

## **Moratorium. Ofrånkomligt existentiellt krav för stopp av vindkraftsutbyggnad**

**Vindkraftverkens hinderbelysning är destruktiva dödsfällor.**

**Artificiell ljusförorening är extremt hot mot de globala ekosystemen.**

**Akut moratorium för fortsatt utbyggnad av vindkraft är ett nödvändigt villkor för överlevnad.**

Hittills har vi inte hittat liv någon annanstans än den här planeten. Och livet som vi har här finns i alla delar av planeten, från mikroberna som flyter i stratosfären till organismerna som finns på botten av haven. Bredden av livet runt omkring oss är häpnadsväckande, nästan varje nisch har utnyttjats av någon art, som många gånger bara kan leva där. Det är ett komplext och vackert system som är självförsörjande och rikligt. Tyvärr har vi gjort vårt bästa för att avbryta vårt samspel med naturen och fortsätter att överexploatera land och hav.

Vi är invädda i naturens flätverk, mycket tätare än vi tror. Miljontals arter ger oss mat, medicin och en beboelig miljö, förutom att naturen ger oss kunskap och glädje.

De extrema planerna på 8-faldig utökad vindkraftsindustriell verksamhet intill bostäder (800 m) och naturskyddsområden (50 m) över kulturbygder, skogar och fjäll måste stoppas.

Allt fler vetenskapliga rapporter visar att ljusföroreningar är ett underskattat miljöproblem.

**Artificiellt ljus i mörka områden orsakar redan oönskad ekologisk påverkan på känsliga eller skyddade arter och utgör risk för utslagning av hela ekosystem. De ekologiska effekterna är destruktiva resultat av mänsklig okunskap och oreglerad spridning av buller och ljusföroreningar.**

Regering, länsstyrelser och kommuner bär ansvaret för att säkerställa bevarandet av mörkerområden och ekosystem där hotade arter kan fortleva.

Detta måste prioriteras i arbetet med att genomföra våra internationella åtaganden enligt EU-strategin för återställande av den biologiska mångfalden 2030 och Agenda2030-målen.

Åtagandena ligger också i linje med *SOU 2021:51. Skydd av arter – vårt gemensamma ansvar*.

Betänkandet är avgörande för att nå ökade kunskaper om arternas och miljöernas tillstånd och skyddsbehov och därmed möjligheter att genomföra optimala arealavsättningar för naturvård.

Målet en Nationell strategi för formellt skydd av skog måste prioriteras.

Vi är också ålagda av EU att omgående inventera och säkerställa skyddet av våra vattenreserver för att tillgodose ökat behov för konsumtion och konstbevarning inför kommande klimatförändringar.

Dessa åtagande måste också omfatta förvaltningen av befintliga naturreservat för att säkra skyddet av specifika arter och ekosystem genom begränsningar av ljus- och bullerföroreningarna.

**Innan dessa överlevnadsåtgärder genomförts finns inga förutsättningar för vindkraftsutbyggnad.**

Detta arbete kräver också **omfattande forskningsinsatser** för att täcka befintlig kunskapsbrist.

Signaler finns för att ljusföroreningar är konkreta hot mot vissa trädslag i tidig ålder och att gräsens strållängd blir kortare. Här kan finnas dolda klimateffekter som påverkar naturens förmåga att binda CO<sub>2</sub>. Studier tyder på att den biologiska klockan inte kan ändras utan att negativa effekter uppstår ända ned till cellnivå.

Påverkan av fiskarnas reproduktion och ynglets utveckling i vattenmiljöer är viktiga forskningsområden. Därtill samspelet mellan många andra ljuskänsliga arter i vattenmiljöer.

Den globala biologiska mångfalden står inför en sjätte massutrotning på grund av mänsklig verksamhet (Barnosky et al, 2011). Artificiell ljusförorening (ALAN) är en av de förändringar som bidragit till den globala utslagningen av ekosystem och biologisk mångfald (Davies-Smyth, 2018).

Tillståndet för de akut hotade globala ekosystemen har redovisats i internationella rapporter:

- Global Biodiversity Outlook

- Ipbes, Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services
- WWF Living Planet Report
- Sverige: Fördjupad utvärdering av miljömålen.

Utvärdering av Aichi-målen visar att inget av de 20 målen för biologisk mångfald hade uppnåtts inför slutåret 2020. Tvärtom har läget ofta förvärrats och de direkta och indirekta orsakerna bakom förlusten av biologisk mångfald kvarstår.

Tyska vindkraftverk beräknas massakrera 1.200 ton insekter varje år. *Flying Insects and Wind Parks* (Franz Trieb, 2018-10-18, Deutsches Zentrum Luft und Raumfahrt). Den totala insektsmassan har minskat från 9 kg/km<sup>3</sup> till 3 kg/km<sup>3</sup> på 15 år. Även andra orsaker bidrar. Forskare från Radbouduniversitet i Holland har visat att antalet flygande insekter minskat med mer än 75 % vid 60 tyska naturområden under de senaste 30 åren (1989-2019). Resultaten är extremt alarmerande.

Människans rädsla för mörker medför att den belysta ytan ökar med 2–6 % per år, vilket innebär en dubbling på 20 år. Allt mer dagsljusliknande ”vitt” ljus sprids över större områden och större del av dygnet. Natten försvinner.

Den balans mellan naturligt mörker och ljus som varit basen för evolutionen av planetens arter under miljarder år rubbas och utvecklingen kan i ett värsta scenario leda till ekologisk krasch inom några decennier.

Vindkraftsanläggningar utgör en ny källa till störande ljusföroreningar över stora områden med katastrofala effekter på ekosystemen. Flygsäkerheten kräver att vindkraftverk förses med kraftfulla varningssystem nattetid, med högintensivt vitt blinkande hinderljus. Utan analys av ljusföroreningarnas negativa påverkan på människor, växter och alla arter av djur, fåglar, insekter och vattenlevande plankton.

Vetenskapliga fakta visar att starkt nattligt ljus och ljusföroreningar är ett växande samhällsproblem i städer och att artificiella ljusföroreningar också indirekt påverkar glesbefolkade områden och ekosystemen i stora omgivande naturområden.

I de ännu mörka områdena på landsbygden blir de starka kontrasterna runt vindindustrierna än mer påtagliga och destruktiva.

### **Uppåtriktad ljusförorening (Himlaglim-Himmelströljus)**

Det är väl känt att himlen över ljusstarka städer upplyses av uppåtriktat ljus nattetid. Skenet blir så starkt att det är svårt att se stjärnhimlen. Ljusstyrkan ökar när himlen täcks av moln eller dimma på grund av ljusets reflektion i vattenpartiklarna. Styrkan kan jämföras med månljus, som många arter har anpassat sig till eller påverkas av. Dessa effekter uppstår också över större vindindustriella anläggningar.

I Sverige gäller Transportstyrelsens föreskrifter TSFS 2020:88, som har speciella regler för vindkraftverk och vindkraftsanläggningar.

**14 §.** *Ett vindkraftverk som inklusive rotorn i sitt högsta läge har en höjd över 150 meter över mark- eller vattenytan ska markeras med vit färg enligt 23 § och vara försett med högintensivt vitt blinkande ljus på nacellen i enlighet med bilaga 3.*

- *När nacellen har en höjd över 150 meter över mark- eller vattenytan ska tornet även markeras med minst tre stycken lågintensiva ljus på halva höjden upp till nacellen.*
- *För vindkraftverk som inklusive rotorn i sitt högsta läge har en höjd som är högre än 315 meter över mark- eller vattenytan kan ytterligare markeringar och belysning krävas.*

**17 §** *I en vindkraftverkspark ska minst de vindkraftverk som utgör parkens yttre gräns markeras enligt 14 § och enligt metoden i bilaga 4 respektive bilaga 5. Detta gäller även de vindkraftverk som är belägna innanför vindkraftverksparkens yttre gräns och som inte täcks in av något av de vindkraftverk som finns i den yttre begränsningslinjen.*

- *Övriga vindkraftverk som ingår i en vindkraftverkspark ska markeras med vit färg samt minst förses med lågintensiva ljus på vindkraftverkets högsta fasta punkt.*

**29 § IR-krav på LED-ljus.** Om LED-teknik används till lösningar för flyghinderljus, ska belysningsanordningen förutom synligt ljus också utstråla IR-ljus (infrarött ljus) inom ett våglängdsområde som är synligt för piloter som använder utrustning för mörkerseende (NVD). IR-ljuset ska lysa kontinuerligt om det synliga flyghinderljuset lyser med fast sken. I annat fall ska IR-ljuset blinka med samma frekvens som det synliga flyghinderljuset.

IR-ljuset ska ha följande effekt i förhållande till vertikalvinkeln:

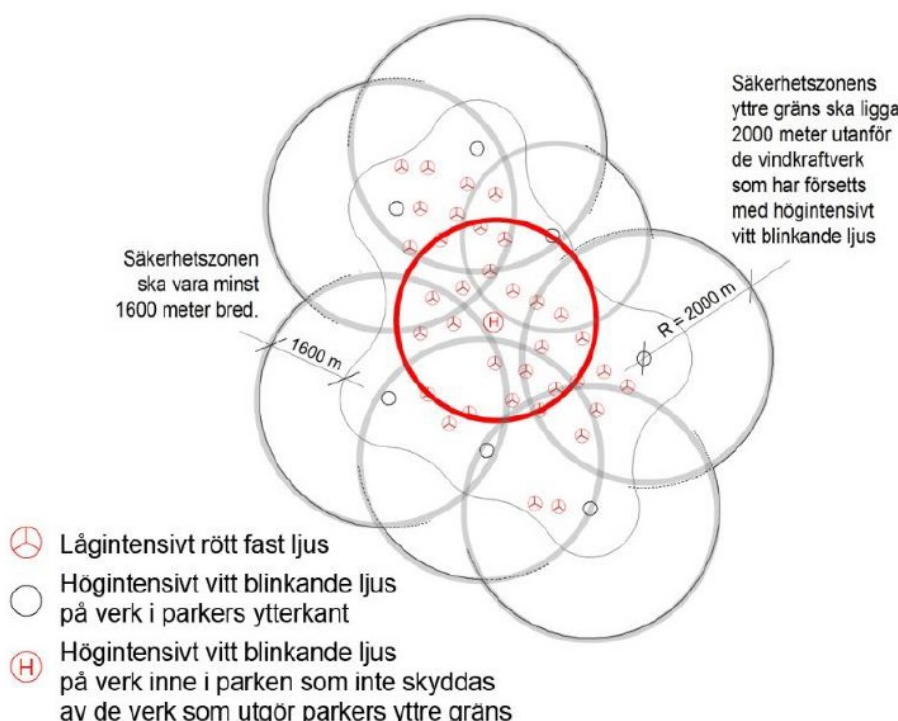
1. Lågintensivt flyghinderljus: a)  $P_{min}$  3 mW/sr, b)  $P_{min}$  25 mW/sr, c)  $P_{max}$  60 mW/sr.
2. Medelintensivt flyghinderljus eller högintensivt flyghinderljus, natt: a)  $P_{min}$  500 mW/sr, b)  $P_{max}$  1 000 mW/sr.

