.fl. 2013).

Mängden ljutföroreningar, det vill säga användandet av artificiella ljuskällor nattetid, ökar ständigt (Dominoni m.fl. 2013), och en allt större del av jordklotet lysas nuförtiden upp nattetid. Artificiellt ljus förekommer både som direkt upplysning i form av bland annat gatu-, väg-, reklam- och fordonsbelysning, och som himlasken ("skyglow") i form av ljus som sprids ut i atmosfären, upp till hundratals kilometer från källan (Bennie m.fl. 2015). De artificiella ljuskällorna har också vanligen betydligt högre ljusintensiteter än vad de flesta naturliga nattliga ljuskällor har (Gaston m.fl. 2015), då fullt månsken en klar natt bara uppgår till ett sken på 0.1 – 0.3 lux, medan normal vägbelysning vanligen ligger mellan 10 och 60 lux (Gaston m.fl. 2012). Under klara och månlösa nätter beräknas urbana områden vara 14 – 23 gånger så ljusa som sina rurala motparter (Bará 2016).

Eftersom livet har utvecklats under de naturliga, periodiska växlingar i ljusmängd som beror av både tidpunkten på dygnet, månens faser samt årstiden, har många evolutionära adaptationer för att kunna förutspå dessa variationer, och för att kunna utnyttja dem, uppstått (Gaston m.fl. 2015; Bará 2016). Många av jordens arter är skymnings- eller nattaktiva, och vissa är helt beroende av nattens mörker för sin överlevnad. Också många dagsaktiva arter drar nytta av det naturliga mörkret, och utnyttjar det bland annat för sin vila och återhämtning (Lyytimäki 2014). Som en följd av ljutföroreningar riskerar vi dock att förlora den naturliga natten, vilket medför allvarliga konsekvenser speciellt för dessa arter (Bará 2016). De facto har effekter av ljutföroreningar redan påvisats för många växter, evertebrater, fiskar, amfibier, reptiler, fåglar och däggdjur (Sih m.fl. 2011; Bennie m.fl. 2015; Gaston m.fl. 2015). Nattligt, artificiellt ljus förändrar nämligen den naturliga ljus/mörker-cykeln och den nattliga miljön, både då det gäller ljusets tidpunkt, spektrum och distribution (Gaston m.fl. 2015; Bará 2016). Nattlig belysning stör också många biologiska processer relaterade till dygns- och årsrytmer, både på individ-, art- och populationsnivå, och sannolikt också på ekosystemnivå (Bará 2016; Dominoni m.fl. 2013; Raap m.fl. 2015). Dessutom kan ljutföroreningar även orsaka ekologiska fällor (Schlaepfer m.fl. 2002) genom att påverka den sensoriska ekologin på så sätt, att tidigare pålitliga signaler förvrängs av det artificiella ljuset (Sih m.fl. 2011; Gaston m.fl. 2015). Ett beteende som tidigare varit adaptivt, kan således plötsligt bli maladaptivt; som en följd av artificiellt ljus lockas till exempel de akvatiska

insekter som nämndes i föregående avsnitt till att lägga sina ägg på olämpliga ytor, och många havsfåglar och nykläckta havssköldpaddor, som normalt navigerar med hjälp av stjärn- och månljus, navigerar fel på grund av förvirrande ljus från bland annat oljeriggar och städer (Tuomainen & Candolin 2011; Wong & Candolin 2015; Rodríguez m.fl. 2017; Silva m.fl. 2017).

Även om både intresset, och oron, gällande artificiellt ljus ökat markant under de senaste åren, är konsekvenserna på populations- och ekosystemnivå, då det gäller bl.a. tillväxt, distribution samt organismernas förmåga att anpassa sig och adaptera till ljusföroreningar, ännu dåligt kända (Bennie m.fl. 2015; Raap m.fl. 2015; Spoelstra m.fl. 2015). Då det globalt sett redan finns hundratals miljoner gatlampor, antalet ständigt växer och inga internationella avtal kring ljusföroreningar ännu existerar (Lyytimäki 2014), är vidare forskning i fenomenet således av yttersta vikt.

#### **1.4 Lysmaskar: familjen Lampyridae**

Lysmaskarna är, trots sitt något vilseledande namn, skalbaggar tillhörande familjen Lampyridae (lysmaskar, fireflies, kiiltomadot). Namnet lysmaskar, som på svenska används både för många av arterna, men också för familjen Lampyridae, väcker ibland förvirring, då familjen på engelska kallas ”*fireflies*”, alltså eldflugor, medan det svenska ordet eldfluga hänvisar till en helt annan grupp av insekter (Kaaro 2008; Lewis 2016).

Speciellt utmärkande för medlemmarna av familjen Lampyridae är produktionen och utnyttjandet av bioluminescens, det vill säga biologiskt producerat ljus, för att locka till sig en partner; en egenskap som lysmaskarna också namngetts efter (Kaaro 2008; Lewis 2016). Alla nu levande arter som ingår i familjen liknar också till viss grad varandra till det yttre, och härstammar med hög sannolikhet genetiskt från en och samma förfader, som levde för ca 150 miljoner år sedan (Lewis 2016; Martin m.fl. 2017).

Ungefär 25 % av alla medlemmar i familjen Lampyridae är *lysmaskar* i den bemärkning, att dessa arter uppvisar larvlika (därav namnet *lysmask*, ”*glow-worm*”), vinglösa honor som ansvarar för lysandet, medan de flygande hanarna oftast helt saknar förmågan att producera ljus. Den flesta av de övriga arterna i familjen Lampyridae är däremot sådana, att också hanarna lyser (eller blinkar), och hos vissa arter har även honorna vingar (”*lightningbug fireflies*”). Dessutom finns också arter, som är helt mörka och istället flyger om dagen (Lewis 2016). Sammanlagt beräknas familjen Lampyridae innehålla ca 2000 nulevande lysmaskarter, och allra flest arter återfinns idag i tropikerna; i Brasilien lever till exempel 350 olika arter av lysmaskar (Lewis 2016). I Finland lever dock enbart två arter: den stora



lysmasken, *Lampyrus noctiluca*, vilken detta arbete fokuserar på, och den lilla lysmasken *Phosphaenus hemipterus*, som är betydligt sällsyntare (Kaaro 2008). För tydlighetens skull kommer ordet ”lysmask” från och med denna punkt att avse den stora lysmasken (*L. noctiluca*), om inte annat anges.

#### **1.4.1 Den stora lysmasken, *Lampyrus noctiluca***

Den stora lysmasken hör till de bäst kända lysmaskarterna med vinglösa, lysande honor, och arten förekommer över hela Europa från Portugal till Skandinavien, samt över stora delar av Ryssland och Kina (Lewis 2016). Bäst trivs lysmaskarna i områden med lågvuxen vegetation, såsom gräsområden, väg- och skogskanter (Lewis 2016; Ineichen & Rüttimann 2012).

Även om den vuxna lysmaskhonan är lättast att upptäcka, i och med det kännpaka gröna ljuset, spenderar lysmaskarna de facto den allra största delen av sina liv som larver; i de nordliga områdena beräknas detta livsstadium ta mellan ett och tre år, medan de vuxna lysmaskarna vanligen lever i bara några veckor (Hopkins m.fl. 2015; Lewis 2016). Larverna, med sina två rader ljus gulorange fläckar, kan i skymningen ofta ses i trädgårdar och vid vägrenar, där de letar efter föda, främst sniglar och snäckor. Lysmaskens larver är rovdjur, som först biter sig fast i och sedan paralyserar sitt byte genom att injicera ett nervgift, samt matsmältningsenzym, med hjälp av sina ihåliga käkar (Sprecher-Uebersax 2006; Kaaro 2008; Day 2011; Lewis 2016).

Ifall en lysmasklarv störs, till exempel av en människas beröring, kan bägge könen producera ljus, även om detta ljus vanligen är betydligt svagare än ljuset hos de vuxna honorna. Detta fenomen förekommer hos alla arter i familjen Lampyridae, och det har antagits att larvernas ljus kunde vara en form av aposematism – en tydlig varning för rovdjur om att det tilltänkta bytet inte är värt att äta, utan bör lämnas ifred – eftersom både fåglar och paddor verkar finna larverna oaptitliga/illasmakande (De Cock & Matthysen 2003, De Cock 2004; Day 2011). Det har också spekulerats, att ljusorganen ursprungligen utnyttjats för att sända dylika aposematiska varningssignaler, och att ljussignalerna först senare börjat användas för den sexuella signaleringen (Branham m.fl. 2003).

Då larven först kläcks ur ägget, är den 4 – 5 millimeter lång, och under dess första sommar och höst hinner larven äta och växa såpass mycket, att den ömsar skinn en eller ett par gånger. Då vintern närmar sig, och sniglar blir allt svårare att finna, blir den allt mer passiv, för att slutligen falla i ett slags dvala. Vintern spenderas vanligen i skydd under stockar, stenar eller dött organiskt material (Tyler 1994; Pendleton m.fl. 2012). På våren vaknar larverna åter upp, fortsätter äta, växa och ömsa skinn, och speciellt honorna ökar snabbt i storlek. Larvernas storlek varierar beroende på födotillgång,

luftfuktighet och temperatur, men de beräknas växa från 7 – 10 mm till 15 – 26 mm under det andra årets sommar (Pendleton m.fl. 2012). Det andra årets vinter spenderas åter i dvala, och då larven vaknar om våren ömsar den inte skinn många gånger innan den slutligen förpuppas. De flesta lysmaskar spenderar således två år som larver, men vissa individer verkar dock av okänd anledning behöva ett extra år innan de är klara för att förpuppa sig (Tyler 1994; Pendleton m.fl. 2012). Larver som förbereder sig på att förpuppas kan ofta ses sökande efter ett lämpligt, skyddat, förpuppningsställe till och med i dagsljus, och det antas vara i detta sista stadie som den största delen av lysmaskarnas dispersion till nya områden sker, då de vuxna honorna är relativt stationära (Tyler 1994; Lewis 2016). Lysmasklarverna förpuppas ofta tillsammans i små grupper, och det är inte ovanligt att finna flera förpuppade larver bredvid varandra (Tyler 1994).

De vuxna lysmaskarna kläcks ur sina puppor i maj – juni, beroende på latitud (Bird & Parker 2014; Lewis 2016), och är aktiva in i juli (Hopkins m.fl. 2015). Eftersom de vuxna lysmaskarna ofta kläcks ur pupporna kring midsommar, kallas de till exempel i Tyskland också för ”*Johanniskäfer*”, alltså ”midsommarskalbaggar”. Honorna är vanligen större (15 – 20 mm) än hanarna (10 – 12 mm), men storleken kan variera stort beroende på larvperiodens omständigheter (Sprecher-Uebersax 2006; Pendleton m.fl. 2012; Hopkins m.fl. 2015). Endast en liten del av alla lysmasklarver överlever till vuxen ålder, då många äts upp av rovdjur, utsätts för svampinfektioner eller dör av uttorkning. Det beräknas att enbart två larver per kull om 50 – 100 larver lever tillräckligt länge för att kunna föröka sig (Tyler 1994).

I skymningen, då ljusnivåerna nått ett visst tröskelvärde (1–4 lx, Dreisig 1971), kryper de vinglösa, vuxna lysmaskhonorna fram från sina gömställen, där de sökt skydd under dagen, och börjar lysa med ett konstant, grönaktigt sken (Dreisig 1975; Booth m.fl. 2004; Lewis 2016). Ljuset, vars våglängd ligger mellan 550 och 570 nm inom ljusets gröna område, produceras i bakkroppens lysorgan, lyktan, på honans ventrala sida (De Cock 2004, Hopkins m.fl. 2015). Ljuset produceras med hjälp av ett enzym, ett luciferas, samt ett substrat, ett luciferin (Day m.fl. 2004) genom en komplicerad (och ännu delvis okänd) reaktionskedja, som börjar med att luciferin, luciferas och ATP formar ett komplex. Då syre tillförs i slutskedet av reaktionskedjan, exiteras luciferinet och bildar oxyluciferin. Då oxyluciferinet återgår till sin ursprungliga, icke-exiterade form, avges fotoner, som ses som synligt ljus (Day m.fl. 2004; Lewis 2016). Ljuset som avges är ett så kallat ”kallt ljus”, det vill säga, lysmaskhonornas ljusproduktion avger inte värme (Tyler 1994).

De vuxna lysmaskhonorna kan lysa i allt från några minuter till flera timmar varje natt, samtidigt som de, ofta fastklängda vid ett grässtrå, viftar med lysorganet för att locka till sig flygande hanar (Dreisig 1978; Hopkins m.fl. 2015; Lewis 2016). De flygande hanarnas ögon är väl anpassade till att se i mörker, och dessutom är de speciellt känsliga för ljus på samma våglängder som honornas lime-gröna ljus (Booth m.fl. 2004). Lysmaskhanarna prefererar främst honor med starkare sken, då de starkast lysande honorna ofta är de största, och som en följd av detta också de med flest ägg, och således högst fekunditet (Bonduriansky 2001; Hopkins m.fl. 2015, ej publicerat material av Juhani Hopkins). Det är alltså fråga om hanligt sexuellt urval där, i kontrast till det mera allmänna honliga urvalet med kräsna ("choosy") honor och konkurrerande hanar, hanarna är kräsna och honorna konkurrerar med varandra (Bonduriansky 2001). Lysmaskarna har dock begränsat med tid på sig, enbart några veckor, för att finna sig en lämplig partner, då de som vuxna saknar både mun och matsmältningssystem, och som en följd av detta är beroende av den energi de samlat på sig som larver. Varje dag som förflyter utan parning utgör således både en risk, och också en kostnad, speciellt för honorna, vars fekunditet sjunker ju längre de tvingas vänta (Hopkins m.fl. 2015, ej publicerat material av Juhani Hopkins). Som en följd av detta lyser honorna vanligen varje natt oberoende av väder och vind: regn verkar till exempel inte ha någon större inverkan, även om honorna vanligen börjar lysa senare vid lägre temperaturer (Dreisig 1975). Dessvärre kan kyligt, regnigt och blåsigtt väder tvinga honorna att vänta extra länge, då dessa väderfenomen ofta innebär att färre, eller inga, hanar flyger (Dreisig 1971; Bird & Parker 2014). Då en lysande hona slutligen lyckas locka till sig en flygande hane att para sig med, slutar hon först lysa, för att sedan lägga sina ägg och slutligen dö (Bird & Parker 2014; Hopkins m.fl. 2015). Äggen, vars diameter uppgår till ungefär en millimeter, kläcks ca en månad efter att de lagts, beroende på temperaturen (Tyler 1994).

