

1081

NINA Rapport

Effekter av kunstig nattbelysning på naturmangfoldet - en litteraturstudie

Arne Follestad



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Effekter av kunstig nattbelysning på naturmangfoldet - en litteraturstudie

Arne Follestad

Follestad, A. 2014. Effekter av kunstig nattbelysning på naturmangfoldet - en litteraturstudie. - NINA Rapport 1081, 89 s.

Trondheim, 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2700-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Arne Follestad

KVALITETSSIKRET AV

Jon Museth

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Jon Museth (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Statens Vegvesen

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Olav Schou Knutsen (Asplan Viak)

FORSIDEBILDE

Enorme mengder av ulike insektarter tiltrekkes av lys. Dette gjelder særlig sommerfugler, men også mange andre insektgrupper som fluer, biller og veps. Bildet er fra Papua New Guinea april 2013. Foto: Frode Ødegaard.

NØKKEWORD

Kunstig nattbelysning, lysforurensning, gatebelysning, økologiske effekter, Åkersvika.

KEY WORDS

Artificial night lightning, light pollution, streetlighte, ecological effects, Åkersvika.

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeldgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Follestad, A. 2014. Effekter av kunstig nattbelysning på naturmangfoldet - en litteraturstudie. - NINA Rapport 1081, 89 s.

Statens vegvesen har etterspurt et bedre faglig grunnlag for å kunne vurdere effekten av kunstig belysning på natur og naturmangfold langs E6 gjennom Åkersvika naturreservat, i Hedmark fylke. Statens vegvesen ønsket informasjon om valg av lysalternativ har miljømessige konsekvenser, og hvilket alternativ som eventuelt er å foretrekke. Denne rapporten presenterer hovedsakelig kjente og potensielle effekter av kunstig nattbelysning som grunnlag for de vurderinger som må gjøres for valg av lysalternativ.

Kunstig nattbelysning har blitt et tiltakende problem for dyre- og planteliv i mange land, og det er derfor et relativt nytt forskningsfelt, der studier av effekter synes å være i startfasen. Kunnskapen om effekter av kunstig nattbelysning har inntil de siste 10-15 årene i stor grad vært basert på enten resultater fra studier som ikke har hatt lysforurensning som tema, fra studier på enkeltarter, inkludert mennesker (helseplager), eller på katastrofeartede enkeltepisoder (som fuglekollisjoner mot fyrlykter, oljeplattformer og andre menneskeskapt installasjoner m.m.). Først etter det siste århundreskiftet har det kommet studier som har fokusert på effekter av interaksjoner mellom ulike arter eller hele økosystemer. Men det synes fortsatt å være mangelfull kunnskap om potensielle langtidseffekter som kan skyldes endringer i hele økosystemer som følge av blant annet endrede konkurranseforhold mellom og innen arter ut fra hvilket lysregime de lever under.

Kunstig nattbelysning er vist å påvirke svært mange taxa, fra pattedyr til planter, selv om vi i stor grad fortsatt mangler kunnskap om mange av dem. Dette gjør det vanskelig å vurdere hva som vil være de mest reelle effektene å vurdere ved gatebelysning i Norge, inkludert vegvesenets planer i Åkersvika ved Hamar. Flere forfattere peker likevel på at det er viktig at en ikke sitter på gjerdet og venter på ny kunnskap, men bruker den vi tross alt har etter et føre-var-prinsipp. Det er en rekke muligheter for å begrense effektene på naturmangfoldet som følge av kunstig belysning, og denne rapporten gir en kort oversikt over de mest aktuelle og reelle alternativene. I Åkersvika, som er et Ramsarområde, vil det trolig være mest riktig å fokusere på fugl og deres næringsgrunnlag.