**34 § Lågintensiva ljus** ska utgöras av fast rött ljus. Ljusen ska i övrigt följa de specifikationer som anges i tabell 1 och 2 i bilaga 3.

**35 § Medelintensiva ljus** ska utgöras av rött blinkande ljus. 20-60 blinkningar/min. 2000 candela. Blinkande ljus bör om möjligt synkroniseras med närliggande föremåls blinkande ljus för att minska störningar i omgivningen.

**36 § Högintensiva ljus** ska utgöras av vitt blinkande ljus. 40-60 blinkningar/min. Dager 100.000 candela, skymning/gryning 20.000 candela, mörker 2000 candela.

**Bilaga 5. Metod för markering av vindkraftverk som inklusive rotorn i sitt högsta läge har en höjd över 150 meter över mark- eller vattenytan**



Dessa bestämmelser innebär att industriella vindkraftsanläggningar blir förödande dödsfällor och hot mot människors hälsa och ekosystemen på alla nivåer. Fakta har hämtats ur

- **tidskriften Biodiverse, årgång 25.** Ljusföroreningar (B). Utgiven av Centrum för biologisk mångfald (CBM) vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), bedriver forskning om relationen mellan biologisk mångfald och samhälle.

- **Trafikverket. LED-belysningens effekter på djur och natur med rekommendationer (L):** Fokus på nordiska förhållanden, känsliga arter och grupper (2018). Projektledare: A. Jägerbrand (Calluna AB).

<https://docplayer.se/37802579-Bilaga-8-pm-om-regelverket-for-hindermarkering-av-vindkraftverk.html>

Fakta visar att regelverket för hinderbelysning blir direkt avgörande för de omgivande ekosystemen, utöver skador som orsakas av buller, infraljud, nanopartiklar, torka och vibrationer.

Fakta visar att nedbrytningen av ekosystemen redan gått för långt och att statens extrema vindkraftsplaner kan bli den sista spiken i kistan för det svenska landskapet.

Moderna hinderljus använder LED som ljuskälla. En nackdel är att LED inte är synligt för piloter som använder utrustning för mörkerseende (NVD). Transportstyrelsen föreskriver därför att hinderljus med LED ska förutom synligt ljus också utstråla IR-ljus (infrarött ljus).

Dessa bestämmelser innebär att industriella vindkraftsanläggningar blir förödande dödsfallor och hot mot människors hälsa och ekosystemen på alla nivåer.

- **The International Dark-Sky Association.** Arbetar för att skydda natthimlen för nuvarande och framtida generationer. <https://www.darksky.org/>

Forskning tyder på att artificiellt ljus på natten kan påverka människors hälsa negativt, vilket ökar riskerna för fetma, depression, sömnstörningar, diabetes, bröstcancer med mera.

Forskningen visar ödesdigra effekter för arter ekosystemens alla nivåer bland däggdjur, fåglar, groddjur, fiskar, plankton, mikroorganismer och växter.

Förutom direkta effekter på växter, kan artificiellt ljus potentiellt på natten påverka interaktioner mellan växter och djur på komplexa sätt.

Studier visar dubblade effekter när ekosystemen samtidigt belastas av buller- och ljusföroreningar.

### Utdrag ur slutsatser av Trafikverkets rapport

- Utomhusbelysningen riskerar idag att orsaka en betydande miljöpåverkan på djur och habitat, som borde vara juridiskt skyddade enligt miljölagstiftningen. Exempelvis belyses ofta vattenmiljöer och himlen **utan att de ekologiska konsekvenserna av ökad dödlighet och effekterna av desorientering av skyddade arter har beaktats.**

- Det finns idag inga befintliga kartläggningar om hur stor påverkan som finns på skyddade arter och habitat eller geografiska områden för Sverige eller Norden.

- I dagsläget går det inte att utesluta ekologiska effekter och påverkan av himlaglim på ljuskänsliga arter.

- En nackdel är att den LED som oftast används skapar ljus som leder till blått ljus (<500nm).

Blått ljus orsakar rubbningar i dygnsrytmen hos djur och människor genom påverkan på melatoninproduktionen som leder till sömnbrist.

- Extra känsliga arter och habitat har extremt hög ljuskänslighet eller/och reflexer att röra sig mot ljuskällor (fototaxis). De är så extremt känsliga att de påverkas av månljus och därmed av ännu starkare himlaglim. För dessa arter är det troligt att mer anpassade åtgärder krävs i kombination med att arbeta med frågorna ur ett landskaps- och bevarandeperspektiv.

- Förekomst av artificiellt ljus och dess påverkan bör inkluderas som en viktig del i åtgärdsplaner och bevarandeplaner för arter, habitat och skyddade naturmiljöer.

- Det finns arter som ännu inte visat sig ha en nedre tröskel för att inte reagera på ljus (fladdermöss, insekter, fiskar, plankton, groddjur). Det finns möjligheter att redovisa påverkan på dessa arter i termer av negativ/positiv attraktion till ljuskällan (fototaxis). Exempelvis antalet fotoner de exponeras för.

- **Det är nästintill omöjligt att undvika så låga ljusnivåer utan att eliminera majoriteten av alla typer av ljuskällor som direkt eller indirekt kan påverka inom en radie av några kilometer till 10-tals kilometer.** Det avser privat och offentlig belysning och himlaglim över städer och stora geografiska områden.

Kommentar: **Det måste också omfatta vindkraftverkens hindersbelysning, från uppåtriktade, intensivt blinkande vit-röda LED-lampor med nyanser av blått och infrarött ljus.**

**Inkluderande kompletterande IR-ljus.**

- Under dessa förutsättningar är det mest rimligt att ansvaret läggs på de myndigheter som förvaltar artskyddet och beslutar om naturreservat, för att säkerställa bevarandet av mörkerområden där dessa arter kan fortleva (regering, länsstyrelser och kommuner).

- Det är i beslutsprocessen och i förvaltningen av naturreservat som önskvärda begränsningar i ljusföroreningarna ska beskrivas. Exempelvis vattenmiljöer som har många ljuskänsliga arter.
- Miljölagstiftningen fungerar förmodligen bättre när det gäller arter som har konkreta tröskelvärden, där man vet att ett överskridande ger en direkt negativ konsekvens för överlevnaden.
- I Sverige har forskningen säkerställt att ljuset ofta har eller kan ha en ekologisk påverkan men det är inte alltid känt var gränsen går för påverkan avseende konkreta ljusnivåer, våglängder eller överlevnad. Därför är det högst motiverat att under alla förutsättningar begränsa ljusets spridning (och luminans) i alla vinklar i de miljöer där dessa arter förekommer.
- För arter som flyttar; däggdjur, fåglar, groddjur, fiskar, plankton, osv. innebär detta att belysning inom deras hemområden och migrationsrutter bör begränsas eller undvikas. Det är dock inte alltid möjligt att veta var skyddade arter har sina hemområden och migrationsrutter utan underlag i form av utredningar och fältinventeringar. **Därför kommer det inte att vara möjligt att veta vilka arter som riskerar påverkas av utomhusbelysning och detta motiverar att de åtgärder och begränsningarna som föreslås i denna rapport bör implementeras på en övergripande nationell nivå.**
- **Belysning i olika typer av skyddade miljöer såsom Natura 2000-områden och naturreservat bör regleras enligt de olika typer av åtgärder som föreslås i denna rapport (kapitel 14) och som har tagits fram internationellt av IDA (International Dark-Sky Association) för att säkerställa en minimal ljuspåverkan.**
- För skyddade eller känsliga naturmiljöer är det viktigt att säkerställa att nattmörker upprätthålls. Det kräver buffertzoner runt de skyddade naturmiljöområdena med restriktioner för användning av utomhusbelysning (Gaston et al. 2015)
- Det finns också behov av att ta fram mer anpassade maximivärden utifrån lokala eller regionala förhållanden, exempelvis i arbetet med ljus på en landskapsnivå.
- Omedveten exponering av blått ljus bör undvikas i utomhusmiljöer. Här bör försiktighetsprincipen tillämpas då blått ljus har en icke-visuell effekt på den cirkadianska rytmen hos människor.
- Man kan därför konstatera att det behövs vetenskapliga studier som klarar av att genomföra upprepbara experiment, som redovisar alla relevanta fotometriska och radiometriska enheter, där påverkan på arter sker. Med målet att samhället ska få mer kunskap om hur vi ska utforma utomhusbelysningen för att reducera ekologisk påverkan på de allra mest prioriterade eller representativa arterna.
- Sammanfattat så bör ljusföroreningar utomhus beaktas i betydligt högre grad i arbetet med ljusplanering men också i arbetet med naturmiljöfrågor och på landskapsnivå för att säkerställa att inte skyddade arter påverkas och så att bevarandeåtgärder som genomförs får den effekt man förväntat sig. Exempelvis borde förekomsten av ljuskällor i landskapet inkluderas i arbetet med artbevarande åtgärder, eftersom det finns höga risker att arter kan påverkas direkt eller indirekt av artificiellt ljus.