### **1.5 Lysmaskar och ljusföreningar**

Då den stora lysmaskens honor lockar till sig hanar genom att lysa (Hopkins m.fl. 2015), kan ljusföreningar potentiellt ha en stor effekt på den sexuella signaleringen, då en ökad ljusmängd kan dränka honornas naturliga ljussignaler under sig, och således försämra hanarnas chanser att upptäcka och urskilja de lysande honorna (Bird & Parker 2014; Lewis 2016). Det är också möjligt, att artificiellt ljus påverkar huruvida honorna alls lyser, och hur länge och var de väljer att lysa, eftersom honorna har förmågan att bedöma omgivningens ljusnivå, vilken det artificiella ljuset förhöjer, och vanligen börjar lysa först då ljusnivåerna sjunkit tillräckligt (Dreisig 1971, 1975). Då den vuxna lysmaskens livstid är mycket kort (Hopkins m.fl. 2015), honorna har en begränsad förmåga att förflytta sig (Lewis

2016) och varje natt som förflyter utan parning utgör en kostnad (ej publicerat material av Juhani Hopkins) kunde artificiellt ljus ha en stor effekt på dessa insekters fitness.

Även om artificiellt ljus är en relativt ny form av störning, är det tänkbart att naturliga växlingar i ljusmängd, förorsakade av moln och månljus, kunde ha understött evolutionen av strategier hos lysmaskarna för att klara av också ljusare nätter. Eftersom honorna vanligen börjar lysa då ett specifikt tröskelvärde uppnåts (Dreisig 1971, 1975), är det till exempel sannolikt, att honorna också i naturen börjar lysa senare vid månljusa nätter, eftersom det kritiska tröskelvärdet då uppnås vid en senare tidpunkt än normalt. Dock har inte specifikt månljusets inverkan och kostnad för de vuxna honorna än så länge forskats i, även om man känner till att larverna är mindre aktiva under månljusa, och mera aktiva under molniga nätter (Sprecher-Uebersax 2006).

Artificiellt ljus skiljer sig från de flesta naturliga ljuskällor, genom att det vanligen är både mera intensivt och konstant från natt till natt än de naturligt förekommande ljusväxlingarna, såsom månljus (Gaston m.fl. 2015). Dessutom koncentrerar det artificiella ljuset sig vanligen till en specifik tid på dygnet, det vill säga den tidiga kvällen, då den mänskliga aktiviteten är som intensivast, för att sedan sjunka mot natten, och återigen stiga mot morgonen (Gaston m.fl. 2015). På så sätt förändrar det artificiella ljuset de naturliga mörker/ljus-cyklerna, genom att förskjuta speciellt skymningen till en senare tidpunkt, och gryningen till en tidigare, vilket förkortar den upplevda natten och förlänger dagen (Da Silva m.fl. 2015). Således kunde eventuella strategier lysmaskarna utvecklat för att klara av månljus, såsom att lysa mindre under ljusa nätter och istället vänta på en bättre, mörkare natt, vara maladaptiva då det kommer till artificiellt ljus. Det är också möjligt att strategierna, ifall de existerar, skiljer sig mellan populationer på olika latituder, mellan vilka de nattliga ljusförhållandena, och starttidpunkten för förökningssäsongen, varierar stort (Bird & Parker 2014; Dorado-Correa m.fl. 2016).

Tidigare forskning har visat att vägbelysning försämrar lysmaskhanarnas förmåga att upptäcka honorna (Bird & Parker 2014), men överlag är artens, och speciellt honornas, potentiella responser till artificiellt nattligt ljus ännu dåligt undersökta. Då mängden artificiellt ljus ständigt ökar (Gaston m.fl. 2015), och ljusföroreningar kunde vara en bidragande faktor till att lysmaskspopulationerna minskat (Tyler 1994; Gardiner 2009; Bird & Parker 2014; Lewis 2016) är frågan om, och hur, denna karismatiska art kan reagera och anpassa sig till artificiellt ljus ytterst aktuella.

## 1.6 Avhandlingens målsättningar samt forskningshypoteser

Arbetets målsättningar är att fastställa effekten av artificiellt ljus på den sexuella signaleringen, i detta fall i form av honans attraktivitet, samt ifall de eventuella honliga responserna ökar eller minskar det artificiella ljusets potentiella effekter, eller inte har någon inverkan alls. Detta uppnås genom att undersöka det artificiella ljusets inverkan på honornas förmåga att attrahera hanar under tidpunkten för den sexuella signaleringen. Dessutom fastställs honornas eventuella responser till artificiellt nattligt ljus, då det gäller lysande samt habitatval, och hur dessa responser påverkar honornas möjligheter till att finna en partner. Frågorna som undersöks är således:

1. Inverkar ljusföreningar på honornas förmåga att attrahera hanar, det vill säga, besöks honorna av parningsvilliga partners även då de lyser under närvaron av artificiellt ljus?
2. Vilka är honornas responser på artificiellt ljus: lyser de även då de utsätts för artificiellt ljus, väljer de att inte lysa, eller att förflytta sig bort från ljuskällan?
3. Hur inverkar honornas responser på artificiellt ljus på möjligheterna till att finna en partner?

På basis av tidigare forskning uppgjordes följande hypoteser:

1. Hanarna är beroende av nattens mörker för att finna de lysande honorna (Ineichen & Rüttimann 2012). Honorna lockar till sig hanar genom att lysa, och hanarna föredrar de starkast lysande honorna (Hopkins m.fl. 2015). Artificiellt ljus kunde således potentiellt påverka honornas förmåga att attrahera hanar genom att a) göra honornas egna ljus svårare att urskilja från bakgrundsljuset, och b) få honan att upplevas som mindre lyskraftig, och således mindre attraktiv, av hanarna. Detta kan i sin tur innebära en minskning i mängden hanbesök, och försämrade möjligheter till att finna en partner för honor som lyser i närvaron av artificiell ljus (Lewis 2016).
2. Lysmaskhonorna börjar vanligen lysa i skymningen som en följd av att ljusnivåerna sjunker, och dessutom kan starttidpunkten manipuleras med hjälp av lampor i laborieförhållanden (Dreisig 1971; Booth m.fl. 2004; Ineichen & Rüttimann 2012; Lewis 2016). Detta innebär att honorna har en förmåga att bedöma omgivningens ljusnivå. Således är det sannolikt, att även artificiellt ljus kan påverka honornas beteende, såsom lysande och habitatval, även om tidigare forskning hittills inte funnit tecken på detta (Ineichen & Rüttimann 2012).

3. Som ovan sagts, kan artificiellt ljus potentiellt försämra honornas möjligheter till att finna en partner ifall de lyser i närvaron av detta (Lewis 2016), och honorna har också sannolikt förmågan att reagera på artificiellt ljus, då de är medvetna om sin omgivnings ljusnivå (Dreisig 1971). Dessa responser på det artificiella ljuset kan i sin tur antingen förstärka, försvaga eller inte inverka alls på den enskilda honans möjligheter till att finna en partner, beroende på hur honan väljer att lysa eller förflytta sig i närvaron av artificiellt ljus.

## 2. Metoder och material

För att utreda ifall artificiellt ljus försämrar honans attraktivitet, eller rentav gör honorna omöjliga att upptäcka för hanarna, utfördes ett fältexperiment där det artificiella ljusets inverkan på ifall hanar attraherades av attrapphonor eller ej, undersöktes. För att utreda de eventuella honliga responserna till artificiellt ljus, utfördes dessutom ett laboratorie-experiment, där honornas beteende gällande lysande samt habitatval undersöktes. Experimenten utfördes i Arja Kaitalas forskningsgrupp (Uleåborgs universitet), och fältarbetet utfördes den 5.6 – 10.7.2017 vid Tvärminne zoologiska station, Hangö. Experimenten planerades tillsammans med Ulrika Candolin och Juhani Hopkins.

### 2.1 Forskningsområdet samt experimentstationernas placering

Som forskningsområde fungerade omgivningen kring Tvärminne zoologiska station i Hangö (N 59°51', E 23°14'). Till experimentet utvaldes sammanlagt sex relativt öppna platser i närheten av Tvärminne zoologiska station, där det under tidigare år setts lysmaskar (Bild 1). Tre av dessa sex platser utnyttjades alltid samtidigt för experimentets behov, och platserna valdes så att experimentstationen

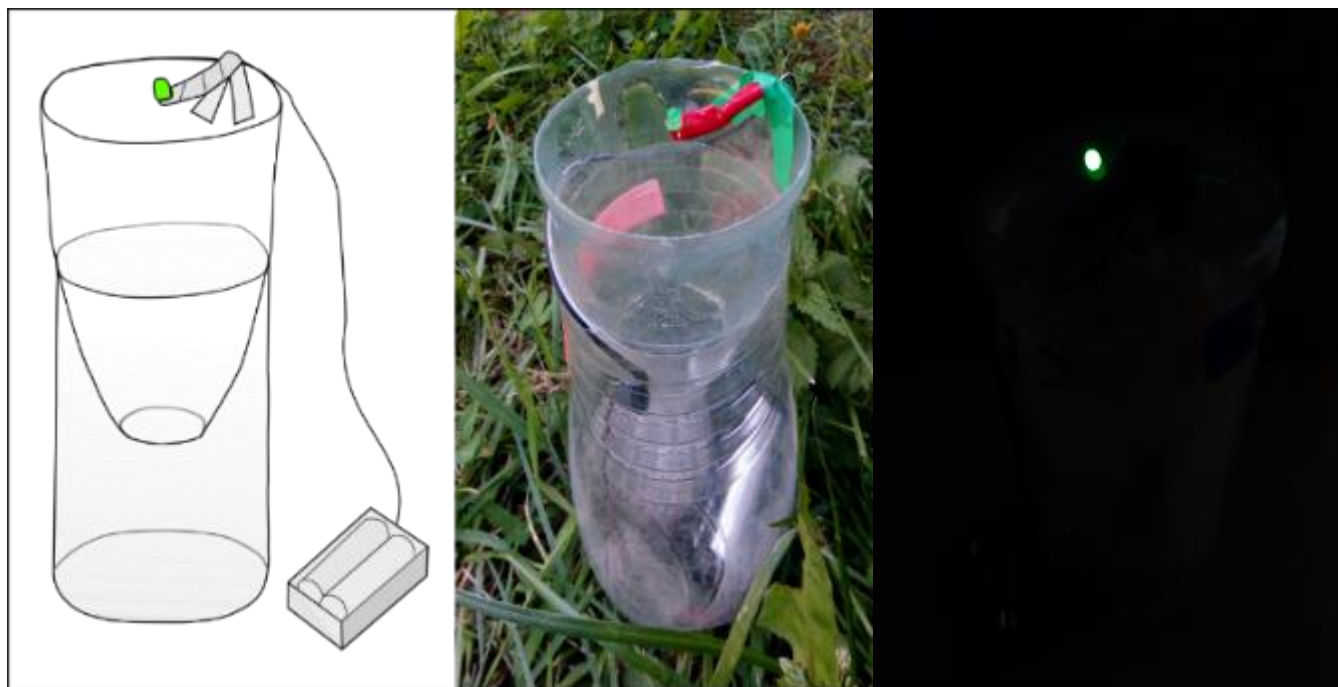


**Bild 1** Karta över de för fältexperimentet utvalda platserna i omgivningen kring Tvärminne zoologiska station. Hanar fångades in vid Stipendiathuset, Ångbåtsbryggan samt Kasbergsvillan 1 & 2, men inga hanar upphittades vid vare sig Hjortmatningsplatsen eller Fältet. Grundkarta: Maanmittauslaitos

bestående av lykta och fällor (sammanlagt ca 3,4 m) kunde placeras ut utan att skymmas av träd eller buskar. Ursprungligen planerades enbart tre platser att utnyttjas, men som en följd av att flygande hanar inte uppvisade sig på en av de ursprungliga tre platserna (Hjortmatningsplatsen), utprovades flera nya alternativ (Fältet, där inga hanar infångades och Kasbergsvillan 1, där hanar fångades in, men platsen övergavs då den visade sig ligga direkt intill lysande honor) innan slutligen Kasbergsvillan 2 visade sig gynnsam. I analyserna har Kasbergsvillan 1 och 2 slagits ihop, då de låg mindre än 10 meter från varandra. Stipendiathuset samt ångbåtsbryggan utnyttjades genom hela experimentet.

## 2.2 Utredning av hur ljusföroreningar inverkar på honornas attraktivitet

Undersökningen strävade till att reda ut, ifall det existerar kostnader – i detta fall i form av försämrade attraktivitet och färre hanbesök, för lysmaskhonor av ljusföroreningar, och ifall dessa beror på ljusföroreningens nivå samt honans egna ljusintensitet. Detta utreddes med hjälp av ett fältexperiment, där fällor med atrapphonor (Bild 2) nattetid placerades ut på olika avstånd från artificiella ljuskällor på de olika platser som ovan beskrevs (se bild 1) kring Tvärminne zoologiska station. Mängden hanar i fällorna räknades, men då antalet hanar i en och samma fälla sannolikt är beroende av varandra, det vill säga hanarnas val av fälla påverkas av att andra hanar redan fångats in, noterades i analyserna enbart ifall hanar fångats, eller inte fångats, i närvaron samt frånvaron av artificiellt ljus.



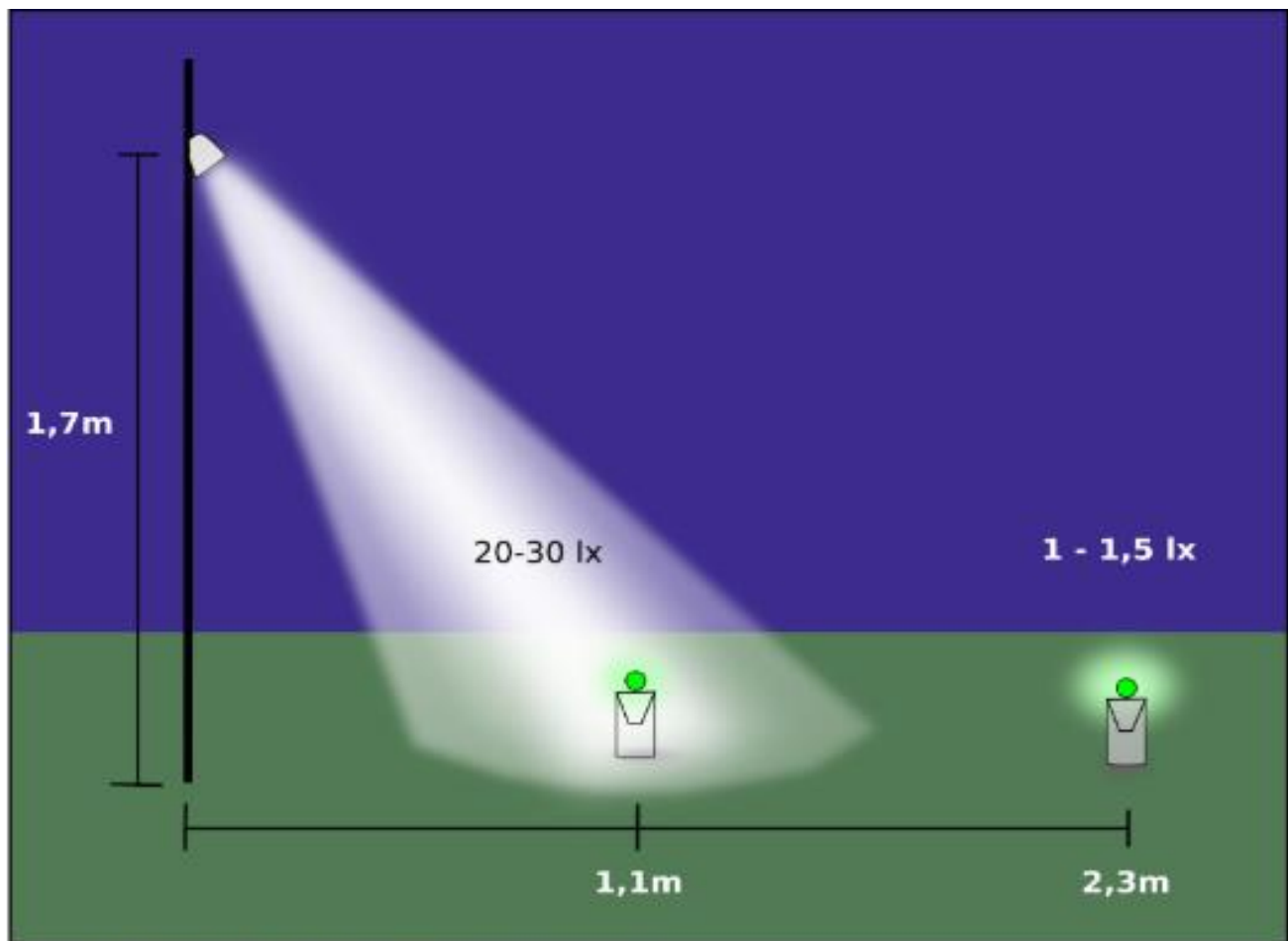
**Bild 2** Schematisk bild över fälla, samt en fälla i dagsljus respektive i mörker.



För att simulera effekterna av artificiellt ljus motsvarande det från en gatlykta, utnyttjades lyktor med vitt ljus (Varta Indestructible LED x 5). Lyktorna placerades på ca 1,7 m höjd med hjälp av ett skaft, och ljuskägslans vinkel beräknades till ca 35 grader i förhållande till skaftet (infallsvinkeln mot marken ca 55 grader).

Ljusnivåerna uppmättes vid markytan till 20 – 30 lux, vilket motsvarar ljusnivåerna hos vanliga gatlyktor (Gaston m.fl. 2012, 2015). För att locka flygande hanar, användes fällor med gröna LED ("light emitting diode") lampor (3 mm through-hole LED 562 nm, Bild 2). De gröna lampornas våglängd var 562 nm, vilket motsvarar lysmaskarnas gröna ljus, som vanligen ligger mellan 550 och 570 nm (Bird & Parker 2014). Liknande fällor har bland annat använts av Booth m.fl. (2004), Ineichen & Rüttimann (2012), Bird & Parker (2014) och Hopkins m.fl. (2015), och konstaterats välfungerande för ändamålet. Honans egna ljusintensitets inverkan undersöktes genom att använda attrapphor med tre olika ljusstyrkor – låg, mellan och hög (440, 1320 samt 2000 ohms motstånd, ju mera motstånd desto svagare ljus). Lyktorna drevs med tre AAA-batterier, som laddades varje dag, och fällorna med två AA-batterier, som laddades varannan natt.

Varje natt placerades tre experimentstationer bestående av en lyktstolpe kombinerat med två fällor ut på tre skilda platser i omgivningen av Tvärminne zoologiska station (Bild 3). Behandlingarna bestod av lyktan på/av kombinerat med två fällor av samma ljusstyrka, med antingen svagt ljus, intermediärt ljus eller starkt ljus (se styrkorna ovan). Ingen av stationerna hade samma ljusstyrka på fällorna som de andra under samma natt, och två av stationerna fungerade alltid som experimentgrupp (artificiella ljuskällan på), och en som kontrollgrupp (artificiella ljuskällan av). Lyktan samt de två fällorna placerades på varje station ut på så sätt, att den ena fällan befann sig 1,1 m från ljuskällans stolpe, och den andra ca 2,3 m från ljuskällan (Bild 3). Målet med denna uppställning var att skapa en ljusgradient, där graden av artificiellt ljus tydligt skiljde sig åt mellan de två fällorna för att det skulle gå att utreda ifall hanarna diskriminerade mellan fällor utsatta för olika nivåer av artificiellt ljus. Dessa avstånd har således valts så att den första fällan står rakt i det starkaste ljuset (20 – 30 lux, dvs. lumen/m<sup>2</sup>), medan den andra fällan står utanför den direkta ljuskägslan, där ljusnivån närmare motsvarar den naturliga nattliga ljusnivån (1 – 1,5 lux, omgivningens ljusnivå ca 0,5 lux, uppmätt 25.6.2017 kl. 01.30, Tvärminne).



**Bild 3** Experimentsuppställningen för fältexperimentet samt avståndsmått. Nere till vänster: lyktan samt fällorna före skymningen. Nere till höger: fällorna samt lyktan i mörker.

Då tre experimentstationer utnyttjades varje natt, där alla hade olika ljusstyrkor på fällorna, och två stationer fungerade som experimentstationer med lampan på, och en som kontroll med lampan av, beräknades de möjliga kombinationerna av plats, behandling och ljusstyrka vara sammanlagt 18, då det fanns sammanlagt 6 par av behandling och styrka på fällan (2 x 3: ”på, stark”, ”på, medel”, ”på, svag”, ”av, stark”, ”av, medel” och ”av, svag”), och det för varje natt skulle dras tre par (Tabell 1). Enbart sådana kombinationer av tre par där sammanlagt en lampa var avstängd, två var på och alla tre styrkor på fällorna utnyttjades förklarades giltiga.

Kombinationernas mängd räknades ut på så sätt, att ifall det första paret som drogs ur en ”teoretisk hatt” var ett av de 3 lysande paren, t.ex. ”på, svag”, fanns enbart 4 alternativ kvar för det andra paret som skulle användas samma natt (alla alternativa par förutom det första paret själv eller dess mörka syskonpar, i detta fall ”av, svag”). För det tredje paret fanns således bara 1 alternativ kvar (det par med den saknade styrka och behandling som gör kombinationen giltig), alltså sammanlagt  $3 \times 4 \times 1 = 12$  möjliga kombinationer. Ifall det första paret som drogs däremot var mörkt, t.ex. ”av, svag” fanns enbart 2 alternativ kvar för det andra och tredje paret som skulle användas samma natt (eftersom det enbart kunde finnas ett mörkt par per natt, återstår enbart de två ljusa par, vilka har annan styrka på fällan än det först dragna mörka paret, här ”på, stark”, ”på, medel”), alltså  $3 \times 2 \times 1 = 6$ ,  $12 + 6 = 18$ . Då alla möjliga kombinationers antal kändes, kunde det säkerställas att inga kombinationer missades. Se Tabell 1 för en lista på alla möjliga kombinationer.

Ljusbehandlingen (av/på) samt fällornas ljusstyrka varierades från natt till natt mellan de olika stationerna, på så sätt att alla möjliga kombinationer (18 st., se Tabell 1) av behandling, plats och ljusstyrka i slumpmässig ordning (med hjälp av slumpgenerator) utnyttjades under varje

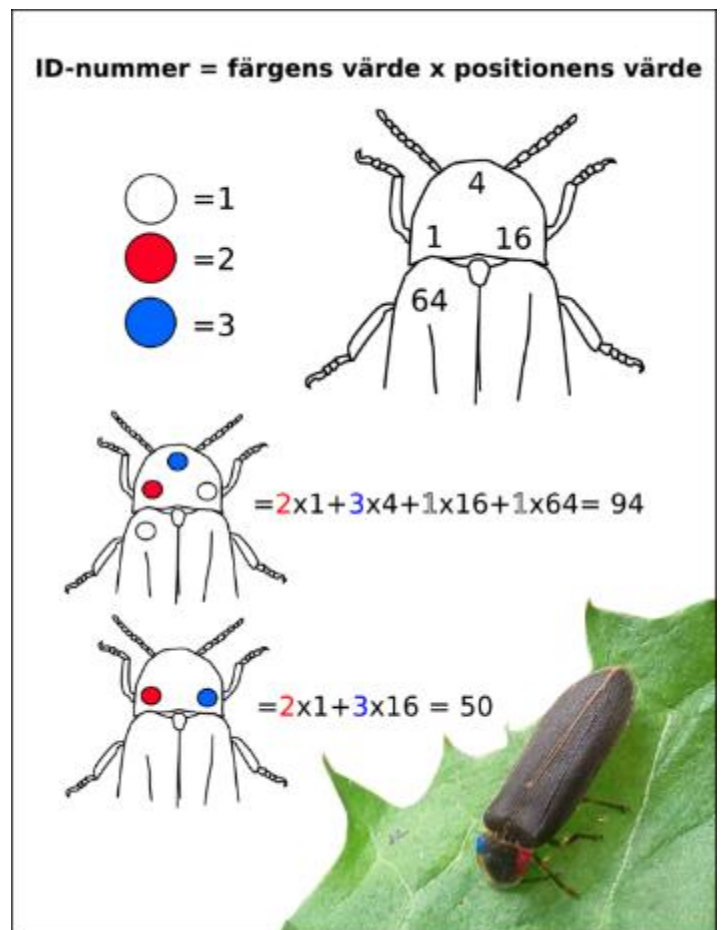
**Tabell 1**

Lista över alla de möjliga 18 kombinationerna av plats, behandling samt styrka på fällorna. I denna lista motsvarar de tre stationerna de tre platser som utnyttjats under en specifik natt. Varje natt hålls lampan tänd på två stationer, och släckt på en. Fällor av samma styrka får inte utnyttjas på mer än en plats per natt. Dessa 18 kombinationer lottades sedan ut med hjälp av en slumpgenerator.

	Station 1	Station 2	Station 3
1	På, stark	På, medel	Av, svag
2	På, stark	På, svag	Av, medel
3	På, stark	Av, medel	På, svag
4	På, stark	Av, svag	På, medel
5	På, medel	På, stark	Av, svag
6	På, medel	På, svag	Av, stark
7	På, medel	Av, stark	På, svag
8	På, medel	Av, svag	På, stark
9	På, svag	På, stark	Av, medel
10	På, svag	På, medel	Av, stark
11	På, svag	Av, stark	På, medel
12	På, svag	Av, medel	På, stark
13	Av, stark	På, medel	På, svag
14	Av, stark	På, svag	På, medel
15	Av, medel	På, stark	På, svag
16	Av, medel	På, svag	På, stark
17	Av, svag	På, stark	På, medel
18	Av, svag	På, medel	På, stark

experimentperiod bestående av 18 experimentdagar. Denna slumpmässiga fördelning gjordes för att säkerställa avsaknaden av subjektiva mönster i fällornas placering och behandlingarnas ordningsföljd, och för att säkerställa att skillnaderna mellan områdena inte påverkade resultaten. Var femte/sjätte natt placerades inga lampor eller fällor ut, så att områdets äkta honor skulle få en möjlighet till att locka till sig hanar. Då 18 experimentdagar gått, lottades först de kombinationer ut som använts de nätter då hanarna inte varit aktiva (d.v.s. de nätter då inga hanar fångats in på någon plats). Sedan lottades alla kombinationerna på nytt ut för följande 18 experimentdagar.

Fällorna placerades ut ca kl. 22, och hämtades bort ca kl. 01, vilket innebär att de utnyttjades ca 3 timmar per natt den 11.6. – 12.6.2017, samt 24.6 – 10.7.2017. Mellan den 13. och 23.6.2017 stod fällorna ute hela natten för att säkerställa att lysmaskhanar verkligen fanns i området. Då det konstaterades att den största delen av hanarna flög mellan klockan 23 och 02, återupptogs inhämtandet av fällor ca kl. 01 (Muntlig diskussion, Hopkins, J. 24.6.2017). Detta gjordes också för att ge de äkta honorna möjlighet till att locka till sig hanar, samt för att minska risken för drunkning i fällorna vid tillfälle av regn. Fällorna tömdes och antalet hanar i fällorna räknades således ca kl. 01– 02 varje natt med några få undantag, och de hanar som inte skulle delta i forskningsgruppens övriga experiment märktes följande morgon med en unik färgkod, motsvarande hanens unika ID-nummer (Bild 4), för att sedan åter släppas ut i naturen följande dag/kväll. Ifall märkta hanar återfanns i fällorna, noterades individen med hjälp av dess unika färgkod, och släpptes ut i naturen följande dag/kväll. Hanar som redan märkts, men senare fångats in igen räknades inte med i statistiken över antal hanar i fällorna för den natt/de nätter de på nytt fångats in. Sammanlagt placerades fällorna ut under 24 nätter under tiden 5.6. – 10.7.2017.

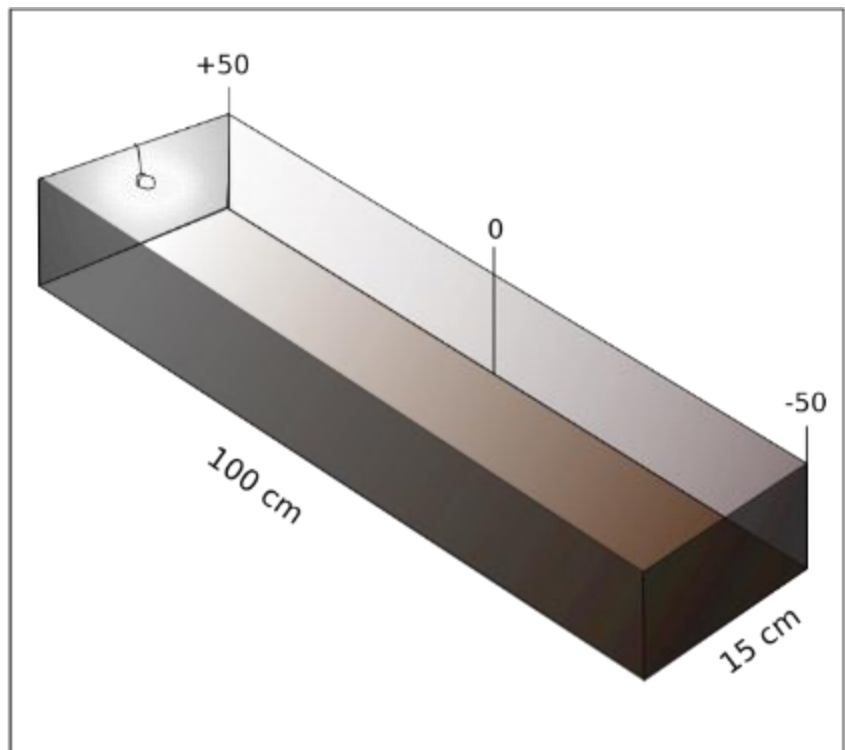


**Bild 4** Färgkodssystemet hanarna märktes ut med för att kunna identifieras efter att de släppts ut i naturen. På fotografiet syns en individ med ID-nummer 50.