**Planeringen av infrastruktur med tillhörande utomhusbelysning måste därför integreras bättre i arbetet med miljöfrågor på kommunal, regional och nationell nivå.**

### **Sammanställning av skadliga effekter**

- Regelverkets krav på **uppåtriktat ljus** är ett hot mot den biologiska mångfalden. Många fågelarter flyttar på nätterna. Rött ljus attraherar och desorienterar nattflyttande fåglar. Alla inre verk i en vindkraftspark är försedda med röd fast eller blinkande varningsbelysning. Attraktionen förstärks i mulet väder. Stora mängder fåglar har dödats vid molnigt och dimmigt väder då de tvingats ned till lägre höjd. Tycks bero på att fåglar har förmåga att uppfatta polariserat ljus som uppträder i mulet väder och löper i parallella band över himlen, vinkelrätt mot solen. Graden av polarisering varierar med molnigheten samt solens höjd på himlavalvet.

- **Himlaglim.** Uppåtriktat ljus som orsakar reflektion mot vattenpartiklar, moln och dimma. Det reflekterade ljuset kan ha ljusstyrkan  $>0,5$  lux, jämfört med månljus  $0,1$  lux, som många djur har anpassat sig till och påverkas av. Skenet blir så starkt att stjärnhimlen bleknar, vilket medför att nattflygande fåglar och insekter förlorar orienteringsförmågan. Himlaglim kan påverka människor växter och djur ned till encelliga organismer över stora områden. (35 km vid större städer).
- **Himlaglim.** Molniga förhållanden ökade bestrålningen av artificiellt ljus med 200-300 % eftersom ljuset reflekteras tillbaka till marken. Den lokala direkta belysningen kan utökas till hundratals kilometer.



- **Himlaglim orsakar reflektion över vattenytor**, vilket medför en kronisk ökad exponering för högre ljusstyrkor om  $0,1-1$  lux. Det är jämförbart med skymnings- och gryningsljus och störande för många nattlevande arter.

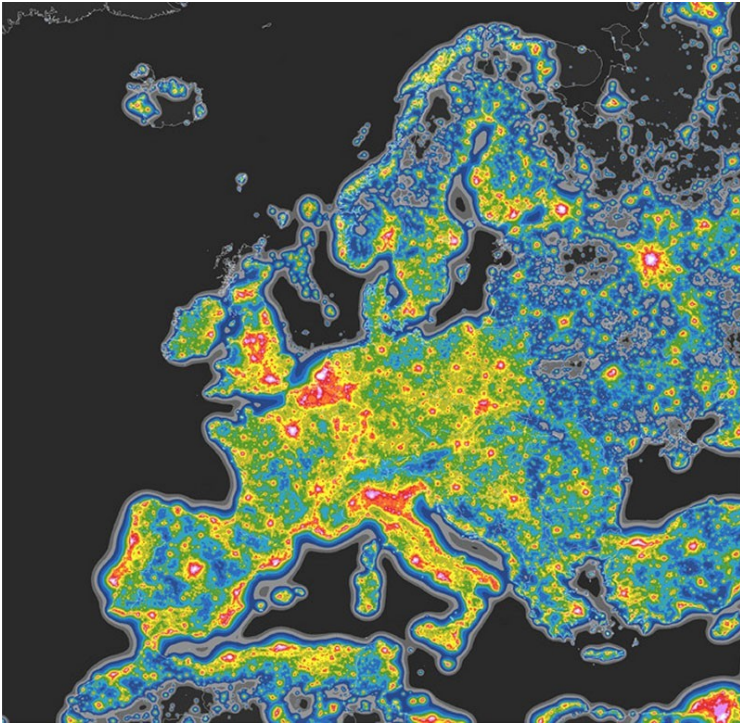
- Regelverkets krav på **intensivt blinkande vitt ljus** är miljöfarligt. LED-belysning som avger vitt ljus bör undvikas helt i skyddade områden (Dick 2016), på grund av innehållet av blått ljus. Inte heller natriumlampor (HPS-belysning) anses tillräckligt fritt från blått ljus  $< 500$  nm.
- Regelverkets rekommendation om **synkronisering** av de intensivt blinkande ljusen från många verk (40-60 ggr/minut), får kraftiga momentant störande effekter med ännu högre ljusstyrkor. Sannolik förklaring till att djurlivet minskar vid vindkraftsparker (SVT1).
- Regelverkets krav på att hinderbelysningen ska kompletteras med LED-utrustning som utstrålar **osynligt IR-ljus** (infrarött ljus) är en ytterligare riskfaktor, då synen hos de flesta fåglar omfattar ett brett färgspektrum som sträcker sig från kortvågigt UV-ljus (Ultraviolet) till långvågigt rött ljus.
- Studie visar att fladdermöss attraheras av röd belysning (fototaxi) och att varmvitt ljus stimulerar födosök (Voigt. 2018). **Forskarna uppmanar till försiktighet vid användning av röd flygbelysning, särskilt vid vindkraftverk**, då den leder till en ökad kollisionsrisk för migrerande fladdermöss. Det är då ytterst förkastligt att huvuddelen av vindkraftverkens strålkastare utgörs av ljuskällor som avger rött ljus. Tre stycken lågintensiva lampor med fast rött ljus på halva höjden upp till nacellen och minst en lampa med lågintensivt fast rött ljus på de inre verkens högsta fasta punkt.
- LED-lampor tömmer omgivningen på insekter. Insekter orienterar sig genom att flyga med konstant vinkel till månen. Det fungerar inte när månen förväxlas med en ljuskälla på närmare avstånd, så att insekten styrs in i en spiral mot lampan och dödas.
- Många insektsarter kan söka sig till nattbelysning på upp till en halv kilometers avstånd, där de de cirklar runt ljuskällan, kan brännas till döds, tas av rovdjur eller bländas så att de inte kan orientera sig i mörkret utanför det upplysta området. Vilket leder till spolierat födointag, utmattnings och död, samt utebliven pollinering.
- Nattaktiva arter – huvuddelen av alla däggdjur, groddjur, insekter och många fåglar, kräldjur och fiskar – får ett minskande livsutrymme när det naturliga nattmörkret krymper i tid och rum. Även om deras livsmiljö under dagtid är skyddad enligt miljölagstiftningen.
- Vit LED-belysning stör sömnen hos människor och djur, då den innehåller hög andel blått ljus,

som rubbar dygnsrytmen och produktionen av melatonin. Spektralfördelningen får effekt på människors hälsa vid våglängder < 480 nm.

- Det dagsljusliknande artificiella ljuset kan leda till ekologisk påverkan på organismer som har seende eller sensorer i dagsljuspektrat. Ljuset styr fysiologiska processer, hormoncykler samt dygns- och årsrytm.
- Reflexer över vattenytor förlänger utbredningen och förstör landskapsbilden och förtar den tidigare genuina naturupplevelsen.
- Upplysta broar skapar ljusbarriärer för arter som vandrar i skydd av mörkret, exempelvis ål.
- För nattseende arter krävs sammanhängande mörka områden eller korridorer för att överleva.
- De flesta däggdjur är nattaktiva. Nattseendet baseras på mycket ljuskänsliga stavar, som kräver flera tusen gånger lägre ljusstyrka än tapparna. Nattaktiva arter har dessutom större pupill, större lins och ofta en extra reflektionsyta bakom näthinnan (tapetum lucidum), vilket innebär extrem känslighet för förhöjd ljusnivå.
- Långsamflygande fladdermöss är rädda för ljus och inväntar mörkret tills belysningen släcks. I England har man noterat hur fladdermöss ibland förgäves väntar in mörkret, de svälter hellre än att flyga ut med ungar i det farliga ljuset där ugglor, falkar och vråkar väntar (Fladdermusvråk).
- I Sverige dödas 7 fladdermöss/vkv och år. Individer ur de 4 migrerande högriskarterna som klarat passagen förbi de svenska verken, löper lika stor risk vid de europeiska verken. Totalt dödas ca 500.000 fladdermöss/år i Europa (Christian Voigt m.fl.). Sverige och Europa har ännu inte implementerat EU-konventionen EUOROBAT2015, vilket bör ses som en anledning till att den inte uppnått Aicichi-målen.
- Den totala mängden nattfjärilar i Storbritannien har minskat med en tredjedel under de senaste 50 åren. Tidigare fångades 50.000 fjärilar per natt i forskarnas insektsfällor, medan det nu krävs en hel fältsäsong för att nå samma antal.
- Antalet mal-larver i häckar vid landsvägar i England var 52 % lägre under LED-lampor och 41 % lägre under natriumljus, jämfört med närliggande obelysta områden. Resultatet tydde på att det också gäller för andra nattaktiva insekter.
- En LED-lampa med UV-komponent lockar till sig 54 % fler nattfjärilar än en LED-lampa med enbart vitt ljus.
- De insekter som inte dödas vid lamporna, förlorar tid och energi för födosök, parning och äggläggning och pollinering. Den kortade tiden får avgörande betydelse för kortlivade arter som nattsvärmande dagsländor.
- Vattenlevande insekter (dagsländor och fjädermyggor) använder månljus som reflekteras mot vattenytor för att hitta vattensamlingar som är lämpliga för äggläggning. Ljusföroreningar kan reflekteras från asfalterade områden och uppfattas som en vattenyta av insekterna. Det blir då ekologiska fällor för arter som har ett kollektivt svärmningsbeteende och lägger ägg på fel plats vid ett och samma tillfälle. Effekterna kan bli förödande då de kan förlora en hel årskull.
- Tysk studie uppskattade att ca 3 miljoner insekter dör varje natt i en medelstor stad (20 000 gatlyktor). Omräknat till svenska förhållanden dödas ca 100 miljoner insekter per natt i hela landet under sommarmånaderna.
- Belgisk studie visade att lysmaskarnas honor förlorade förmågan att attrahera en partner i gatljus. Den fann att honorna normalt hittar en partner efter en natt i mörka områden, medan det tog upp till 15 nätter i upplysta områden. I England har antalet lysmaskar sjunkit med tre fjärdedelar sedan 2001.
- Forskningshypotes. Parasitgetingar lägger oftare ägg i larver i upplysta områden. Kan vara en ytterligare förklaring till minskade populationer.
- Natljus ökade abborrars konsumtion av kräftdjur jämfört med mörka nätter. Det leder till obalans i ekosystemen.

- Svagt artificiellt ljus påverkade clown-fiskarnas kläckningsresultat. Fiskarnas romkorn kläcktes helt enkelt inte, vilket resulterade i noll överlevnad.
- Fåglar kan felbedöma industriella solenergianläggningar och tro att de landar på vatten. De flyger då mot solfångarnas hårda yta och avlider.
- Majoriteten av fåglarna flyttar på natten för att dra nytta av goda flygförhållanden, begränsad turbulens, undvika dagaktiva predatorer och ha tillgång till orienterande information om stjärnornas position, solens position vid horisonten samt jordens magnetfält.
- Omkring en fjärdedel av livsutrymmet är idag dränkta i nattlig belysning, med stora negativa effekter på fåglar och andra djur som lever eller passerar här. Ljusflödet kostar inte bara energi och pengar att driva utan skapar en helt ny belyst nattmiljö som som de flesta organismer inte är anpassade till. Navigering försvåras.
- Fåglar som lever i miljö med artificiellt ljus startar sin aktivitet tidigare på morgonen.
- Längre aktiv period medför stress som stör deras inre rytm och fysiologi på ett negativt sätt.
- Störd dygnsrytm medför ökad utsatthet för predatorer, kortare viloperioder och risk att få färre ungar och ett förkortat liv.
- Talgoxar, blåmesar och svarta flugsnappare som exponerats för artificiellt ljus, aktiverades cirka två timmar tidigare än normalt. Oavsett färgnyans. De tog mer vilopaus under dagen för att kompensera den ökade aktiva tiden.
- Fåglar som exponeras för vitt eller grönt artificiellt ljus lade sina första ägg flera dagar tidigare än normalt.
- Ökad mängd data indikerar att gatubelysning direkt och indirekt kan påverka olika nivåer och processer i agroekosystemen.
- Avbrott i nattlig pollentransport och mindre antal blombesök av pollinerande malar, bekräftades minska fruktutvecklingen hos växter. Trots att samma växter fick samma antal pollinatörsbesök av andra insekter under dagen.
- Malarter som minskat mest över tid är samma arter som attraheras av artificiellt ljus på natten.
- Tysk studie visar att områden med dramatiskt minskning av insektspopulationerna också är bland de mest ljusförorenade områdena i landet. (Maja Grubisic, Leibniz-Institute).
- Växter styrs av säsongsbetonade ljus-/mörker-cykler som påverkar längden på tillväxtsäsong, bladförekomst på våren, blomning, bladåldrande och bladförlust mot vintern.
- Gatlyktor vid jordbruksfält öka tillväxten samtidigt som blomningen, reproduktionen och slutligen skörden av sojabönor och majs fördröjdes.
- Gräs växer olika när de utsätts för artificiellt ljus på natten. Ofta mindre tillväxt och mindre löv.
- Ändrade tidsfaser kan få stora konsekvenser för växternas hälsa och överlevnad och artificiellt ljus på natten kan direkt påverka växtproduktionen i upplysta agro-ekosystem;
  - tidigare bladöppning ökar risken för frostsador
  - fördröjd blomning kan orsaka en obalans med nyckelpollinatörer som är nödvändiga för växtens reproduktion.
- 85 % av Europas odlade grödor är beroende av djurpollinatörer för produktion frön och frukter.
- De flesta blommande växter - över 90 % av cirka 250 000 arter - pollineras av insekter.
- Insekter upprätthåller markens bördighet och struktur, förbättra näringsämnes-cirkulationen och bryter ner naturlig gödsel. De fungerar också som naturliga fiender till skadedjur i jordbruket eller är själva skadliga för livsmedelsproduktionen.





**Notering:** Stor del av Nordsjön är redan kontaminerad av oljeplattformar och offshore-vindkraft.

### FAKTA: HIMLAGLIM

Himlaglim (även kallat himmelsströljus) består av ljus på himlen över städer eller andra områden med mycket belysning. Det är en speciell form av ljusförorening som kommer från belysning som är uppåtriktad och från reflektion av ljus från ytor.

Himlaglim är därför oftast svagt jämfört med de flesta direkta ljuskällor men bidrar ändå till att nattetid lysa upp stora naturområden i och kring städerna, och det gör stjärnhimlen svår att se. När himlen täcks av moln eller dimma ökar himlaglimmet i styrka på grund av reflektion i vattenpartiklarna.



De ekologiska effekterna av himlaglim har blivit väldigt lite studerade. Styrkan av himlaglimmet är ungefär densamma som månens ljus, vilket många djur har anpassat sig till och påverkas av. Det är därför mycket troligt att denna typ av ljusförorening påverkar arter och ekosystemfunktioner.

Kommentar: I molnigt väder är den reflekterade ljusmängden 2-3 gånger högre. Uppåtriktat artificiellt ljus från vindkraftsanläggningar är synkroniserade, vilket får kraftigt ökad pulserande effekt.



### FAKTA: LJUSETS FYSIK

Med ljus menas den elektromagnetiska strålning som ögon kan upptäcka. Ljuset har en dubbelnatur – det kan både beskrivas som partiklar och som vågor. Fotoner kallas de massalösa partiklar som ljuset består av. Strålningen kan också beskrivas som en frekvens, eller våglängd.

Ljuset färdas med ca 300 000 km per sekund i vakuum, vilket gör att det tar ca en sekund från månen till jorden, och åtta minuter från solen till jorden. I kompakta material, såsom vatten, rör sig

ljuset långsammare.

Det vi kallar vitt ljus består egentligen av en blandning av ljusstrålar med olika våglängder. Människor och djur uppfattar reflektionerna av våglängderna som olika färger med hjälp av sinnescellerna som kallas tappar i ögats näthinna (de än mer ljuskänsliga stavarna används i mycket svagt ljus, men kan inte skilja på färger). Olika sorters tappar reagerar på olika våglängder av ljus, och det gör att olika arter skiljer sig i förmågan att uppfatta färger, beroende på hur ögat är uppbyggt.

Det som finns utanför det för människan synliga spektrat, det vill säga ungefär under 380 (ultraviolett strålning eller UV-ljus) och över 800 nanometer (infraröd strålning), kallar vi ändå i många sammanhang ljus. Ännu mindre våglängder än ultraviolett har röntgenstrålning (10 pikometer–1 nanometer) och gammastrålning (mindre än 10 pm). Ovanför infraröd strålning i spektrat finns mikrovågor (1 mm–1 m) och radiofrekvenser (1 m–10 km).

Svängningsrörelserna i ljuset går inte bara i ett plan, uppåt och nedåt, utan det svänger i alla möjliga riktningar. Polariserat ljus ”filtrerar ut” de vågor som svänger i ett plan, medan det stänger ute andra vågor.

De flesta djurarter har ett synsinne som finkalibrerats i förhållande till deras livsmiljö och ekologiska krav. Dagaktiva däggdjur, såsom människan och andra primater liksom många ekorrar, har dagsljusseende med ett bra färgseende och god synskärpa. Detta beror främst på ögats näthinna har en hög andel av de färgkänsliga men ljuskrävande synceller som kallas tappar. De flesta däggdjur är dock nattaktiva, med ett nattseende som baserar sig främst på stavar. Stavar är synceller som är mycket ljuskänsliga men som i de flesta fall inte kan användas för att uppfatta färger och som fungerar dåligt för att urskilja detaljer. Tapparna kräver flera tusen gånger högre ljusstyrka än stavarna, och den stora andelen tappar hos människan och andra dagaktiva djur gör att vi förlorat mycket av vårt nattseende.

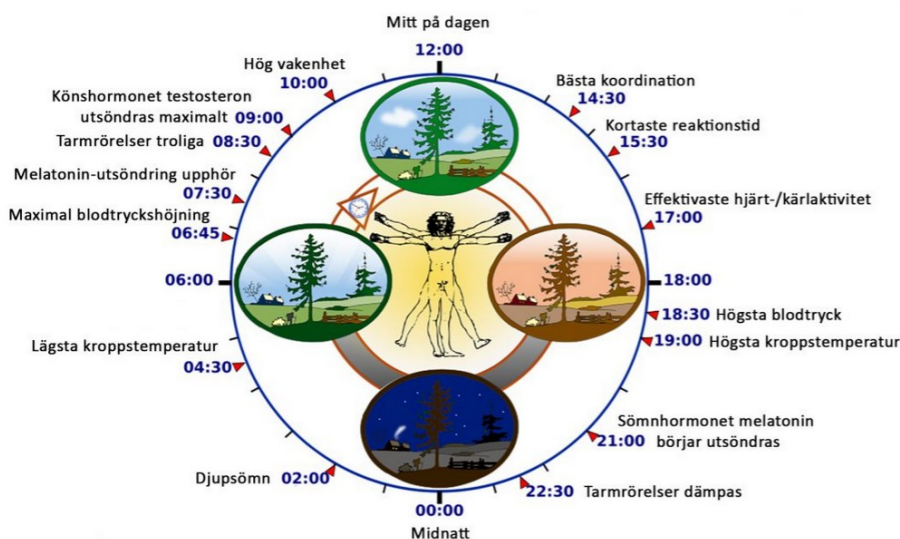
Allt liv på jorden är anpassat efter de naturliga ljusförhållanden som råder där de lever. Synförmåga och färgseende uppvisar stor variation, och dygnets och årets växlingar mellan ljus och mörker styr fysiologiska processer. När vi människor nu sprider artificiellt ljus i en sådan mängd har det stor påverkan på djuren, och även på oss själva.

## FAKTA: DEN CIRKADISKA RYTMEN eller DEN INRE BIOLOGISKA KLOCKAN

UTDRAG: Läkartidningen. 40/2017,114:EUDP

De amerikanska forskarna Jeffrey Hall, Michael Rosbash och Michael Young erhöll 2017 års Nobelpris i fysiologi eller medicin för sina upptäckter av molekylära mekanismer som styr den cirkadianska rytmen eller hur den biologiska klockan hos människor och andra organismer fungerar. Principerna för den biologiska klockan är desamma i alla flercelliga organismer. Klockan styr i sin tur många av våra gener och har betydelse för sömn, hormonnivåer, kroppstemperatur, blodtryck, samt metabolism, till exempel genom att påverka glukoneogenes och insulinkänslighet. Störningar i den cirkadianska rytmen har bl.a. kopplats till sömnproblem, depression, kognitiv dysfunktion och flera neurologiska sjukdomar.