### 2.3 Utredning av honornas responser till ljusföroreningar

I denna undersökning strävades det till att utreda, ifall lysmaskhonorna har förmågan att anpassa sig till ljusföroreningar genom att undvika ljus, eller genom att reglera tiden de spenderar lysande. Detta undersöktes med hjälp av ett laboratorie-experiment med arenor, där honorna individuellt utsattes för artificiellt ljus och deras beteende (rörelse bort/mot ljuset, position samt lysande) noterades. Skillnaderna i beteende mellan experimentgruppen, som utsattes för artificiellt ljus, och kontrollgruppen analyserades slutligen statistiskt.

För experimentet utnyttjades honor som samlats in från fältet i omgivningen kring Tvärminne zoologiska station. Rörligheten undersöktes i arenor på ca 100 x 15 cm, antingen i närvaro eller frånvaro av ljusföroreningar i form av en LED-lampa (vit) i den ena ändan av arenan (Bild 5). Arenans botten fylldes med jord för att ge honorna ett naturligt underlag, och dessutom placerades två snäckskal för honorna att söka skydd under i vardera änden av arenan. En hona placerades i mitten av arenan, på en upphöjd smal skiva som löpte längs hela arenans längd. Skivan utnyttjades för att ge honorna, som i naturen föredrar en något upphöjd position i förhållande till marken, något att kunna klättra upp på. Därefter observerades beteendet (lyser/lyser inte) samt positionen (-50 – +50, mittpunkten = 0) i



**Bild 5** Till vänster: arenan som användes för att undersöka honornas beteende under närvaron av artificiellt ljus. Till höger: schematisk bild över arenans mått. Fotografi: Anna-Marie Borshagovski.

förhållande till ljuskällan under två timmar mellan kl. 23 och 01, med 20 minuters mellanrum, undantaget tidpunkten för när honan började lysa, vilken antecknades genast vid upptäckt. Som kontrollgrupp utnyttjades honor som inte utsattes för artificiellt ljus då de vistades i arenan (LED-lampa avstängd). Ljusnivåerna uppmättes till ca 0,2 lux i arenans mörka ända, 1,5 lux vid mittpunkten och ca 40 lux i den ljusa ändan.

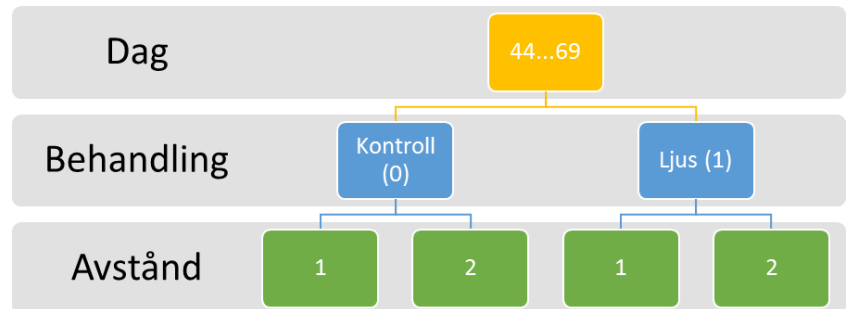
## 2.4 Statistiska metoder

### 2.4.1 Inverkan av artificiellt ljus på honornas attraktivitet

För att analysera inverkan av artificiellt ljus på honornas attraktivitet byggdes två GLMMs (Generalized Linear Mixed Model), som strukturerades så att fällans avstånd till ljuskällan grupperades hierarkiskt (nested) inom behandlingen (experiment/kontroll), som grupperades inom experimentdag (Bild 6).

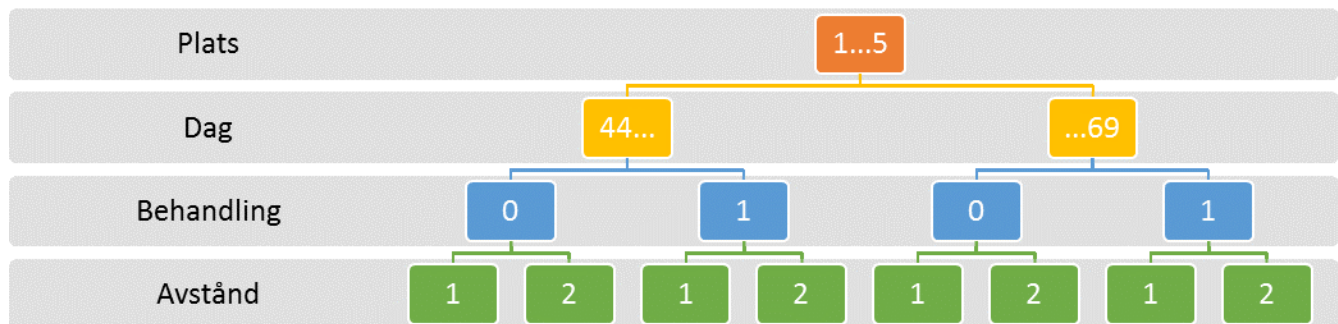
Modellen klassificerades som binominal, då responsvariabeln enbart kunde anta två värden; 0 (inga hanar fångade) eller 1 (hanar fångade).

Orsaken till att enbart ifall hanar fångats eller inte fångats in noterades i analyserna istället för det absoluta antalet, var att antalet hanar i en och samma fälla inte med säkerhet var oberoende, eftersom hanarnas val av fälla kunde ha påverkats av om det



**Bild 6** Strukturen för GLMM 1, där plats ej integrerats.

vid fångsttidpunkten redan fanns andra hanar i fällorna. Detta beslut stöds av att hanarna i kontrollgruppen sällan fördelade sig jämt mellan de två fällorna, utan under de flesta nätter verkade föredra den ena eller andra fällan.



**Bild 7** Strukturen för GLMM 2, där plats integrerats.



Som beroende variabel ("target") utnyttjades ifall hanar fångats in eller inte i en viss fälla under en viss natt. Som fasta ("fixed") effekter fungerade behandling och avståndet till ljuskällan, samt interaktionen mellan dessa. I den första modellen togs plats inte med som slumpeffekt, då effekten av plats hade randomiserats redan i experimentuppställningen (Bild 6). Dessutom befarades att integrerandet av plats i modellen skulle ha minskat på frihetsgraderna, och således också försämrat resultatens pålitlighet. För att kontrollera platsernas effekt på resultaten från den första modellen, gjordes sedan en andra modell (Bild 7), där plats togs med som slumpeffekt. Även om modellens frihetsgrad sannolikt skulle minska då plats integrerades, och försämrade chanserna för att upptäcka ljusbehandlingens effekter, gjordes detta, då de båda modellerna tillsammans gav mera pålitliga resultat än var för sig. I analyserna slogs plats 5 och 6, alltså Kasbergsvillan 1 och 2 ihop, då dessa låg inom 10 meter från varandra.

I analysen utnyttjades sammanlagt 19 nätter, där det första datumet utgjordes av den dag då hanar för första gången infångades (dag 44 beräknat från 1.5.2017, d.v.s. 14.6.2017), och resten av nätterna utgjordes av alla påföljande datum då fällor framgångsrikt placerats ut på tre platser, oberoende av om hanar fångats in eller inte. Det sista datumet då fällor placerades ut var den 9.7.2017 (dag 69).

Ljusstyrkans inverkan på honornas attraktivitet uteslöts från dessa analyser, då antalet frihetsgrader då hade sjunkit så att resultaten inte längre varit pålitliga, ifall ljusstyrka integrerats i modellen (men se punkt 2.4.2). IBM SPSS Statistics 23 användes för alla analyser, råd fick av Ulrika Candolin samt Hanna Granroth-Wilding.

#### **2.4.2 Honans ljusstyrkas inverkan på förmågan att attrahera hanar**

Även om honans ljusstyrka inte integrerades i modellen ovan, som en följd av att modellens frihetsgrad då skulle ha varit för låg för att ge pålitliga resultat, kunde ljusstyrkans inverkan på honans förmåga att attrahera hanar dock analyseras skilt för fälla 1 (nära) och 2 (längre bort), samt för de båda behandlingarna. För de två olika fällorna gjordes detta med hjälp av en GLMM där ljusstyrka grupperats inom behandling, som grupperats inom dag, där hanar attraherade av fällan (fälla 1 eller fälla 2) fungerade som beroende faktorer. Behandling, ljusstyrka samt dessas interaktion fungerade som fasta effekter. Då de två behandlingarna analyserades skilt från varandra bestod strukturen i sin tur av avstånd till ljuskällan samt ljusstyrka grupperat inom datumet. Som fasta effekter fungerade avstånd till ljuskällan, ljusstyrka samt dessas interaktion.

### 2.4.3 Vädrets inverkan på mängden infångade hanar

För att analysera vädrets inverkan på ifall hanar fångades in eller inte, utnyttjades samma data som i 2.4.1 och en GLMM med en struktur bestående av behandling (experiment/kontroll) grupperad hierarkiskt ("nested") inom plats, inom dag. Som fasta effekter användes väder samt behandling, som slumpeffekter fungerade experimentdag samt plats.

Vädret definierades antingen som "dåligt", "intermediärt" eller "bra", baserat på anteckningar som gjorts i samband med utplacandet av fällorna. Varma, vindstilla nätter markerades som nätter med bra väder (3), och kalla, regniga eller blåsiga nätter klassificerades som dåliga (1). Ifall vädret bestod av en blandning av de ovan nämnda kriterierna för bra och dåligt väder, till exempel vindstilla men regnigt, eller varmt men blåsigt, klassificerades vädret som intermediärt (2).

### 2.4.4 Inverkan av artificiellt ljus på honornas beteende

Det artificiella ljusets inverkan på honornas beteende analyserades statistiskt genom att jämföra experimentgruppens, som utsattes för ljus, beteende med kontrollgruppens beteende i fråga om lysande (lyser/lyser inte) samt rörlighet, det vill säga det av honorna föredragna avståndet till ljuskällan.

I de statistiska analyserna utnyttjades honans position, det vill säga, det avstånd till ljuskällan som honan haft under minst två på varandra följande mätningar, avrundat till närmaste 5 cm. Ifall flera sådana positioner fanns, utnyttjades den senaste position där honan uppehållit sig under två på varandra följande mätningar. Ifall ingen sådan position fanns, utan honan ständigt rört sig över arenan, ansågs honan inte ha slagit sig ned. För att analysera behandlingens samt storlekens inverkan på ifall honan slog sig ned, eller fortsatte röra på sig, utnyttjades en logistisk binominal regression, med position som beroende variabel, behandling som fast effekt och storlek som kovariat. För att analysera behandlingens samt storlekens inverkan på honans position, utnyttjades data från enbart de honor som slagit sig ned under experimentet. Här utnyttjades en LM ("linear model"), ANOVA, med position som beroende variabel, behandling som fast effekt och storlek som kovariat.

För att analysera inverkan av artificiellt ljus samt honans storlek på honans beteende (lyser/lyser inte) utnyttjades en logistisk binominal regression, eftersom responsvariabeln endast kunde anta två värden (lyste inte = 0, lyser = 1). Som beroende faktor ("dependent") fungerade lyser/lyser inte, som fast effekt behandling (mörker/artificiellt ljus) och storlek som kovariat. Samma slags logistiska binominala analys gjordes även för att analysera ifall behandling (ljus/mörker) samt storlek inverkar på honornas tendens till att gömma sig. IBM SPSS Statistics 23 användes för alla analyser.



### 3. Resultat

#### 3.1 Inverkan av artificiellt ljus på honornas förmåga att attrahera hanar

Sammanlagt fångades 115 hanar in, under de sammanlagt 38 nätter som fällor placerats ut på tre platser. I fällorna återfanns minst en hane 32 gånger, respektive inga hanar 83 gånger (Tabell 2). Således fångades hanar i medeltal in ca 30% av gångerna.

Då de olika fångstplatsernas slumpeffekt inte togs med i analysen inverkade både behandling, avstånd till ljuskällan, samt interaktionen mellan dessa signifikant på ifall hanar attraherades eller ej (Tabell 3). I denna första modell föredrog hanarna i närvaron av artificiellt ljus fälla 2, som befann sig längre bort från ljuskällan, medan någon större skillnad i preferens för fälla 1 eller 2 inte gick att skönja i frånvaron av artificiellt ljus (Bild 8a). I frånvaron av artificiellt ljus kom hanar vanligen i endera fällan, och sällan i bägge fällorna varje natt.

Då plats tillades som slumpeffekt ("random factor") i analysen, förblev antalet frihetsgrader det samma som ovan, vilket innebar, att plats inte hade någon effekt (Tabell 4, Bild 8b). Samma interaktion mellan avstånd och behandling, som gick att skönja i analysen ovan kvarstod även i denna analys.

Interaktionen mellan behandling och avstånd var starkt statistiskt signifikant (Tabell 4) och

**Tabell 2** Antalet gånger hanar fångades in, respektive inte fångades in i kontroll- samt experimentgruppen

Behandling & avstånd	Inga hanar attraherade (ggr)	Hanar attraherade (ggr)
Kontroll, avstånd 1	12 (63%)	7 (37%)
Kontroll, avstånd 2	11 (58%)	8 (42%)
Experiment, avstånd 1	37 (97%)	1 (3%)
Experiment, avstånd 2	23 (60%)	15 (39%)
<b>Totalt</b>	<b>83 (72%)</b>	<b>32 (28%)</b>

**Tabell 3** Statistiska värden för Modell 1 över effekten av behandling, avstånd och experimentdag på fällans attraktion av hanar. Plats har inte integrerats i modellen.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell ("corrected model")	3,368	3	110	,021
Behandling	6,041	1	110	,016
Avstånd	7,783	1	110	,006
Behandling * avstånd	5,851	1	110	,017