Blogg Anell. [info@annell.se](mailto:info@annell.se)



Redan på 1700-talet upptäckte astronomen Jean Jacques Dortous de Mairan att växter har en biologisk klocka efter att ha studerat hur mimosaplantans blad öppnas respektive slokar oavsett om plantan utsätts för ljusets naturliga växlingar eller står i konstant mörker. När Nobelpristagarna tog sig an forskningsområdet var genen redan identifierad. På 1970-talet hade Seymour Benzer och Ronald Konopka visat att den då okända genen styrde bananflugors dygnsrytm.

En bit in på 1980-talet lyckades två forskarteam isolera period-genen. I det ena teamet fanns Hall/Rosbash (Brandeis University, Boston) och i det andra Young (Rockefeller University, New York). Hall/Rosbach kunde därefter visa att det protein (PER) som period-genen kodade, ansamlades i neuron i bananflugans hjärna under natten, för att sedan brytas ner under dagen. Dessutom visade de att genaktiviteten (nivåer av period-mRNA) följde ett 24-timmarsförlopp, med en höjdpunkt flera timmar tidigare än när PER-nivån var som högst. Forskarnas hypotes var att proteinsyntesen hämmades cykliskt av proteinet självt via en återkopplingsmekanism. De lyckades också visa att PER-proteinet under natten fanns inuti cellkärnan – och därmed hade möjlighet att blockera genen. Nästa fråga att besvara blev hur PER kunde befinna sig i cellkärnan. Detta förklarades av Young, som upptäckte ytterligare en gen som var inblandad i dygnsrytmen. Genen kallas »timeless« och proteinet den kodar för TIM. Young upptäckte att PER kan bindas till TIM och att den bindningen är avgörande för både närvaron av PER i cellkärnan och hämningen av aktiviteten hos period-genen.

Forskare har därefter upptäckt att det finns fler proteiner som behövs för att den biologiska klockan ska styras av ljus.

**Karolinska Institutet. Därför ska vi lyssna på kroppens rytm. 2021-09-03.**

**Text: Fredrik Hedlund, först publicerad i Medicinsk Vetenskap nr 4 2017.**

Vår inre klocka styr oss mer än vi anar.

Människor, djur, växter och till och med vissa bakterier och encelliga organismer har alla en inre klocka. Ett 24-timmarssystem som reglerar funktioner i cellerna så att de sker vid rätt tidpunkt för organismen. Detta kallas av forskarna för den cirkadiska rytmen.

Det är en anpassning till omgivningen. Jordens rotation skapar ljusa och mörka cykler och den cirkadiska rytmen har utvecklats för att möjliggöra för organismerna att förutse och anpassa sig till dessa cykler ([Anita Göndör](#), institutionen för onkologi-patologi vid Karolinska Institutet).

Konsekvenser är att delar av immunsystemet blir extra aktivt sent under natten och mycket tidigt under morgonen, medan blodtryck, puls och kroppstemperatur är som högst på dagen.

Lungfunktionen är bäst på eftermiddagen och sämst tolv timmar senare. Stresshormonet kortisol börjar stiga cirka 20-30 minuter innan man vaknar och ligger sedan högt fram till cirka klockan 23 då det faller, medan tillväxthormon istället utsöndras mest under natten.

**Den cirkadiska rytmen** kunde första gången visas redan under 1700-talets första hälft när den franska vetenskapsmannen Jean-Jacques d'Ortous de Mairan demonstrerade den i mimosaplantans som fortsatte att öppna sina blad på morgonen trots att den var placerad i mörker. Närmare 250 år senare, i början av 1970-talet hittades en gen som styr den cirkadiska rytmen av S. Benzer och R. Konopka. Ytterligare två decennier senare kunde mottagarna av årets Nobelpris visa hur den inre klockan fungerade rent molekylärt. Det handlar om en negativ återkopplingsmekanism där det protein som tillverkas av genen bromsar sin egen tillverkning när det når en tillräcklig koncentration. Ny kunskap växer hela tiden och forskningsfältet är väldigt ungt.

Anita Göndör och hennes forskargrupp har studerat den cirkadiska rytmen sedan 2014. Det finns mycket att utforska; principerna som alstrar periodlängden 24 timmar. Olika cellulära processer, som ämnesomsättning och mekanisk signalering, samarbetar med den cirkadiska klockan för att skapa stabila dagliga rytmer. Klart är att det finns en central klocka i hjärnan – den suprachiasmatiske kärnan. Denna struktur tar in information om ljus och mörker från ögonen och justerar hela systemet. Det är den centrala klockan som ställer om systemet när man byter tidszon. Forskning pågår om hur den styr och samverkar med kroppens övriga celler, som också har egna klockfunktioner.

Det finns också individuella preferenser. Lärkor vaknar tidigt och är trötta på kvällen. Nattugglor är piggare på kvällen och tröttare på morgonen. Forskarna säger att de tillhör olika kronotyper. Preferenser för tidigt sänggående och uppvaknande behöver inte nödvändigtvis vara konstant genom livet. Ungdomar har generellt en senarelagd cirkadisk rytm, lägger sig senare på kvällen och är tröttare på morgonen, något som sedan försvinner när de blir äldre.

**Den moderna människans** möjlighet att vara uppe senare på kvällen, tack vare glödlampan, är dock något som forskarna alltmer börjar förstå kan leda till problem. Studier visar att en förskjuten dygnsrytm leder till förändringar i glukostoleransen, insulinkänsligheten och aptitkontrollen, något som i sin förlängning kan leda till fetma och diabetes. Man har även sett en ökad risk för cancer, depression och andra psykiatriska åkommor samt hjärt-kärlsjukdom hos personer som förskjutit dygnsrytmen, exempelvis på grund av skiftarbete. Det elektriska ljuset har en omfattande effekt på vårt cirkadiska system.

Professor [Barbara Canlon](#) vid samma institution menar, att vår moderna livsstil med all sannolikhet är här för att stanna, liksom konsekvenserna av den. Mycket talar alltså för att möjligheten att förskjuta den naturliga dag/natt-cykeln med elektriskt ljus är skadlig för oss och något som borde undvikas. Men frågan är om det är praktiskt möjligt, eller ens önskvärt, att vrida klockan tillbaka till tiden före glödlampan i våra moderna samhällen. Vad skulle hända på vintern om alla gick och lade sig klockan tre på eftermiddagen?

En förskjutning av den cirkadiska rytmen orsakar långsiktig stress som i sin tur orsakar andra problem. Så direkt och indirekt leder detta till ett antal hälsoproblem. Vi får helt enkelt lära oss att leva med dem. Mycket är fortfarande okänt kring olika människors känslighet för förskjutningar i den inre klockan. Allt mer forskning pekar på att mängden dagsljus under födsel och vår tidiga utveckling har en långvarig effekt på den cirkadiska rytmen. Hypotesen går ut på att de som är födda på sommaren med en lång dag och kort natt har lättare att anpassa sig till säsongsväxlingar, skiftarbete och jet lag jämfört med de som är födda på vintern med en kort dag och lång natt. Det stöds av mängder med möss- och råttstudier. När det gäller människor behövs det större studier, men det finns trender som visar att vissa sjukdomar kan påverkas av såväl årstid som latitud under födelsen, eftersom det bestämmer dagsljuslängden.

**En helt annan aspekt** på den cirkadiska rytmen är det faktum att om kroppens celler förändrar sina funktioner över tiden på dygnet så kan det finnas olika tider som är olika lämpliga att inta läkemedel. Forskningsområdet kallas kronofarmakologi och är också det relativt nytt. Det tillämpas redan framgångsrikt inom cancervården för att optimera attackerna på cancercellerna när de delar sig som mest. Celldelningen kan skilja sig över dygnets timmar och därmed utnyttjas för att skilja ut friska och cancersjuka celler vid olika tidpunkter. På så sätt kan behandlingen ge både bättre effekt och färre biverkningar. På samma sätt används kronofarmakologi inom reumatologin där man kan ge inflammationshämmande kortison på natten när den inflammatoriska processen är mest aktiv.

**Att effektivisera läkemedelsbehandlingen** är målsättningen för [Andrea Carmine Belin](#), docent vid institutionen för neurovetenskap vid Karolinska Institutet. Hon forskar på sjukdomen Hortons huvudvärk, en ganska ovanlig och svårartad huvudvärk med okänd orsak som drabbar cirka en av tusen personer. Sjukdomen är vanligare hos män än hos kvinnor och brukar debutera i 20 till 40 årsåldern och klingar ofta av efter 65. Det är en sjukdom som är väldigt tydligt knuten till ålder och har tydliga kopplingar till den cirkadiska rytmen. Forskning pågår för att hitta mönster och de patienter som har nytta av olika behandlingar, samt när på dygnet de har bästa effekt.

#### **Kommentar:**

**Nobelpristagarnas forskningsresultat är hisnande. De visar att ljustillgången är den avgörande faktorn för den globala evolutionen och ekosystemen ända ned till bakterie- och encelliga organismer. Forskningen visar att hinderbelysning, ljusföroreningar och artificiell LED-belysning redan utgör permanenta, dödliga hot mot utrotningshotade fåglar och insekter. Samtidigt inses att det finns en enorm kunskapsbrist om riskerna med ytterligare**

**spridning av de artificiella belysnings-systemen och deras påverkan av fysiologiska processer, hormoncykler, samt dygns- och årsrytm hos ekosystem och hotade arter. Studie visar att samverkan av buller- och ljusföroreningar får dubblerad effekt. Dessa aspekter måste utvärderas och ingå i den nödvändiga kartläggningen av ljusföroreningarna.**

### **Människan**

Människans rädsla för mörker medför att den belysta ytan ökar med 2–6 % per år vilket innebär en dubbling på ca 20 år. Allt mer dagsljusliknande ”vitt” ljus, sprids över en större del av dygnet och över större områden. Ljusföroreningar är ett underskattat miljöproblem med betydande ekologiska konsekvenser. Belysningen har många negativa effekter för biologisk mångfald, ekosystem och människans hälsa. Ljuset styr fysiologiska processer, hormoncykler samt dygns- och årsrytm. Den artificiella belysning vi dagligen använder kan störa dessa system.