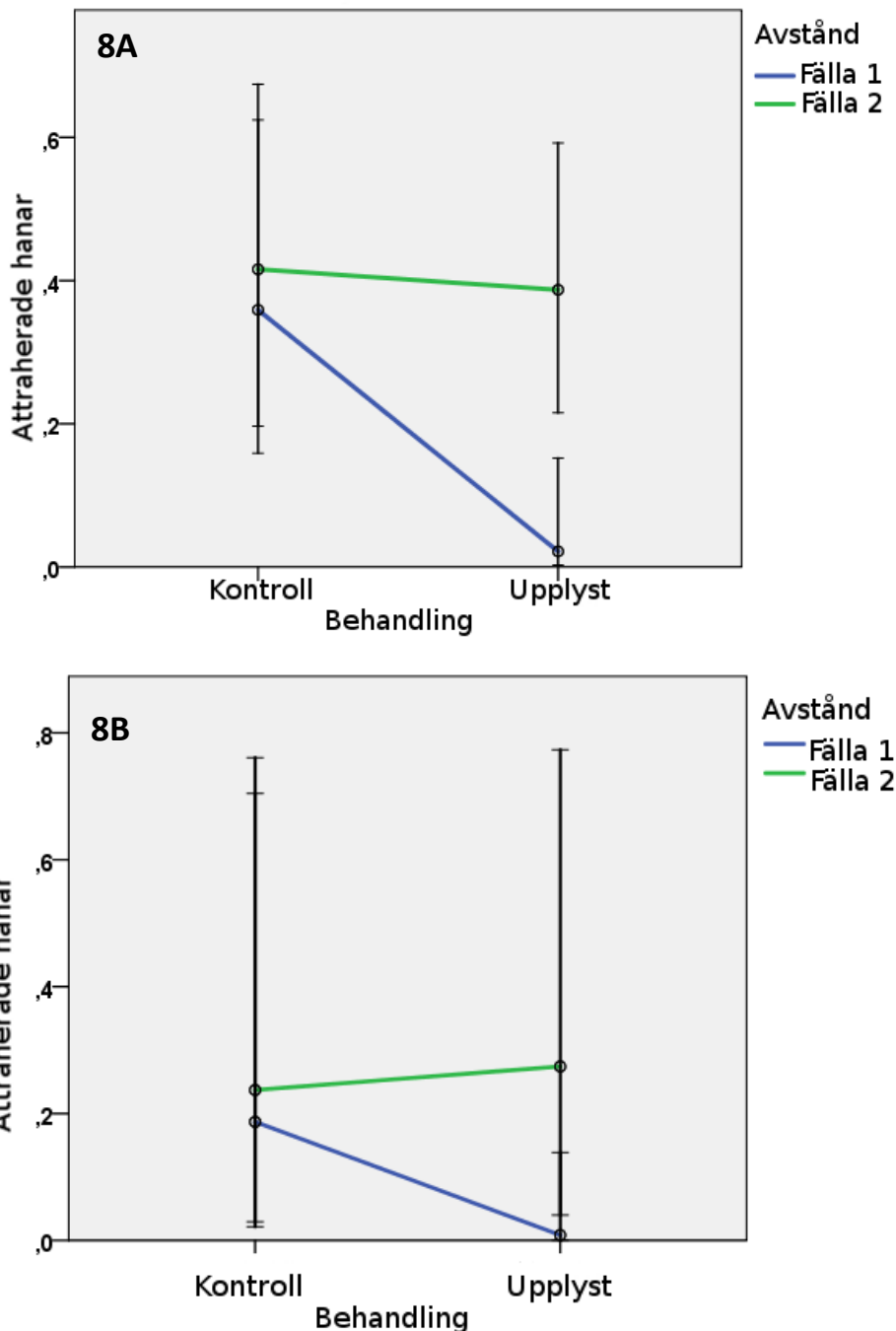
Sannolikhetsfördelning: Binominal. Länkfunktion: Logit.  
Beroende faktor: Attraherade hanar

**Tabell 4** Statistiska värden för Modell 2 över effekten av behandling, avstånd, experimentdag och plats på fällans attraktion av hanar.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	3,836	3	110	,012
Behandling	4,963	1	110	,028
Avstånd	8,854	1	110	,004
Behandling * avstånd	6,498	1	110	,012

Sannolikhetsfördelning: Binominal. Länkfunktion: Logit.  
Beroende faktor: Attraherade hanar

hanarna föredrog fälla 2 framför fälla 1, då fälla 1 utsattes för artificiellt ljus, medan någon större skillnad i preferens för fälla 1 eller 2 inte gick att skönja i frånvaron av artificiellt ljus (Bild 8b).



**Bild 8a & 8b** Inverkan av behandling samt avstånd till ljuskällan på andelen attraherade hanar (uppskattade medelvärden, 1= max, 0 = min, 95% konfidensintervall) med (Bild 8a) och utan (Bild 8b) plats integrerat i modellen. Hanar fångades sällan in i den fälla, som befann sig närmast den påslagna ljuskällan (fälla 1), medan ingen signifikant skillnad i preferens för den närmare (1) eller mer avlägsna (2) fällan syntes då lampan var avstängd.

### 3.2 Honans ljusstyrkas effekt på förmågan att attrahera hanar

Ingen signifikant effekt av honans ljusstyrka på ifall hanar fångades in upptäcktes, vare sig i fälla 1 eller 2, då observationerna för fälla 1 och 2 analyserades var för sig (Tabell 5 & 6), och inte heller på ifall hanar fångades in i de två olika behandlingsgrupperna (Tabell 7 & 8). Ingen interaktion mellan behandling och ljusstyrka ( $p > 0,7$ ) eller avstånd och ljusstyrka upptäcktes ( $p > 0,9$ ). I linje med övriga analyser inverkade behandling signifikant på om hanar fångades i fälla 1, så att hanar oftare fångades in i fälla 1 i kontrollgruppen än i experimentgruppen (Tabell 5). Avstånd inverkade signifikant på ifall hanar fångades in i experimentgruppen, så att hanar oftare fångades in i fälla 2 än fälla 1 (Tabell 8).

**Tabell 5** Statistiska värden för behandlingens samt ljusstyrkans effekt på attraktionen av hanar analyserat skilt för fälla 1, den närmre.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	2,591	3	53	,062
Behandling	7,664	1	53	,008
Ljusstyrka	,223	2	53	,800

Sannolikhetsfördelning: Binominal

Länfunktion: Logit

Beroende faktor: Attraherade hanar

**Tabell 6** Statistiska värden för behandlingens samt ljusstyrkans effekt på attraktionen av hanar analyserat skilt för fälla 2, den längre bort.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	,366	3	53	,778
Behandling	,019	1	53	,891
Ljusstyrka	,531	2	53	,591

**Tabell 7** Statistiska värden för avståndets samt ljusstyrkans effekt på attraktionen av hanar analyserat skilt för behandling 1, d.v.s. experimentgruppen.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	3,390	3	72	,023
Ljusstyrka	,339	2	72	,713
Avstånd	9,774	1	72	,003

Sannolikhetsfördelning: Binominal

Länfunktion: Logit

Beroende faktor: Attraherade hanar

**Tabell 8** Statistiska värden för avståndets samt ljusstyrkans effekt på attraktionen av hanar analyserat skilt för behandling 0, kontrollgruppen.

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	,111	3	34	,953
Ljusstyrka	,108	2	34	,898
Avstånd	,120	1	34	,731

### 3.3 Väderlekens inverkan på sannolikheten för att hanarna flyger

Väderleken noterades för sammanlagt 38 dagar, varav 16 med bra väder, 6 med intermediärt väder och 16 med dåligt väder. Behandling fungerade som grupperande variabel och väderleken som fast effekt.

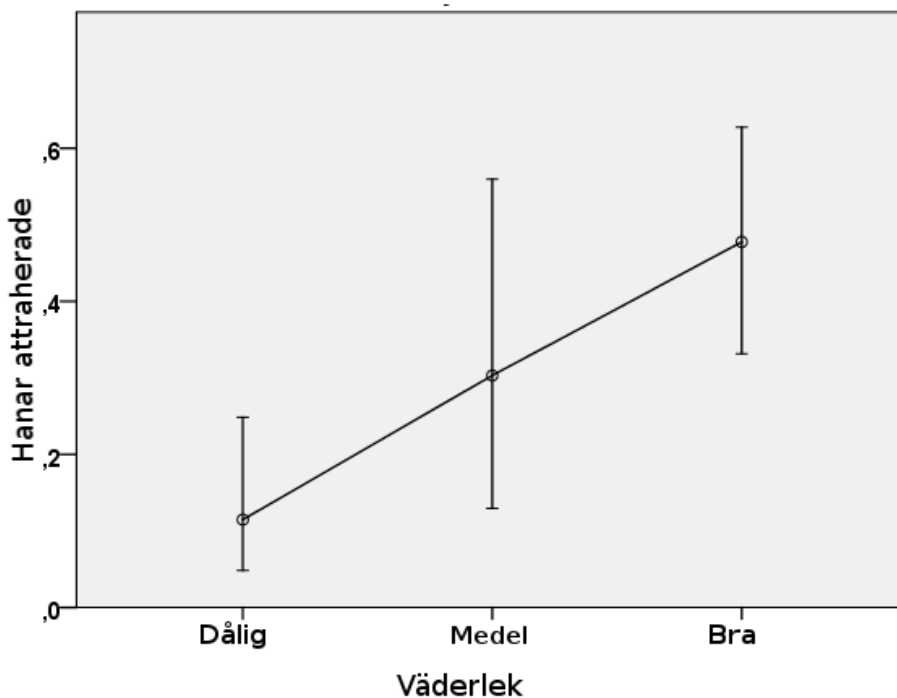
Väderleken inverkade signifikant ( $F_{2,110} = 6,007; p = 0,003$ ) på ifall hanar fångades in under en specifik natt, på så sätt, att hanar oftare fångades in under nätter med vackert väder än under nätter med dåligt (Tabell 9 & Bild 9). I linje med övriga analyser inverkade även behandlingen signifikant på så sätt, att hanar oftare fångades in vid frånvaron av artificiellt ljus ( $F_{1,110} = 4,682; p = 0,033$ ). Ingen interaktion mellan väder och behandling upptäcktes ( $F_{2,108} = 0,094; p = 0,911$ ).

**Tabell 9** Vädrets inverkan på ifall hanar fångades in: statistiska värden

Källa	F	df1	df2	P
Korrigerad modell	4,923	3	110	,003
Behandling	4,682	1	110	,033
Väderlek	6,007	2	110	,003

Sannolikhetsfördelning: Binomial. Länkfunktion: Logit

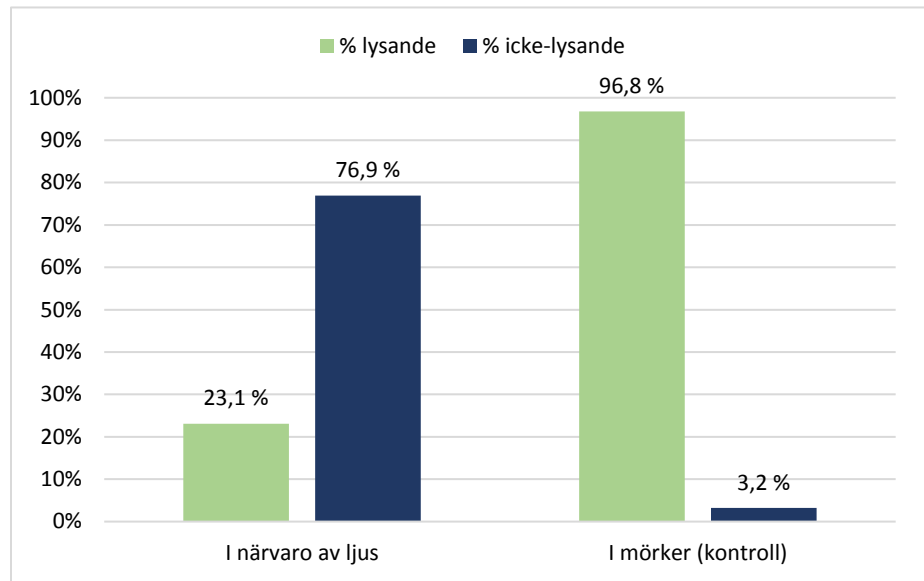
Beroende faktor: Attraherade hanar



**Bild 9** Väderlekens inverkan på andelen infångade hanar (uppskattade medelvärden 1 = max, 1 = min, 95% konfidensintervall). Hanar fångades oftare in ju bättre vädret var.

### 3.4 Inverkan av artificiellt ljus på sannolikheten för att honorna lyser

Sammanlagt ingick 63 honor i kontrollgruppen, och 26 i experimentgruppen vilken utsattes för ljus (totalt N=89). Honorna som utsattes för artificiellt ljus var betydligt mindre benägna att lysa under experimentet än kontrollhonorna ( $Wald X^2_1 = 29,289; p < 0,001$ ), och kontrollhonorna var 96,675 gånger mer benägna att lysa än honorna som utsattes för ljus (Tabell 10). Således associeras behandling med ljus med en reduktion i andelen lysande honor



**Bild 10** Andelen honor som lyste i närvaron respektive frånvaron (kontroll) av artificiellt ljus.

(Bild 10). Honans storlek inverkade däremot inte signifikant på benägenheten till att lysa ( $Wald X^2_1 = 0,154; p = 0,695$ ).

**Tabell 10** Inverkan av ljus samt storlek på ifall honorna lyser: statistiska värden (logistisk regression)

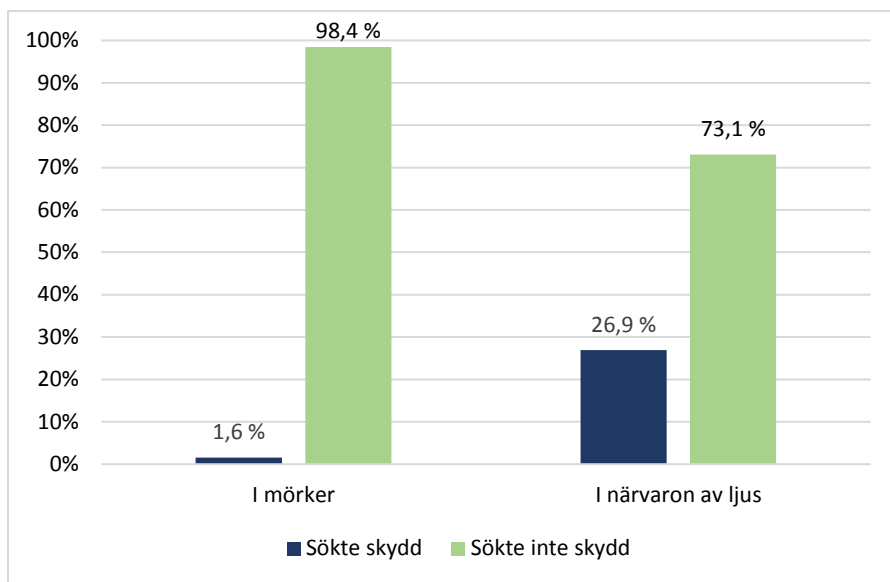
	B	S.E.	Wald	df	P	Exp(B)	95% C.I. för EXP(B)	
							Lägre	Övre
Behandling	4,571	,859	28,289	1	,000	96,675	17,936	521,076
Storlek	-,367	,937	,154	1	,695	,692	,110	4,345
Konstant	,142	3,317	,002	1	,966	1,152		

### 3.5 Inverkan av artificiellt ljus på sannolikheten för att honorna söker skydd

Sannolikheten för att en lysmaskhona ska söka skydd antingen genom att gräva ner sig i marken, eller under de för ändamålet tillhandahållna snäckskalerna, är signifikant större för honor som utsatts för artificiellt ljus i jämförelse med de honor som vistats i mörker ( $Wald X^2_1 = 7,224$ ;  $p = 0,007$ , Tabell 11 & Bild 11).

Experimentgruppens honor var 19,950 gånger mer benägna att gömma sig än kontrollhonorna som inte utsattes för ljus, och behandling med ljus associeras

således med en förhöjd tendens till att gömma sig (Bild 11). Storlek inverkade däremot inte signifikant på ifall en hona gömmer sig eller inte ( $Wald X^2_1 = 0,160$ ;  $p = 0,689$ ) (Tabell 11).



**Bild 11** Andelen honor som sökte skydd i marken eller under snäckskalerna vid närvaron och frånvaron av artificiellt ljus.