Vindkraftverken blinkar dygnet runt och kan synas över 50 km. Exempel på störningar nattetid över 25 km visas i Youtube-format av organisationen Nej till Ripfjället. <https://youtu.be/ywD9uK7fzzM> De filmade 22 verken är 190 m höga och det upplysta luftrummet ger området tivolikaraktär. Många anläggningar har högre verk (>250 m) och är placerade på högre höjder än i exemplet. Reflexer över vattenytan förstärker störningarna, förstör landskapsbilden och förtar den tidigare genuina naturupplevelsen.

Klagomål har framförts om att störningar uppstår ända in i sovrummen, när många vindkraftverk orsakar blinkande reflexer genom nedfällda persienner. LED-belysning innehåller hög andel blått ljus (<500nm), som rubbar dygnsrytmen och dämpar produktionen av melatonin. Vilket stör människors sömn och påverkar hälsan negativt.

Frustrationer vid ständig synupplevelse och påminnelse om egenmäktig myndighetsutövning, förlorad landskapsbild, förlorade fastighetsvärden, rekreationsområden, avflyttning och förslumning, vilket leder vidare till stresstillstånd och ohälsa.

### **Nattaktiva arter**

Nattaktiva arter är beroende av mörker eller mycket svagt ljus för sin överlevnad (de flesta däggdjur, fåglar, fladdermöss, groddjur, kräldjur, fiskar, insekter och djurplankton). Förlusten av nattmörkret leder till ökad predation, svårighet att hitta föda, ändrade konkurrensförhållanden mellan arter, eller att djur lockas till farliga miljöer såsom vägbelysning. Negativa ekologiska effekter av belysning finns beskrivna för många arter.

Ljusets ekologiska effekter beror på ljusstyrka, riktning, polarisering, och flimmar. Vissa tider på dygnet och året är kritiska för födosök, reproduktion eller migration. För nattseende arter kan det krävas sammanhängande mörka områden eller korridorer för att de skall överleva. De ekologiska effekterna blir betydande om ljusföroreningarna påverkar skyddade områden för hotade och prioriterade arter: Riksintressen för naturvård, nationalparker, Agenda2000-områden, biotopskyddsområden, våtmarker etc.

Åtgärder kan då krävas enligt miljöbalkens hänsynsregler liksom förordningarna om områdesskydd och artskydd.

Det artificiella ljuset är ett allt större problem för nattaktiva djur. Ugglor, fladdermöss och insekter påverkas, rovdjurens jakt och födosök försvåras och nattflyttande fåglar blir desorienterade.

### **Synsinnet har utvecklats efter livsmiljö och ekologiska krav.**

Människan och dagaktiva däggdjur har dagsljusseende med bra färgseende och synskärpa. Ögats näthinna har hög andel av färgkänsliga och ljuskrävande synceller som kallas tappar.

De flesta däggdjur är nattaktiva. Nattseendet baserar sig på mycket ljuskänsliga stavar. Stavarna kräver flera tusen gånger lägre ljusstyrka än tapparna. De ger god syn i svagt ljus, men sämre färgseende och synskärpa. Nattaktiva arter har större pupill, större lins och ofta en extra reflektions-

yta bakom näthinnan (tapetum lucidum).

Människan har så kallat trikromatiskt färgseende: blått, grönt och gult/rött ljus.

De flesta däggdjur har ett dikromatiskt färgseende för ultra-violett/blått och grönt/rött.

Insekter har tre toppar, men kan uppfatta färger i ett mycket bredare band över spektrumet.

Fåglar har i allmänhet fyra färgnyanser och ser bättre än människan.

Vattenlevande arter anpassas efter vattendjup. De som lever ytligt har bred känslighet för alla våglängder medan organismer som lever djupare har anpassat sig till blått och grönt. Många vattenlevande organismer förflyttar sig dagtid till djupare vatten.

Nattflyttande fåglar orienterar sig efter stjärnhimlen.

Djur och växter styrs av växlingen mellan ljus och mörker genom fysiologiska processer som följer dygnets, månadens och årets cykler och påverkar aktivitet, sömn, metabolism, reproduktion, tillväxt och utveckling. Styrningen sker via hormonet melatonin och påverkas främst av ljus med kortare våglängder (blått-grönt).

## Fladdermöss

Fossila fynd visar att arten fladdermöss är 55 miljoner år gammal. Ingen av de nu levande 1400 arterna har utvecklat dagaktivitet. Mörkret är deras trygghet och skydd mot framför allt rovfåglar.

Människan är dagdjur med nedärvd mörkerrädsla och strävar efter att göra natt till dag.

Parkeringsplatser, fasader, villatradgårdar, gator och torg lysas upp och mörkret trängs undan i perifera hörn – och med det fladdermössen.

Exemplet arten brunlångöra (*Plecotus auritus*) är skrämmande. Kyrkorna har varit perfekta miljöer och mer än hälften av alla västsvenska kyrkor har bebotts av kolonier av brunlångöra. På 1990-talet påbörjades en förvandling när de mörka kyrkofasaderna försågs med strålkastare. Likaså slott, herrgårdar, stenbroar och gamla kulturbyggnader. År 2017 konstaterades att hälften av kolonierna var borta och att de endast fanns kvar i kyrkor som ännu inte hade fått fasadbelysning.

De är långsamma fladdermöss, som inte vågar flyga i ljus. De inväntar att belysningen släcks och väljer alltid det minst belysta området för att snabbt ta sig till närmaste träd och minimera exponeringen i den redan ljusa sommarnatten. I England har man noterat att fladdermöss inväntar mörkret. De svälter hellre än att flyga ut med ungar i det farliga ljuset. I lampskenet vakar lärkfalk och i skuggorna väntar ugglorna. I lampskenet samlas myggor, sländor, skalbaggar och nattfjärilar som obönhörligen dras till ljuskäglorna, vilket utnyttjas av snabbare fladdermöss (dvärgpipistrell och nordfladdermus). Men även dessa arter väljer boplats i det allra mörkaste parkområdet.

Hypotesen är att de i Sverige förekommande arterna *Pipistrellus*, *Eptesicus* och *Nyctalus*, inte fruktar rovdjur lika mycket som de långsamflygande arterna inom exempelvis släktena *Myotis* och *Plecotus*. Detta kan förklara hur olika fladdermusarter reagerar på olika spektra.

Studier visar att alla fladdermössarter aktiveras lika i rött ljus jämfört med en mörk kontroll.

Det finns indikationer på att fladdermössens reaktion på ljusspektrum beror på sammanhanget. Att flyttande fladdermöss reagerar annorlunda på ljusspektra än fladdermöss som födosöker inom det egna reviret.

## Insekter och ljusföroreningar

Vid studier på 1950-talet kunde forskare finna 50 000 fjärilar per natt i sina insektsfällor, men det idag krävs en hel fältsäsong för att nå samma antal. Den ökade mängden ljusföroreningar, förlust och fragmentering av livsmiljöer är en viktig orsak.

- Insekter styrs mot lampor nattetid och dödas. Genom att hålla en konstant vinkel till månen kan insekter navigera rätt, eftersom månen är långt borta. Detta fungerar inte när ljuskällan är på närmare avstånd då insekten styrs i en spiral mot lampan.
- Nattaktiva insekter kan urskilja färger i mörker. Ljussammansättningen hos utomhusbelysning påverkar vilka insekter som lockas mot lampan. De flesta insekter kan se i ultraviolett och UV-lampor attraherar många insekter. En LED-lampa med en UV-komponent lockar till sig 54 % fler

nattfjärilar än en LED-lampa med enbart vitt ljus.

- Starkt ljus blockerar mörkerseendet så att insekter bländas och inte kan fly från det upplysta området till mörkret utanför lampans ljuskägla. Många arter reagerar på ljuset genom att gå i vila eller landar uttröttade i närheten av lampan.
- Även om insekterna inte blir bytesdjur vid lampan så påverkas de negativt. Genom att infångas av lampljuset, så minskas deras möjligheter att utföra sina normala aktiviteter: födosök, parning och äggläggning och pollinering. Den tid de tvingas tillbringa vid lampor kan utgöra en avsevärd del av reproduktionstiden för kortlivade arter som nattsvärmade dagsländor.
- Vattenlevande insekter (dagsländor och fjädermyggor) använder månljus som reflekteras i vattenytan för att hitta vattensamlingar som är lämpliga för äggläggning. Ljusföroreningar kan reflekteras från asfalterade områden och uppfattas som vattenytan av insekterna. De blir då ekologiska fällor för många arter som har ett kollektivt svärmsbeteende och lägger ägg vid samma tillfälle på fel plats istället för i en sjö. Effekterna kan bli förödande då de kan förlora en hel årskull.
- Ljusföroreningar är hindrande barriärer och utgör de största hoten för många insekter. Lampor i direkt anslutning till viktiga föryngringsmiljöer kan ha en stor lokal påverkan. Gatlyktor längs en å fångade fler insekter än som kläcktes i åkanten. En enda lampa fångade lika många nattsländor under en natt, som kläcktes längs en 200 meter lång strand.
- En tysk studie uppskattade att ca 3 miljoner insekter dör varje natt i en medelstor stad (20 000 gatlyktor). Omräknat till svenska förhållanden dödas ca 100 miljoner insekter per natt i hela landet under sommarmånaderna.

## Fåglar och ljus

Fåglars synsinne kan uppfatta färger och ljusförhållanden som vi människor inte kan föreställa oss. Synen är mycket viktig i fåglarnas hela livscykel, inte minst för de migrerande fåglarnas flygbeteende, och artificiellt ljus kan få många olika negativa konsekvenser.

Fåglarnas flyttning är starkt kopplad till årets och dygnets cykler som påverkas av himlakropparnas rörelser och tillgången till ljus. Dagslängden och solens upp och nedgång utgör viktig information för att hålla tiden och bestämma när de skall häcka, flytta och vara aktiva.

Majoriteten av fåglarna flyttar på natten då de kan dra nytta av goda flygförhållanden, begränsad turbulens, samt undvika dagaktiva predatorer och ha tillgång till orienterande information om stjärnornas position, solens position vid horisonten samt jordens magnetfält. Blått eller grönt ljus, med en mindre del i det röda spektrumet, har i laboratorieförsök visat sig ge tydligt mindre desorientering hos flyttfåglar och verkar också minska attraktionen till ljus i fältstudier.

Talgoxar, som är stannfåglar och som vilar nattetid, har i studier visat sig bli mer störda av vitt ljus och mindre av grönt och rött.

Fåglar som häckar nära belysning med vitt eller grönt ljus börjar häcka betydligt tidigare på säsongen jämfört med fåglar som häckar i obelysta områden. Effekterna av olika spektra på fåglar på populationsnivå är i stort sett okända, och varierar troligen mellan arter. Ändrad häckningstid kan leda till obalans med tillgången på bytesdjur.

Fåglar har bättre syn än människan. Fåglar kan registrera mer kortvågigt blått och violett ljus, inklusive UV-ljus. Det kortvågiga ljuset kan användas för att identifiera en partner med god hälsostatus, då det reflekteras på ett speciellt sätt i fjädrar med blå och metallisk glans. (Studie av blåmes).

Fågelögat har fotoreceptorer för att se polariserat ljus samt detektera jordens magnetfält.

Förmågan att se polariserat ljus kan också ställa till problem då ljus som reflekteras mot artificiella ytor som fönster, solfångare och husfasader ger en illusion att vara någonting annat.

Att fåglar tar miste och flyger ihjäl sig mot stora glaspartier på skyskrapor och andra hus har därför orsakat extremt hög dödlighet i vissa områden.

Fåglar kan felbedöma industriella solenergianläggningar och tro att de landar på vatten, vilket ökar dödligheten då de istället flyger mot solfångarnas hårda yta och avlider.

Det är inte bara reflekterat ljus som attraherar fåglar. De dras också till artificiellt ljus om natten.

En fjärdedel av jordens yta är dränkta i nattlig belysning, med stora negativa effekter på fåglar och andra djur som lever eller passerar här. Ljusflödet har ökat, och kostar inte bara energi och pengar att driva utan skapar också en helt ny nattmiljö som är belyst och som de flesta organismer inte är anpassade till. Navigering försvåras.

Allt fler studier visar hur fåglar påverkas av den nya ljusmiljön.

- Flyttfåglar, som normalt genomför flyttningen under natten på flera tusen meters höjd, attraheras till utkanten av städer eftersom de dras till det artificiella ljuset.

- Fenomenet har sedan länge registrerats vid fyrar och var speciellt tydligt under dimmiga mörka nätter när månljuset inte bidrar till högre ljusnivåer. Man såg ett ökat antal nattsträckande fåglar av alla möjliga arter dras till fyrlyjus och tyvärr i stor mängd dödas mot de upplysta väggarna. Det kunde ligga drivor av döda sångfåglar under fyrens fasad under perioder med dimma efter så kallade ”fyrnätter”. De insamlades och räknades systematiskt av Ottenby Fågelstation vid fyren Långe Jan på Södra Öland. Ansvariga för fyren beslutade på 1980-talet att stänga av fasadbelysningen, varefter dödstalen minskade betydligt.

- De nattflyttande fåglarnas attraktion till artificiellt ljus leder till ökad mortalitet med global påverkan på fågelpopulationerna. Fenomenet uppmärksammas allt mer och studeras på flertalet kontinenter.

- Fåglar som lever i miljö med artificiellt ljus startar sin aktivitet tidigare på morgonen.

Koltrastar som lever i upplysta stadsmiljöer startar sin sång tidigare i gryningen än i mörka områden utanför stan. Hypotes har ställts om att det gynnar hanar med vissa gener och som först attraheras av honorna, vilket i längden ändrar artens genetiska bas.

- Förlängd aktiv period medför ökad stress som störd inre rytm och fysiologi på ett negativt sätt. Störd dygnsrytm medför ökad utsatthet för predatorer, alltför korta viloperioder, färre antal ungar och ett förkortat liv.

- Kinesisk studie visade att blått och grönt ljus attraherar fåglar i större utsträckning än långvågigt gult och rött ljus. Störst attraktion uppmättes då fåglarna mötte dimma och motvind.

Kapaciteten att se färger varierar kraftigt mellan arter. Fåglar och många reptiler och amfibier har överlägsen färgsyn jämfört med många andra artgrupper.

- Nattaktiva djur, exempelvis fladdermöss och möss, är övervägande känsliga för grönt och blått ljus och i mindre utsträckning för rött.

Talgoxar, som är stannfåglar och som vilar nattetid, har dock i studier visat sig bli mer störda nattetid av vitt ljus och mindre av grönt och rött.

Fåglar som häckar nära belysning med vitt eller grönt ljus börjar häcka betydligt tidigare på säsongen jämfört med fåglar som häckar i obelysta områden.

Effekterna av olika spektra på fåglar på populationsnivå är i stort sett okända, och varierar troligen mellan arter.

**Insekter** attraheras nattetid starkt till UV, blått och grönt ljus, och i mindre utsträckning till rött.

Men skillnader i färgseende eller attraktionskänslighet kan vara stora även mellan närbesläktade grupper. I den stora gruppen myggor finns tydliga skillnader mellan olika familjer, där gallmyggor inte attraheras av UV-ljus, medan attraktionskraften på familjen svampmyggor ökar med ca 70 % om ljuset innehåller UV.

Även rött ljus kan dock ha långsiktiga negativa effekter på populationsnivån. En treårig jämförelse mellan vitt och bärnstensfärgat (~ 592 nm) ljus gjord i Storbritannien visade att effekterna på ryggradslösa djur var beroende av artgrupp. Användning av blåreducerade lampor för att mildra ljusets inverkan på insekter kan alltså ha varierande effekt.



Effekterna av ljus kan vara latent och subtila och framträda först efter många år. Upptäckten att antalet nattfjärilar minskar efter flera års närvaro av ljus oavsett färg illustrerar att en viss typ av belysning som verkar fördelaktig i det korta perspektivet har negativ inverkan över tid. Det är därför fortfarande viktigt att hålla belysningsnivån låg och helst helt undvika artificiellt ljus. Blodsugande myggor kan uppfatta värmesignaler från koldioxid (CO<sub>2</sub>) som människor och djur utandas.

När det gäller **övriga däggdjur** vet man inte mycket om de ekologiska effekterna av olika ljusspektra. Den mesta av kunskapen hittills kommer från studier av laboratoriemöss.

Preliminära resultat från studie i Nederländerna visar kraftig minskning av aktiviteten hos skogsmöss i ljus av alla färger. Aktiviteten hos sorkar minskar i vitt och grönt ljus men inte rött.

Även mårddjur är mindre aktiva i ljus av alla färger, medan effekterna på klövdjur varierar.

När det gäller **groddjur** är kunskaperna om effekter av ljusspektrum begränsade. En experimentell studie längs vägkanter i Nederländerna visar att paddor (*Bufo bufo*) starkt påverkas av grönt och vitt ljus och mindre av rött under vårvandringen. Det vita ljuset fick paddor att stannade i sin vandring.

Vissa grodtyper har infraröd syn. **Ormar** har receptorer som gör det möjligt att se infrarött ljus i mörkret som aktiveras av värme från sina bytesdjur.

Vissa **fiskarter** som guldfisk, lax, piranha och ciklid kan se infrarött ljus. Lax och någon annan sötvattensfisk har ett enzym som bryter det visuella systemet och aktiverar den infraröda synförmågan, vilket hjälper dem att navigera och jaga i mörker. Studier visar effekter på laxens vandring och reproduktion.

#### Vilka spektra är bäst för att undvika ekologiska effekter?

Det är viktigt att undvika korta våglängder (blått ljus) i skogsmiljöer, som utgör den största störningen för de flesta nattaktiva arter.

UV-ljus bör alltid undvikas, och då inte bara för naturens skull – UV-ljus är slöseri med energi eftersom det inte kan ses av människan.

#### **För att undvika effekter på flyttfåglar bör rött ljus undvikas.**

Belysningen har många negativa effekter för biologisk mångfald och ekosystemfunktion och har också negativa effekter på människans hälsa. Naturligt ljus är samtidigt avgörande för de allra flesta djur- och växtarters överlevnad. Ljus behövs för seende och orienteringsförmåga och för växters och planktons fotosyntes. Ljuset styr fysiologiska processer, hormoncykler samt dygns- och årsrytm. Den artificiella belysning vi använder dagligen kan störa dessa system, för både djur och människor.

Många arter i eller i närheten av akvatiska ekosystem uppvisar ljuskänslighet och är skyddade, till exempel grodor och fiskar. Belysning i eller nära akvatiska ekosystem kan orsaka en förändring i rovdjursförhållanden som kan påverka skyddade arter. **Därför bör försiktighetsprincipen användas för att undvika ekologiska effekter i och nära akvatiska ekosystem och i öppna landskap.**

Anpassningar i färgtemperaturen kan användas för att undvika påverkan på enskilda arter.

Exempelvis är fladdermöss mindre känsliga för rött ljus i våglängdsintervallet 590–650 nm men risken kvarstår då man får fortsatt okänd påverkan på övriga arter i ekosystemet. Ljus i våglängder under 500 nm är möjligt att se för många arter, men detta ljus påverkar också dygnsrytmen på ett ofta oönskat sätt. Hos människor är det väl känt att melatoninproduktionen påverkas av blått ljus och att man därför ska undvika att använda telefoner och datorer sent på kvällen. Generellt finns därför skäl att tillämpa försiktighetsprincipen och undvika så mycket ljus som möjligt < 500 nm.

- Hotade, skyddsvärda och ljuskänsliga arter måste särskilt skyddas mot ljusföroreningar. Detta kräver extra skyddsavstånd mot vindkraftsparker.
- Vindkraftsparker orsakar barriäreffekter över stora ytor, vilket försvårar djurens naturliga rörelsemönster och dygnsrytm.

Belysningen utomhus påverkar människans möjlighet att studera rymden.