**Tabell 11** Inverkan av ljus samt honans storlek på sökande av skydd: statistiska värden (logistisk regression)

	B	S.E.	Wald	df	P	Exp(B)	95% C.I. för EXP(B)	
							Lägre	Övre
Behandling	2,993	1,114	7,224	1	<b>,007</b>	19,950	2,249	176,957
Storlek	-,395	,989	,160	1	,689	,674	,097	4,677
Konstant	-2,755	3,552	,602	1	,438	,064		

### 3.6 Inverkan av ljus på honans val av position

Ingen effekt av ljusbehandling ( $Wald X^2_1 = 0,093$ ;  $p = 0,761$ ) eller storlek ( $Wald X^2_1 = 0,209$ ;  $p = 0,648$ ) kunde påvisas på ifall honan valde att slå sig ner, eller att fortsätta röra på sig (Tabell 12). Ingen effekt av ljusbehandling ( $F_{1,73} = 0,440$ ;  $p = 0,509$ ) eller storlek ( $F_{1,73} = 0,571$ ;  $p = 0,452$ ) kunde heller påvisas för det avstånd från ljuskällan honorna valde att slå sig ner på (Tabell 13).

**Tabell 12** Inverkan av ljus på ifall honorna slog sig ner eller ej: statistiska värden

	B	S.E.	Wald	Df	P	Exp(B)	95% C.I.för EXP(B)	
							Lägre	Övre
Storlek	,373	,816	,209	1	,648	1,452	,293	7,192
Behandling	-,218	,715	,093	1	,761	,804	,198	3,267
Konstant	-3,105	2,910	1,138	1	,286	,045		

**Tabell 13** Inverkan av ljus på honornas val av position: ANOVA.

Källa	Type III Sum of Squares	f	Mean Square	F	P
Korrigerad modell	806,563 <sup>a</sup>	2	403,282	,557	,576
Intercept	290,393	1	290,393	,401	,529
Storlek	413,402	1	413,402	,571	,452
Behandling	318,622	1	318,622	,440	,509
Error	52893,371	73	724,567		
Totalt	54041,000	76			
Korrigerad totalt	53699,934	75			

a.  $R^2 = ,015$  (Korrigerat  $R^2 = -,012$ )

#### **4. Diskussion**

Resultaten tyder starkt på att artificiellt ljus har förmågan att påverka lysmaskarnas beteende samt sexuella signalering, då hanarna verkar ha svårt att finna honor i områden upplysta av artificiella ljuskällor och honorna verkar lysa mindre, samt föredra att gömma sig framför att förflytta sig till mörkare områden. Vad ligger bakom dessa responser, och vad innebär detta för lysmaskarna?

##### **4.1 Artificiellt ljus försämrar chanserna för att hanarna ska upptäcka honorna**

Lysmaskhonorna har det betydligt svårare att attrahera hanar under artificiellt ljus, och en möjlig förklaring till detta kunde vara, att honornas egna signaler täcks av det betydligt starkare artificiella ljuset. Antingen har hanarna svårare att se honorna, upplever dem som mindre attraktiva, eller så undviker de helt enkelt upplysta områden (Ineichen & Rüttimann 2012; Bird & Parker 2014). Detta korrelerar med både forskningshypoteserna, samt tidigare forskning, där hanarna upptäckts ha svårt att lokalisera honorna, och undvikit fällor utsatta för artificiellt ljus (Ineichen & Rüttimann 2012).

Av alla de nätter då hanar fångades in, attraherades hanarna allra flest gånger av de fällor som inte var upplysta av en artificiell ljuskälla. Sannolikheten för att detta skulle bero på enbart slumpen är liten, vilket också syns i de starkt signifikanta värden de statistiska analyserna ger. Frågan är dock, om hanarna alls ser honorna, eller bara upplever honorna i upplysta områden som mindre attraktiva? Och hur svagt eller starkt ljus räcker egentligen till för att hanarna skall börja diskriminera mot de honor som befinner sig i ljuset? I tidigare forskning som utförts i England har till exempel betydligt svagare lampor använts, med så låga nivåer som till och med 0.1 lx, vilket är lägre än både de naturliga ljusnivåer som uppmättes i Tvärminne vid midsommar (0.5 lx) och månsken (0.1 – 0.3 lx) (Bird & Parker 2004). Reagerar finska lysmaskhanar däremot på lika låga nivåer av ljusföreningar som de lysmaskar som Bird & Parker (2014) undersökte i England, eller har de större tolerans för ljus, då de är vana vid de finska, ljusa sommarnätterna? För att reda ut detta krävs mera forskning.

Ett par hanar fångades in i de fällor som var upplysta av artificiellt ljus, i motsats till Bird & Parkers (2014) resultat, där inte en enda hane fångades in i områden upplysta av gatlampor. Detta kunde tyda på, att hanarna nog ser de honor som lyser i närvaron av artificiellt ljus, men att de vanligen föredrar de honor som lyser i mörker, sannolikt för att de upplevs som både större och lyskraftigare, och därför undviker de honor som befinner sig i upplysta områden. Då hanarna tidigare påvisats föredra de starkast lysande honorna, eftersom honans storlek vanligen korrelerar positivt med både ljusstyrka och fekunditet (en liten hona kan ha ca 25 ägg, medan en stor kan ha uppemot 200!), är detta ett logiskt



beteende (Hopkins m.fl. 2015, ej publicerat material av Juhani Hopkins). Detta kräver dock mera forskning, och utesluter inte hypotesen om att hanarna helt bländas av artificiellt ljus.

Då hanarna föredrar honor som lyser i mörkare områden, och undviker upplysta, riskerar honorna som befinner sig i de upplysta områdena att i värsta fall dö utan att ha parat sig, då de helt enkelt inte lyckas locka till sig en partner (Ineichen & Rüttimann 2012). Även om man hoppades på det bästa, tolkade resultaten mildare, och ansåg att artificiellt ljus enbart innebar en lite längre väntan för honorna, utgör också detta en stor kostnad, speciellt för de små honorna som har påvisats förlora mest i fekunditet ifall de tvingas vänta länge på en partner (Hopkins m.fl. 2015, ej publicerat material av Juhani Hopkins). Detta kunde innebära, att artificiellt ljus skapar ett slags ”osthålshabitat”, där varje gatlampan skapar ett odugligt ”hål” i det annars dugliga habitatet (Ineichen & Rüttimann 2012). Ifall ett område som annars kunde fungera som lämpligt habitat för lysmaskar är upplyst av artificiellt ljus, fungerar ljuset som ett slags habitatförstörelse, då det gör för övrigt dugligt habitat odugligt. Lysmaskarna har på flera håll rapporterats vara på tillbakagång (Gardiner 2009, Lewis 2016), och dessa resultat, i kombination med upptäckten att honorna inte verkar undvika upplysta områden även om hanarna gör det (se avsnitt 4.3) stöder teorin om att ljusföroreningarna, tillsammans med flera andra faktorer, såsom bland annat övrig habitatförstörelse och insektgifter, sannolikt är en av orsakerna (Lewis 2016).

I kontrollgruppen, såsom i experimentgruppen, fördelades hanarna sällan jämt mellan fällorna varje natt, fastän ljuskällan var avstängd och fällorna torde varit identiska, då de bestod av samma komponenter. Vanligen föredrog hanarna således endera fällan, men detta var oberoende av vilken som befann sig närmare den avstängda ljuskällan (se Tabell 8, avståndet till den avstängda ljuskällan inverkar inte signifikant på om hanar attraherades). Detta stärkte också beslutet om att inte utnyttja hanarnas absoluta antal i analyserna, då det fanns en möjlighet, att enbart den första hanen som anlände valde fälla på basen av hur attraktiv den föreföll, och att de påföljande hanarna istället drogs till samma fälla som en följd av att det redan fanns en hane närvarande vid den. Det finns till exempel andra arter i familjen Lampyridae, som utnyttjar sig av olika slags feromoner för att locka till sig en partner, men den stora lysmasken räknas däremot inte till dessa (Schwalb 1961, Lewis 2016). Däremot är en möjlig förklaring till varför hanarna vanligen föredrog en viss fälla vid frånvaron av artificiellt ljus, att den riktning hanarna närmade sig fällorna från påverkade valet, då ljuset från den fälla som befinner sig allra närmast hanen sannolikt verkar starkare än den som befinner sig längre bort. Detta stöds av att lysmaskhanarna har svårt att pålitligt avgöra skillnader i ljusstyrka på två honor som befinner sig på

olika avstånd från hanen, och att till och med svagare honor klarar av att locka till sig en hane, ifall hanen råkar närma sig från ett lämpligt håll (ej publicerat material av Juhani Hopkins & Arja Kaitala). Också tidigare har stötts på samma fenomen, att hanarna vanligen föredrog en viss fälla även om flera lika starka fällor fanns till buds, och det har föreslagits att detta kunde bero just på att hanarna närmat sig från ett sådant håll, att denna fälla var den första de stötte på, och att den verkade starkare än de fällor som befann sig längre bort i förhållande till den (ej publicerat material av Juhani Hopkins & Arja Kaitala). En möjlig förklaring till varför lysmaskarna alla närmat sig från ett visst håll, kunde eventuellt vara vindriktningen, då hanarna är små och sannolikt oftare följer med vinden än flyger emot den. Ofta förpuppas lysmaskarna också i små grupper (Tyler 1994), så det är möjligt att de hanar som fångats in en viss natt har kläckts ur sina puppor vid ungefär samma tidpunkt och område, och därför närmar sig från ett och samma håll. Det är förstås också möjligt att det fanns ytterst små skillnader i ljusstyrka mellan fällorna, även om detta är osannolikt då alla komponenter var identiska. Även om hanarna i kontrollgruppen vanligen alla drogs till en och samma fälla en viss natt, istället för att fördelas jämnt på bägge fällorna, är sannolikheten för att hanarna i experimentgruppen, där ljuskällan var påslagen, enbart baserat på slumpen alltid skulle ha föredragit den fälla som befann sig i mörker framom den som befann sig i ljuset, ytterst liten. Under den månad som fällorna placerades ut, fångades hanar i kontrollgruppen totalt in nästan lika många gånger i de bägge fällorna, vilket tyder på, att hanarnas fördelning mellan de bägge fällorna i kontrollgruppen påverkades av någon annan faktor än avsaknaden av ljus.

Det är möjligt, att resultaten kan ha påverkats av att sammanlagt sex olika platser utnyttjades istället för de ursprungliga tre planerade. Platsernas effekt torde ändå vara tämligen liten, såsom också analyserna indikerar, i och med att kombinationerna av behandling samt ljusstyrka utlottades slumpmässigt mellan de olika platserna.

Ett av undersökningens mål var att ta reda på hur honans egna ljusstyrka inverkar på i vilken grad hanar lockas till platsen. Detta gick slutligen inte att analysera pålitligt med den fulla modellen som en följd av för få replikat, men den reducerade modellen antydde, att ljusstyrkan inte hade någon effekt. Tidigare forskning har dock visat att hanarna vanligen föredrar de honor som upplevs vara störst och lysa starkast (Hopkins m.fl. 2015). Vidare forskning kunde således sträva till att undersöka denna aspekt, till exempel genom att utreda, hur lyskraftig en hona egentligen måste vara för att lyckas locka till sig hanar under en lampa, och ”vinna” över den hona som befinner sig i mörker (t.ex. en mindre

stark fälla i mörker, och en starkare i ljus). För att kunna utreda ifall en hane föredrar en viss ljusstyrkas hona framför en annan, skulle det vara viktigt att placera de tävlande fällorna med olika styrkor på samma ställe, såsom Hopkins m.fl. (2015), och inte skilt från varandra, som i detta experiment.

Ifall denna undersökning upprepades, skulle det vara användbart att utnyttja sig av flera fällor på ett och samma ställe, inte bara två, då detta skulle multiplicera mängden insamlad information per plats, per natt, och ge möjlighet till att undersöka effekten av flera olika avstånd till ljuskällan. Detta skulle vara av stor nytta, då lysmaskhanar vissa nätter fångades in i stora mängder (t.o.m. 20 i en och samma fälla), medan de flesta nätter enbart ett fåtal, eller inga alls fångades in. Insamlingen av data kunde således ha fungerat mera effektivt. Dock lönar det sig i detta fall att se över själva provuppställningen, då lysmaskarnas val av hona också beror starkt av den riktning hanarna kommer flygande ifrån (ej publicerat material av Juhani Hopkins & Arja Kaitala), och detta innebär, att de mittersta fällorna i en rad eller i flera cirklar alltid kommer att missgynnas, då hanarna aldrig stöter på dessa fällor först. Möjligtvis kunde en enkel cirkel bestående av ett flertal fällor fungera. Alternativt kunde flera stationer användas på samma plats under samma natt.

#### **4.2 Dåligt väder missgynnar lysmaskhanarna**

Vädrets inverkan på insekters beteende har undersökts tidigare, men inte explicit gällande lysmaskar, även om muntlig information gällande väderlekens betydelse existerar. Resultaten stämmer överens med denna muntliga kunskap, och tyder på att desto färre hanar flyger ju sämre vädret är; då det är regnigt, blåsigt och kallt, söker få hanar efter honor, medan fler flyger då det är varmt och vindstillt. Liknande resultat har fått också för andra insektsgrupper (Wellington 1946; Pellegrino m.fl. 2013). Enligt forskarna kunde detta bero på att hård vind och regn gör det svårare för insekterna att ta sig fram, ökar risken för skador och förhöjer mortaliteten. Detta innebär att anpassningar och beteenden som hjälper individen att upptäcka förändringar i väderleken är adaptiva, och förhöjer individens fitness (Pellegrino m.fl. 2013). Det som hanarna förlorar på att inte flyga då vädret är missgynnsamt, och på att vänta längre innan de får möjlighet att para sig, vinner de på i form av en potentiellt längre livslängd, och således potentiellt flera parningsmöjligheter.

I linje med tidigare lysmaskforskning (Dreisig 1971; Bird & Parker 2014) påverkades lysmaskhanarna mer än honorna av vädret: lysande honor syntes ofta (Bird & Parker 2014; egna observationer) också de nätter då inga hanar fångades. Dessa skillnader kunde bero på att hanarna och honorna utvecklade skilda responser till olika väderförhållanden, eftersom selektionstrycket sett olika ut för de båda könen.

Då honorna inte flyger påverkas de inte i samma grad av väder och vind som hanarna, och då väntande utgör en stor kostnad i förhållande till att lysa (Hopkins m.fl. 2015, ej publicerat material av Juhani Hopkins) lönar det sig för honorna att lysa även om sannolikheten för att locka till sig en partner är lägre än normalt. Det är alltså mera riskfyllt för honorna att inte lysa än att lysa, ifall de därför missade en potentiell partner. För hanarna kräver flygandet däremot mycket energi även vid gynnsamma väderförhållanden (att flyga genom att flaxa anses vara ett av de mest energikrävande sätten för en organism att ta sig fram), och att flyga i stormigt väder gör det dessutom svårare att navigera och ökar risken för olyckor (Neville 1965; Pellegrino m.fl. 2013). Således utgör det en större risk för hanarna att ge sig ut i stormigt väder än att avvakta situationen.