Forskare menar att bevisen börjar bli omfattande för det nattliga ljusets negativa påverkan på människor och djur och att det nu behövs strategier för att minska onödiga ljusföroreningar. Belysningens miljöeffekter uppmärksammas nu allt mer på många håll i Europa. I Tyskland har förmodligen den så kallade Krefeld-studien varit en avgörande faktor för ökat fokus på ljusföroreningar inom naturskydd och miljöpolitik. Studien visade på en 76-procentig minskning av biomassan av flygande insekter från 1989 till 2016 i 63 skyddade områden. För att stoppa och vända denna utveckling antog den federala regeringen ett handlingsprogram för insektsskydd 2019. Dock undvek man huvudfrågan om effekterna av landets 30.000 vindkraftverken och de otaliga solenergianläggningarna. Utöver redan allvarliga bullerstörningar.

## VETENSKAPLIGA FAKTA

### **Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. August 2018.** Voigt, Rehnig, Lindecke, Pētersons.

Övergång från konventionell belysning till energibesparande lysdioder (LED) är en världsomspännande trend, men konsekvenserna för djur och ekosystem är dåligt kända. Nattaktiva djur som fladdermöss är särskilt känsliga för artificiellt ljus (ALAN). Tidigare studier har visat att fladdermöss i allmänhet reagerar på ALAN enligt den avgivna ljusfärgen och att i synnerhet migrerande fladdermöss uppvisar attraktion till ljus med stark grönt ljus (fototaxi). Eftersom rött och vitt ljus ofta används i utomhusbelysning, undersökte vi hur migrerande fladdermöss reagerar på dessa våglängdsspektra. I en större migrationskorridor registrerade vi närvaron av migrerande fladdermöss med hjälp av ultraljudsregistratorer genom att under 10-minuters intervaller växla mellan röd eller varmvit LED och släckt belysning.

När den röda lysdioden tändes observerade vi en ökning av flygaktiviteten för *Pipistrellus pygmaeus* och en trend för högre aktivitet för *Pipistrellus nathusii*. Eftersom den högre flygaktiviteten hos fladdermössen inte förknippades med ökat födosök utesluter vi möjligheten att fladdermöss sökte föda vid det röda LED-ljuset. Istället kan fladdermöss ha flugit mot den röda LED-ljuskällan. När den exponerades för varmvit LED ökade inte den allmänna flygaktiviteten vid ljuskällan, men vi observerade en ökad födosöksaktivitet direkt vid ljuskällan jämfört med mörkerkontrollen. Våra fynd framhäver att de migrerande fladdermössens reaktion på LED-ljus var beroende av ljusets färg. Den mest försiktiga förklaringen till reaktion på röd lysdiod är fototaxi och reaktion på varmvit lysdiod till födosök. Våra resultat uppmanar till försiktighet vid användning av röd flygbelysning, särskilt vid vindkraftverk, eftersom denna ljusa färg kan attrahera fladdermöss, vilket leder till en ökad kollisionsrisk för migrerande fladdermöss vid vindkraftverk.

## Artiklar The Guardian

<https://www.theguardian.com/environment/2021/aug/25/led-streetlights-moth-england-eco-friendly-sodium-insect-decline>

### • **"Miljövänliga" LED-gatlyktor producerar mer ljusföroreningar än de traditionella natriumlampor som de ersätter. Douglas Boyes, Darren Evans. 2021-08-25.**

Antalet mal-larver i häckar intill landsvägar i England var 52 % lägre under LED-lampor och 41 % lägre under natriumljus, jämfört med närliggande obelysta områden.

I vägkanten var antalet mallarver en tredjedel lägre under LED-belysning än i obelysta områden, medan natriumljus hade liten effekt. De vita LED-lamporna är mer energieffektiva men producerar mer blått ljus, vilket är den färgnyans som främst uppfattas av insekter.

Fjärilar är viktiga pollinatörer och föda åt fåglar och djur. Men den totala mängden nattfjärilar i Storbritannien har minskat med en tredjedel under de senaste 50 åren.

Rapporter om sjunkande insektspopulationer har förskräckt forskarna, med förstörelse av vilda platser, bekämpningsmedel och klimatkrisen som stora orsaker. Ljusföroreningar ökar globalt och

beskrevs av en nyligen genomförd recension som en "viktig men ofta förbisedd orsak till insektsapokalypsen", eftersom det gör insekter mer synliga för rovdjur, stör födosök och reproduktion.

Studien är den första som undersöker effekten av lysdioder i en verklig miljö och den första som visar ljusföroreningarnas direkta påverkan av på larver. Larverna är mindre rörliga än vuxna nattfjärilar och visar därför mer exakt de lokala förlusterna som orsakas av ljusföroreningar. Forskarna konstaterar att flygfjärilar attraherades av ljus och då blir mer sårbara för rovdjur, vilket innebär att det läggs färre ägg. Det breda utbudet av malarter som studerades, tydde på att deras resultat också skulle gälla andra nattaktiva insekter. De fann att antalet larver minskade med upp till 50% i områdena upplysta av gatlyktor. Mot normalt 5-10% förändringar. Det är ett riktigt ovanligt resultat vid ekologistudier.

"LED är de onda i vår historia, om du vill, eftersom de är sämre när det gäller deras effekt för tillfället, men de har också potential att bli mycket bättre än natriumbelysning."

Lysdioder är dimbara, kan kopplas till rörelsesensorer och kan ha billiga filter monterade för att skärma bort blått ljus. Lysdioder är energieffektiva, vilket leder till minskade klimatvärmade utsläpp. De är ofta ljusare än natriumlampor, men inte på platserna i studien.

Professor Darren Evans, från Newcastle University, som var en del av studien, sa:

"Ljusföroreningar är en av de få orsakerna till förlust av biologisk mångfald som har enkla [och omedelbara] lösningar. Vi behöver en balans mellan att skydda både allmän säkerhet och vilda djur, genom att se till att belysningen är väl utformad, borta från viktiga livsmiljöer och påslagen under begränsade tider." Fladdermusvänlig röd belysning installerades på en väg i Worcestershire 2019.

Matt Shardlow, från välgörenhetsorganisationen Buglife, sa: "Detta nya bevis visar den enorma inverkan som ljusföroreningar har på lokala insektsbefolkningar, vilket bidrar till den fruktansvärda minskningen av insektsöverflöd som vi alla har observerat.

**"Med tanke på den skada som artificiellt ljus orsakar, och regeringens åtagande [2018] att minska ljusföroreningarna, är det oacceptabelt att den vägrar att åta sig ett nationellt mål för minskad ljusförorening."**

**En studie i Belgien visade att gatlyktor minskade kvinnliga lysmaskars förmåga att attrahera en partner. Den fann att skalbaggar i mörka områden vanligtvis hittade en partner efter en natt, men de i upplysta områden tog upp till 15 nätter. I England har antalet lysmaskar sjunkit med tre fjärdedelar sedan 2001.**

Insektspopulationer lider "death by a thousand cuts", (långsam tortyr) där många faller i "skrämmande" takt som "sliter sönder livets tapeter", enligt forskare bakom en mängd studier som publicerades tidigare 2021.

Den senaste forskningen, publicerad i tidskriften Science Advances, studerade 26 par vägkantsplatser i Oxfordshire, Buckinghamshire och Berkshire, där upplysta och obelysta sektioner var i genomsnitt 100 meter från varandra. Boyes tillbringade mer än 400 timmar med att prova mer än 2 000 larver.

**Forskarna använder DNA-analys för att se om parasitgetingar lägger sina ägg oftare i larver i upplysta områden, vilket kan vara en ytterligare förklaring till de lägre populationerna.**

Boyes sa att bättre skydd mot nattfjärilar var viktigt. "Vi har 2 500 arter i Storbritannien. De är verkligen viktiga som byte för fåglar, fladdermöss, igelkottar och andra rovdjur. Men det är de också riktigt viktiga pollinatörer. De gör nattskiftet efter att dagtidspollinatörerna gått och lagt sig." En regeringstalesperson för avdelningen för miljö, livsmedel och landsbygdsfrågor sa: "Insekter är en viktig del av vår naturliga miljö och att skydda dem är en prioritet. Vi har satt upp ett rättsligt bindande mål för artöverflöd till 2030, vilket kommer att driva den rätta blandningen av åtgärder för att ta itu med förlusten av vilda djur, inklusive insekter, och ta itu med det interagerande trycket på biologisk mångfald som ljusföroreningar."

## Andra referenser

- **Moths do the pollinator night shift – and they work harder than daytime insects** May 19, 2020 12.58pm BST  
<https://theconversation.com/moths-do-the-pollinator-night-shift-and-they-work-harder-than-daytime-insects-138472>
- **The dark side of light: how artificial lighting is harming the natural world (2018)**  
<https://www.nature.com/articles/d41586-018-00665-7>
- **Artificial light may be changing marine ecosystems**  
<https://octogroup.org/news/artificial-light-may-be-changing-marine-ecosystems/>
- **Phototaxic Behavior of Subyearling Salmonids in the Nearshore Area of Two Urban Lakes in Western Washington State.**  
<https://afspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1080/00028487.2017.1305988>
- **11 Pressing Research Questions on How Light Pollution Affects Biodiversity**  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.767177/full>
- **Ecological effects of artificial light at night on wild plants**  
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12551>
- **Combined effects of nocturnal exposure to artificial light and habitat complexity on fish foraging**  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719323216?via%3Dihub>
- **A Systematic Review of Research Investigating the Combined Ecological Impact of Anthropogenic Noise and Artificial Light at Night**  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.765950/full>
- **Artificial lights prevent clownfish eggs from hatching**  
<https://www.science.org/content/article/blinding-nemo-artificial-lights-prevent-clownfish-eggs-hatching>
- **Young Clownfish Likely to Die Faster When Exposed to Artificial Light**  
<https://www.ecowatch.com/clownfish-artificial-light-exposure-mortality-2653374340.html>
- **Biologically important artificial light at night on the seafloor**  
<https://www.nature.com/articles/s41598-020-69461-6>
- **10 viktiga nya studier**  
<https://www.frontiersin.org/research-topics/18767/effects-of-artificial-light-at-night-on-organisms-from-mechanisms-to-function#articles>