Dåligt väder kunde innebära, att honorna i brist på hanar tvingas fortsätta lysa längre än normalt då de vanligen slutar lysa efter att de parat sig (Bird & Parker 2014). Då väntandet anses innebära en förlust i fekunditet, speciellt för små honor (ej publicerat material av Juhani Hopkins), då de tvingas utnyttja energin i sina ägg för att överleva medan de väntar, innebär detta också, att en extra regnig sommar, speciellt i kombination med mycket artificiellt ljus, kunde innebära ett extra missgynnsamt år för lysmaskarnas förökning. Frågan är hur klimatförändringen med sitt allt mer oförutsägbara väder och potentiellt större nederbördsmängder (Fawcett m.fl. 2017) kommer att påverka lysmaskarna, och de andra insektsarter som undviker att flyga i väder som riskerar att förkorta deras livslängd.

### **4.3 Artificiellt ljus får lysmaskhonorerna att gömma sig och lysa mindre, men inte att röra sig bortåt**

Betydligt färre honor lyste under närvaron av artificiellt ljus, enbart ca 23%, och de ville också oftare gömma sig. Detta är ett annat resultat än det som fåtts från tidigare forskning (Ineichen & Rüttimann 2012) där honor hittats oberört lysandes under vanliga gatlampor. Då Ineichen & Rüttimann dock inte nämner vid vilken tidpunkt lamporna vanligen tändes, är det däremot möjligt att omgivningens ljusnivåer hann sjunka tillräckligt för att honorna skulle börja lysa innan lamporna hann tändas – inte en omöjlighet i Tyskland, där skymningen faller snabbare än i Finland. I mitt experiment tändes de artificiella ljuskällorna redan före lamporna i laboratoriet släcktes, så det är möjligt, att honorna trodde det fortfarande var dag, och därför mera sällan valde att lysa, och istället oftare strävade till att gömma sig. Detta är en naturlig reaktion, då lysmaskarna i naturen vanligen spenderar dagen i skydd under till exempel stenar, blad och grenar (Lewis 2016). För att utreda detta kunde vidare forskning sträva efter att undersöka om honorna fortsätter lysa även om en ljuskälla tänds efter att lysandet redan påbörjats.

Dessutom kunde ljusnivåns effekt undersökas: hur låga/höga ljusnivåer krävs för att honornas lysande skall påverkas? Till exempel fann Dreisig (1975), att en del honor inte börjar lysa ifall omgivningens ljusnivå ligger på ca 1 lx, och att ingen aktivitet alls skedde då ljusnivån låg på 10 lx. Det kunde dock vara givande att undersöka ytterligare, då det är möjligt att de finska lysmaskarna har en högre tolerans för ljus än sina mera sydliga artfränder, då nätterna i Finland kring midsommar (då lysmaskarna vanligen är som mest aktiva) är tämligen ljusa.

Ljuset verkade inte få honorna att röra sig bortåt eller närmare i förhållande till ljuskällan, vilket passar ihop med de övriga resultaten, då de flesta av honorna valde att gömma sig eller inte lysa alls. Detta kunde som ovan nämnt bero på att ljuset helt enkelt var så starkt, att det uppfattades som dagsljus, och den primära reaktionen således blev att söka skydd, eller att vänta på skymningen istället för att börja söka efter ett lämpligt ställe att lysa från. Det är möjligt att honorna skulle ha reagerat annorlunda, ifall ljuset som användes i experimentet varit svagare, och varit mera diffust (riktat t.ex. uppifrån än rakt från sidan) och mera motsvarat en vanlig gatlyktas ljus. Vidare forskning borde således sträva till att justera både ljusets intensitet samt riktning.

Då resultaten från fält- och laboratorie-experimenten kombineras (se avsnitt 4.2), upptäcks således att hanarna inte bara har svårt att finna de lysande honorna då de lyser i upplysta områden, utan att honorna också, istället för att förflytta sig mot ett mörkare område, mera sällan väljer att alls lysa, och istället gömmer sig. Detta står i samklang med tidigare forskning, där det upptäckts, att honorna inte verkar välja habitat enligt ljusnivå och överlag rör sig mycket lite som vuxna, samtidigt som redan mycket låga nivåer av artificiellt ljus inverkar på hanarnas förmåga att upptäcka honorna (Ineichen & Rüttimann 2012; Bird & Parker 2014). Hanarna och honorna reagerar således mycket olika då de utsätts för artificiellt ljus: hanarna undviker upplysta områden, medan honorna inte verkar göra det. Ifall det upptäckts att honorna undviker upplysta områden, kunde detta innebära, att ljusföroreningarna sist och slutligen inte innebära någon större risk för lysmaskarna, men så är dock inte fallet. Således innebär resultaten, att ifall en lysmaskhona i naturen lyser under en artificiell ljuskälla, så kommer hon att högst antagligen dö utan att para sig (Bird & Parker 2014). Ljusföroreningarna innebär i detta fall en form av habitatförstörelse, som i kombination med den övriga habitatförstörelsen orsakad av antropogen verksamhet, ytterligare fragmenterar lysmaskarnas redan krympande habitat (Gardiner 2009; Bird & Parker 2014; Lewis 2016). Denna synbara avsaknad av adaptiva responser på artificiellt

ljus, kunde således försämra lysmaskarnas förökningsframgång, och via detta också påverka populationsstorleken negativt.

#### **4.4 Antropogen verksamhet som påverkare av attraktion och kommunikation**

Dessa forskningsresultat, där honornas sexuella signaler grumljas av artificiellt ljus, kan fogas till det växande antal undersökningar som tyder på att olika former av antropogen verksamhet har förmågan att på många sätt försämra organismernas möjligheter till att kommunicera med varandra, och attrahera varandra, oberoende av om organismerna använder sig av ljud-, ljus- eller doftsignaler (Rodewald m.fl. 2011, Wong 2014). Effekter av antropogen verksamhet på kommunikation har redan påvisats för ett flertal arter: till exempel påverkar oljud sången hos många fågelarter, då de har svårt att göra sig hörda över trafiken, och därför tvingas förändra både frekvensen och tidpunkten för sin sång (Dorado-Correa m.fl. 2016), medan fiskars akustiska kommunikation hämmas av oljud från båttrafiken (Slabbekoorn m.fl. 2010). Då det gäller ljusföroreningar, får dessa inte bara lysmaskhanarna att missa potentiella partners, utan samtidigt påverkar det bland annat många fåglars dygns- och årsrytmer, så att de börjar sjunga tidigare än normalt på både året och dygnet (Da Silva m.fl. 2016). Sångens komplexitet och tidpunkt är för många fågelarter viktiga kvalitetsindikatorer, och den antropogena verksamheten har förmågan att påverka dessa signaler på så sätt, att de inte längre är lika pålitliga som förr (Da Silva m.fl. 2016). Antropogen verksamhet orsakar också utsläpp av olika kemikalier och luftburna föroreningar, vilka i sin tur har förmåga att påverka doftsignaler av olika slag. Till exempel har det upptäckts, att kommunikationen mellan växter och pollinerande insekter påverkas av kemikalier, vilka gör doftsignalerna svårare att både upptäcka och tolka (Jürgens & Bischoff 2016). Således har antropogen verksamhet förmågan att påverka hela organismsamhällen, och antropogena störningar, såsom buller, ljusföroreningar och kemikalier, kan göra organismernas signaler mindre användbara genom att försvaga eller täcka över dem, eller till och med genom att signalera felaktig information, och skapa ekologiska fällor då organismerna på grund av detta gör val som inte maximerar deras fitness (Rodewald m.fl. 2011).

Ifall arterna som utsätts för antropogena störningar inte har möjlighet att fortsätta leva i de utsatta områdena genom att anpassa sig till dessa, är en alternativ lösning att flytta någon annanstans (ifall habitatet inte är allt för fragmenterat, eller begränsat av geografiska hinder för att det skall lyckas) (Wong & Candolin 2015). Förutom lysmaskhanar undviker bland annat små gnagare och hjortar (Bliss-Ketchum m.fl. 2016) upplysta områden, medan fåglar och fiskar tenderar att undvika bullriga områden

såsom vägar och livligt trafikerade vattenområden (Slabbekoorn m.fl. 2010; McClure m.fl. 2013). Således har antropogen verksamhet förmågan att både förändra artkompositionen och också sänka biodiversiteten i de områden som påverkas, då de arter som är extra känsliga för störningar missgynnas, och i värsta fall försvinner helt från området.

Antropogen verksamhet förändrar omgivningen och påverkar organismerna i området på många sätt. Olika former av antropogena störningar har vanligen undersökts skilt för sig, och forskningen har fokuserat på en form av störning i taget. Oljud, ljus och andra föroreningar förekommer dock sällan ensamma i verkligheten, utan tenderar att koncentreras där mänsklig verksamhet förekommer: en upplyst, livligt trafikerad väg ger till exempel upphov till både ljusföroreningar, oljud och olika slags utsläpp. Som en följd av detta har antropogen verksamhet förmågan att påverka de utsatta organismerna och deras levnadsmiljöer via många olika rutter, vilket innebär, att de flesta växter och djur påverkas på något sätt, må det vara positivt eller negativt. Således finns det ett behov av ytterligare forskning ur ett bredare perspektiv, då fenomenet är mycket mångfacetterat och komplicerat.

#### **4.5 Antropogen verksamhet som drivare av maladaptiva beteenden**

De första responserna på antropogena störningar är vanligen beteenderelaterade och plastiska (Pigliucci 2001; Candolin 2011; Wong & Candolin 2015). Dessa responser kan komma till nytta, ifall de ökar individens fitness och förbättrar överlevnadschanserna, men responserna kan även vara maladaptiva, vilket kan få digra följder (Ghalambor m.fl. 2007; Sih m.fl. 2011; Tuomainen & Candolin 2011).

Sannolikheten för att de beteenderelaterade responserna är maladaptiva växer då organismerna utsätts för sådana förhållanden som de inte tidigare erfarit under sin evolutionära historia. Vanligen är orsaken till detta, att en antropogen förändring ger upphov till en ny maladaptiv respons, vilken orsakar ett nytt maladaptivt beteende, alternativt att ett tidigare adaptivt beteende bibehålls, även om det under de nya förhållandena är maladaptivt (Ghalambor m.fl. 2007; Tuomainen & Candolin 2011). Då

lysmaskhonorna utsattes för ljus, reagerade dessa genom att oftare gömma sig och att välja att inte lysa. Detta är en beteenderelaterad, plastisk respons, som sannolikt är sammanlänkad med förmågan att avläsa omgivningens ljusnivå, och att kunna avgöra när det är dags att börja lysa (Dreisig 1975). Att kunna reagera korrekt på omgivningens ljusnivå är normalt ett adaptivt beteende, då det hjälper lysmaskhonorna att lysa vid sådana tidpunkter då deras egna signaler är synliga för hanarna: en hona som lyser på dagen har inga chanser att locka till sig en hane, och slösar endast med energi. I detta fall driver dock det artificiella ljuset ett maladaptivt beteende, då det bibehåller ett tidigare adaptivt

beteende ("göm dig när det är ljust, kom fram och lys när det är mörkt). I närvaron av artificiellt ljus är beteendet maladaptivt, eftersom en hona som lever i ett upplyst område bedömer att det är dag på basen av ljusnivåerna, vilket sänker sannolikheten för att hon skall lysa, vilket i värsta fall leder till att hon dör utan att ha parat sig. Ifall honorna flyttade sig till ett annat område istället, skulle det enbart vara en fråga om en fragmentering av habitatet, och de flesta honor skulle ändå ha möjlighet att para sig, även om de potentiellt förlorade energi på att förflytta sig (Hopkins m.fl. 2015). Då lysmaskhonorna inte verkar undvika ljus förvärrar detta alltså ljusföroreningarnas negativa effekter ytterligare, då det artificiella ljuset inte bara åstadkommer ett odugligt habitat, utan ett habitat som gör att de honor som befinner sig där i värsta fall dör utan avkomma.

Antropogena störningar, såsom ljus, men också buller och föroreningar har påvisats kunna ge upphov till maladaptiva beteenden och ekologiska fällor hos ett flertal organismer. Många växter och djur använder sig av till exempel omgivningens ljusnivåer för att bedöma tidpunkten på dygnet, och anpassar sin aktivitet därefter (Bará 2016; Dominoni m.fl. 2013; Raap m.fl. 2015), medan andra utnyttjar sig av naturliga ljuskällor för att till exempel söka föda och navigera. Till exempel har det påvisats, att många fåglar luras av artificiellt ljus på så sätt, att de tror att dagen är längre än vad den är, och som en följd av detta vaknar för tidigt och somnar för sent, och som en följd av detta lider av sömnbrist (Raap m.fl. 2016). Många havsfåglar och -sköldpaddor utnyttjar sig av mån- och stjärnljus för att navigera, en mycket användbar egenskap i normala fall, men artificiellt ljus förvirrar dem och får dem att navigera fel, och i värsta fall krocka i de strukturer de artificiella ljuskällorna är fästa vid (Silva m.fl. 2017; Rodríguez m.fl. 2017). Många djur blir också mera vaksamma och stressade i närvaron av mänsklig aktivitet (tidigare ett adaptivt beteende, som hjälper djuren att undvika potentiellt dödliga möten med människor) vilket kan leda till att de lättare överger sina byten och bon ifall de blir störda (Green & Giese 2004). Beteendet blir maladaptivt, ifall närvaron av turister eller oljud inte i verkligheten utgör något större hot, och djuren upprätthåller en stressreaktion i onödan (Tuomainen & Candolin 2011).

Antropogena förändringar och störningar av olika slag kan således skapa ekologiska och evolutionära fällor, och driva uppkomsten av maladaptiva beteenden genom att förvränga sådana signaler som tidigare ansetts pålitliga kvalitetsindikatorer, och få organismerna att göra val som inte längre maximerar deras fitness (Schlaepfer m.fl. 2002).



#### 4.6 Vad kan göras?

Ljutföroreningar har påvisats ha förmågan att påverka både växter, däggdjur, insekter, fåglar, fiskar och kräddjur med flera (Sih m.fl. 2011; Bennie m.fl. 2015; Gaston m.fl. 2015). Tillsvidare omnämns dock inte ljutföroreningar specifikt i finsk lag, och det existerar heller inga internationella avtal som skulle fokusera specifikt på ljutföroreningar (Lyytimäki 2014). Ljutföroreningar är i förhållande till de flesta andra slags föroreningar relativt lätta att åtgärda, då de försvinner ur omgivningen direkt då ljuskällan släcks (även om det förstås tar en tid för att alla effekter skall hinna försvinna), men den stora mängden av aktörer, från privatpersoner till kommuner och multinationella bolag, gör fenomenet svårt att reglera. Det är helt enkelt krävande att kontrollera och koordinera all verksamhet (Lyytimäki 2014; Gaston m.fl. 2015). Således skulle det vara av stor vikt att integrera information om ljutföroreningar i den miljöfostran allmänheten erbjuds, samt att utveckla både lagstiftningen och de internationella avtalen gällande ljutföroreningar (Lyytimäki 2014).

Även om lagstiftningen släpar efter då det gäller ljutföroreningar, finns det mycket som kan göras för att minimera ljutföroreningarnas negativa effekter, inte bara då det gäller lysmaskar, utan alla arter som påverkas av dessa. Till exempel kunde mängden ströljus (*”stray light”*) begränsas genom att förbättra lampornas utformning, och genom att undvika lampor som lyser uppåt eller åt sidorna. Dessutom innebär teknikens framsteg gällande LED-belysning, att också intensiteterna samt spektrumet nuförtiden går att skraddarsy så att de stör organismerna så lite som möjligt (Gaston m.fl. 2012, Lyytimäki 2014). Till exempel borde blått ljus undvikas, då det påvisats ha förmågan att påverka både människors och djurs biologiska rytmer (Gaston m.fl. 2012).

Vi använder oss vanligen av ljus för att förlänga vår aktiva tid på dygnet, öka säkerheten och känslan av trygghet, men också för nöjen, såsom reklam och upplysning av byggnader (Gaston m.fl. 2015). Således är det klart, att nattlig belysning inte bör förbjudas totalt, då det skulle öka känslan av otrygghet, och i värsta fall leda till olyckor och brottslighet (Gaston m.fl. 2012, 2015). Då det gäller ljutföroreningar, skulle det dock vara viktigt att skydda de områden som ännu inte är upplysta, inte använda sig av ljus i onödan, och släcka belysningen då den inte behövs. Till exempel kunde tidpunkten då gatlyktor hålls tända begränsas till de klockslag då vi människor är som mest aktiva, och småtimmarna kring midnatt och tidig morgon, då bland annat lysmaskarna är som mest aktiva, fredas (Gaston m.fl. 2012; Lyytimäki 2014). Adaptiv belysning, som tänds enbart då den behövs, via till exempel rörelsesensorer, tryckknappar eller till och med via internet eller sms är också ett mycket

lovande alternativ som redan används på flera håll i världen (Gaston m.fl. 2012). En ytterligare fördel med att begränsa användningen av nattligt ljus, förutom naturskyddaspekterna, är att det sparar både pengar och energi, och på så sätt indirekt bidrar till att bromsa klimatuppvärmningen (Lyytimäki 2014).

## **5. Slutsatser**

Lysmaskarnas beteende samt sexuella signalering påverkas av artificiellt ljus: hanarna har svårare att finna honor under artificiellt ljus, färre honor lyser, och honorna verkar inte heller förflytta sig till mörkare områden då de utsätts för artificiellt ljus. Då mängden ljusföroreningar ständigt ökar, lysmaskpopulationerna anses vara på tillbakagång, klimatförändringen medför allt mer instabilt väder och ljusföroreningarnas vidare följder ännu är dåligt kända, är ytterligare forskning, utveckling av lagstiftningen samt upplysning av allmänheten av största vikt.

Allt större delar av jorden omfattas av mänsklig verksamhet, och dessa resultat stöder dem som fått från tidigare forskning, där antropogena störningar påvisats påverka beteendemönster och försvåra kommunikationen mellan organismer. Oberoende av om organismerna klarar av att anpassa sig till de antropogena störningar vi ger upphov till eller ej, kommer dessa sannolikt att orsaka förändringar i både beteende och kommunikation hos ett flertal organismer. Då långtidseffekterna och de kombinerade effekterna av olika slags antropogena störningar tills vidare är dåligt kända, är ytterligare forskning av yttersta vikt.

## **6. Tack**

Tack till min handledare Ulrika Candolin för allt stöd, samt till Arja Kaitala för att jag fick möjligheten till att göra detta arbete. Tack till Juhani Hopkins och Anna-Marie Borshagovski för alla goda råd gällande experimenten, Hanna Granroth-Wilding för givande diskussion gällande analyserna och till Hannu Pietiäinen för träffsäkra kommentarer. Tack till Uleåborgs universitet samt Victoriastiftelsen för ekonomiskt stöd. Tack till Tvärminne zoologiska station.

## 7. Litteratur

- Auge, G. A., Leverett, L. D., Edwards, B. R., Donohue, K. 2017: Adjusting phenotypes via within- and across-generational plasticity. — *New Phytology* 216 (2): 343–349.
- Bará, S. 2016: Anthropogenic disruption of the night sky darkness in urban and rural areas. — *Royal Society Open Science* 3.
- Bennie, J., Duffy, J., Davies, T., Correa-Cano, M. & Gaston, K. 2015: Global trends in exposure to light pollution in natural terrestrial ecosystems. — *Remote Sensing* 7: 2715 – 2730.
- Bird, S. & Parker, J. 2014: Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. — *Journal of Insect Conservation* 18 (4): 737 – 743.
- Booth, D., Stewart, A., J., A. & Osorio, D. 2004: Colour vision in the glow-worm *Lampyrus noctiluca* (L.) (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism. — *The Journal of Experimental Biology* 207: 2373 – 2378.
- Botero, C. A., Weissing F. J., Wright, J & Rubenstein D. R. 2015: Evolutionary tipping points in the capacity to adapt to environmental change. — *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112 (1): 184 – 189.
- Bliss-Ketchum, L., de Rivera, C., Turner, B. & Weisbaum, D. 2016: The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure. — *Biological Conservation* 199: 25 – 28
- Bonduriansky, R. 2001: The evolution of male mate choice in insects: A synthesis of ideas and evidence. — *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 76: 305 – 339.
- Brakefield, P. M. 1987: Industrial melanism: Do we have the answers? — *Trends in Ecology & Evolution* 2 (5): 117 – 122.
- Branham, M.A. & Wenzel, J.W. 2003: The origin of photic behavior and the evolution of sexual communication in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). — *Cladistics* 19: 1 – 22.
- Chevin, L. M., Lande, R., Mace, G. M. 2010: Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: Towards a predictive theory. — *PLoS Biology* 8 (4).
- Da Silva, A., Valcu, M., & Kempenaers, B. 2015: Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. — *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370 (1667).
- Da Silva, A., Valcu, M. & Kempenaers, B. 2016: Behavioural plasticity in the onset of dawn song under intermittent experimental night lighting. — *Animal Behaviour* 117: 155 – 165.
- Day, J.C., Tisi, L.C. & Bailey, M.J. 2004: Evolution of beetle bioluminescence: The origin of beetle luciferin. — *Luminescence* 19: 8 – 20.
- Day, J., C. 2011: Parasites, predators and defence of fireflies and glow-worms. — *Lampyrid* 1: 70 – 102.

- De Cock, R. & Matthysen, E. 2003: Glow-worm larvae bioluminescence (Coleoptera: Lampyridae) operates as an aposematic signal upon toads (*Bufo bufo*). — *Behavioral Ecology* 14: 103 – 108.
- De Cock, R. 2004: Larval and Adult Emission Spectra of Bioluminescence in Three European Firefly Species. — *Photochemistry and Photobiology* 79: 339 – 342.
- Dominoni, D. M., Quetting, M. & Partecke, J. 2013: Artificial light at night advances avian reproductive physiology. — *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280 (1756).
- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M. & Brumm, H. 2016: Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. — *Royal Society Open Science* 3 (7).
- Dreisig, H. 1971: Control of glowing of *Lampyris noctiluca* in the field (Coleoptera: Lampyridae). — *Journal of Zoology* 165: 229 – 244.
- Dreisig, H. 1975: Environmental control of the daily onset of luminescent activity in glowworms and fireflies (Coleoptera: Lampyridae). — *Oecologia* 18: 85 – 99.
- Dreisig, H. 1978: The circadian rhythm of bioluminescence in the glowworm, *Lampyris noctiluca* L. (Coleoptera, Lampyridae). — *Behavioral Ecology and Sociobiology* 3: 1 – 18
- Fawcett, D., Pearce, T., Ford, j., D. & Archer, L. 2017: Operationalizing longitudinal approaches to climate change vulnerability assessment. — *Global Environmental Change* 45: 79 – 88.
- Gardiner, T. 2009: Glowing, glowing, gone? A history of Glow-worm recording in the UK. — *British Naturalists' Association*.
- 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: 1256–1266.
- Gaston, K. J., Gaston, S., Bennie, J. & Hopkins, J. 2015: Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. — *Environmental Reviews* 23 (1): 14 – 23.
- Ghalambor, C., K., McKay, J., K., Carroll, S., P., & Reznick, D., N. 2007: Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. — *Functional Ecology* 21 (3).
- Green, R & Giese, M. 2004: Negative impacts of wildlife tourism on wildlife. I verket Higgingbottom, K. (red.) *Wildlife Tourism – Impacts, Management and Planning*, 81 – 97. Common Ground Publishing Pty Ltd, Australien.
- Hopkins, J., Baudry, G., Candolin, & Kaitala, A. 2015: I'm sexy and I glow it: Female ornamentation in a nocturnal capital breeder. — *Biological Letters* 11 (10).
- Ineichen, S. & Rüttimeann, B. 2012: Impact of artificial light on the distribution of the common European glow-worm, *Lampyris noctiluca* (Coleoptera: Lampyridae). — *Lampyrid* 2: 31.

- Jürgens, A. & Bischoff, M. 2017: Changing odour landscapes: the effect of anthropogenic volatile pollutants on plant–pollinator olfactory communication. — *Functional Ecology* 31 (1): 56 – 64.
- Kaaro, J. 2008: Ötököitä Suomen luonnossa. Helsinki: Otava.
- Kriska, G., Csabai, Z., Boda, P., Malik, P., Horvát, G. 2006: Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarization signals. — *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences* 273: 1667 – 1671.
- Lewis, S. 2016: Silent Sparks, the wondrous world of fireflies. New Jersey: Princeton University Press. 240 s.
- Lyytimäki, J. 2014: Valosaaste ympäristöongelmana: Katsaus yhteiskunnalliseen ohjaukseen. Suomen Ympäristökeskus (SYKE).
- Martin, G., J., Branham, M., A., Whiting, M., F., Bybee, S., M. 2017: Total evidence phylogeny and the evolution of adult bioluminescence in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). — *Molecular Phylogenetics and Evolution* 107: 564 – 575.
- McClure, C. J. W., Ware, H. E., Carlisle, J., Kaltenecker, G. & Barber, J. R. 2013: An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road. — *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280: 1773.
- McKinney, M. L. 2002: Urbanization, biodiversity, and conservation. — *Bioscience* 52 (10): 883 – 890.
- Neville, A., C. 1965: Energy and economy in insect flight. — *Science Progress (1933-)* 53 (210): 203 – 219
- Pellegrino, A., C., Gomes, M., F., Peñafior, V., Nardi, C., Bezner-Kerr, W., Guglielmo, C., G., Bento, J., M., S. & McNeil, J., N. 2013: Weather Forecasting by Insects: Modified Sexual Behaviour in Response to Atmospheric Pressure Changes. — *PLoS One*: 8 (10)
- Pendleton, T., A., Pendleton, D., T. & Dale, M. 2012: The size variation and age ratios found within the larval population of the Glow Worm (*Lampyrus noctiluca*) during Autumn. Hämtat den 18.4.2018 från [www.eakringbirds.com](http://www.eakringbirds.com).
- Pigliucci, M. 2001: Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 328 s.
- Raap, T., Pinxten, R. & Eens, M. 2015: Light pollution disrupts sleep in free-living animals. — *Scientific Reports* 5.
- Raap, T., Pinxten, R. and Eens, M. 2016: Artificial light at night disrupts sleep in female great tits (*Parus major*) during the nestling period, and is followed by a sleep rebound. — *Environmental Pollution* 215: 125–134.

- Renthlei, Z., Borah, B.K. & Trivedi, A.K. 2017: Effect of urbanization on daily behavior and seasonal functions in vertebrates. — *Biological Rhythm Research* 48: 789 – 804.
- Rodewald, A., D., Shustack, D., P. & Jones, T., M. 2011: Dynamic selective environments and evolutionary traps in human-dominated landscapes. — *Ecology* 92 (9): 1781–1788.
- Rodríguez, A., Holmes, N., D., Ryan, P., G., Wilson, K., Faulquier, L., Murillo, Y., Raine, A., F., Penniman, J., F., Neves, V., Rodríguez, B., Negro, J., J., Chiaradia, A., Dann, P., Anderson, T., Metzger, B., Shirai, M., Deppe, L., Wheeler, J., Hodum, P., Gouveia, C., Carmo, V., Carreira, G., P., Delgado-Alburqueque, L., Guerra-Correa, C., Couzi, F., Travers, M. & Corre, M., L. 2017: Seabird mortality induced by land-based artificial lights. — *Conservation Biology* 31: 986 – 1001.
- Schlaepfer, M. A., Runge, M. C., Sherman, P. W. 2002: Ecological and evolutionary traps. — *Trends in Ecology & Evolution* 17 (10): 474 – 480.
- Schwab, H. H., 1961: Contributions to the domestic lampyridae *Lampyris noctiluca* GEOFFR. and *Phausis Splendidula* LEC. and experimental analysis of their predatory and sexual behaviour (Translation). — *Zoologisches Jahrbuch (Zoological annual)* 88: 399 – 550.
- Sih, A., Ferrari, M. C. O. & Harris, D. J. 2011: Evolution and behavioural responses to human-induced rapid environmental change. — *Evolutionary applications* 4 (2): 367 – 387.
- Silva, E., Marco, A., da Graça, J., Pérez, H., Abella, E., Patino-Martinez, J., Martins, S. & Almeida, C. 2017: Light pollution affects nesting behavior of loggerhead turtles and predation risk of nests and hatchlings. — *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 173: 240 – 249.
- Slabbekoorn H, Bouton N, van Opzeeland I, Coers A, ten Cate C, Popper A., N. 2010: A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. — *Trends in Ecology & Evolution* 25:419–427.
- 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 Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370 (1667).
- Sprecher-Uebersax, E. 2006: Über das Vorkommen des Grossen Leuchtkäfers *Lampyris noctiluca* in Arlesheim (BL): Eine Bestandesaufnahme und Lageeinschätzung mit Empfehlungen zu dessen Förderung und Schutz. Naturhistorisches Museum Basel. 61 s.
- Stearns S., C. 1976: Life-History Tactics: A Review of the Ideas. — *The Quarterly Review of Biology*, 51: 3 – 47.
- Tuomainen, U. & Candolin, U. 2011: Behavioural responses to human-induced environmental change. — *Biological Reviews* 86: 640 – 657.
- Tyler, J. 1994: Glow-worms. Tyler-Scagell 48 s.

- Van't Hof, A. E., Edmonds, N., Dalíková, M., Marec, F., Saccheri, I. J. 2011: Industrial melanism in british peppered moths has a singular and recent mutational origin. — *Science* 332 (6032): 958 – 960.
- Wellington, W., G. 1946: The effects of variations in atmospheric pressure upon insects. — *Canadian Journal och Reseath Section D* 24: 51–70.
- Wong, B. 2014: Animal communication in a human-dominated world: a comment on Radford et al. — *Behavioral Ecology* 25 (5): 1033.
- Wong, B. & Candolin, U. 2015: Behavioral responses to changing environments. — *Behavioral Ecology* 26: 665 – 673.