Det har vært en rivende utvikling av nye lystyper, med vidt forskjellige fargespekter og andre egenskaper ved lyset, som alle synes å ha forskjellige effekter på organismer, gjennom ulike mekanismer (øye, fotoreseptorer, pigmenter m.m.). Det forventes en videre utvikling av lyskilder/lamper, slik at det om noen år kanskje kan forventes nye typer som på flere måter kan være mer skånsomme overfor det biologiske mangfoldet, inkludert oss mennesker.

For Åkersvika er det antydnet tre alternativer for belysning av E6: enten standard belysning med lyktestolper, LED eller ingen belysning. Det er pr. i dag vanskelig å gi gode råd i forhold hvilke alternativer som kan være det beste her, ettersom det vil avhenge av både av hvilke andre avbøtende tiltak som kan være aktuelle (skjerming av lyskilde som retter lyset dit det skal lyse og reduserer belysning av nærområdene, skjerming langs veien i form av leegger eller beplantning med trær eller busker, høyden på lysstolper (som vil gi mindre uønsket spredning), muligheter for å dempe eller slå av belysningen i perioder med lite trafikk m.m.), og kunnskap om hvilke arter/artsgrupper det vil være mest ønskelig å beskytte gjennom slike tiltak i Åkersvika naturreservat. Rapporten gir en oversikt over kjente og potensielle effekter av kunstig nattbelysning både for mange arter og - i bred forstand - det biologiske mangfoldet, som grunnlag for de valgene som må gjøres.

Arne Follestad, Postboks 5686 Sluppen, 7485 Trondheim, arne.follestad@nina.no

Abstract

Follestad, A. 2014. A literature study of the effects of artificial light pollution on biodiversity. - NINA Report 1081, 89 pp.

The Directorate of Public Roads (Statens vegvesen Vegdirektoratet) has requested a better scientific basis to evaluate the effects of artificial light on nature and biodiversity along a new E6 through Ålersvika nature reserve in Hedmark county. They wanted information on if the choice of light alternative could have environmental impacts, and if so, which alternative should be preferred. This report presents mainly known and potential effects of artificial light as a base-ment for the assessments needed to choose the best alternative for street lighting.

Artificial light pollution has become an increasing global environmental issue in many countries, and it is a relatively new field of research. The ecological impacts of which are only now beginning to be examined in detail. Current knowledge of these impacts in ecosystems is insufficient to determine the scale of the problem and its likely interactions with other anthropogenic pressures, and even if several publications suggest several protective measures, they can't inform if the implementation of protective measures are effective.

This report presents a summary of literature on effects of artificial light on several organisms, including plants, and presents some potential protective measures related to a new E6 crossing the nature reserve of Åkersvika.

Arne Follestad, P.O. Box 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim arne.follestad@nina.no

Innhold

Forord	6
1 Innledning	7
2 Metoder og materiale	10
3 Lys og farger, bølgelengder, lysstyrke	11
3.1 Lysspekteret, farger	11
3.2 Ulike lyskilder	12
3.3 Flimring	16
3.4 Hvordan ulike arter oppfatter lys, øyets fysiologi	16
3.5 Polarisert lys	19
3.6 Lysforurensning	20
4 Generelt om effekter av kunstig nattbelysning	22
4.1 Effekter av naturlige variasjoner i lys.....	22
4.2 Fysiologiske effekter - melatonin	22
4.3 Biologiske rytmer	23
4.4 Effekter av vei- og gatebelysning, trafikk	28
4.5 Polarisert lys	29
4.6 Økologiske feller, asfalt	29
4.7 Økosystemtjenester	31
4.8 Nytt fagfelt.....	33
4.9 Samlede effekter.....	34
4.10 Økonomiske kostnader ved lysforurensning	36
5 Effekter av kunstig lys på ulike artsgrupper	37
5.1 Terrestre pattedyr	38
5.2 Fugler.....	40
5.3 Amfibier og reptiler.....	47
5.3.1 Salamandere.....	47
5.3.2 Frosker og padder.....	49
5.3.3 Havskilpadder	51
5.3.4 Firfislere og slanger	51
5.3.5 Generelt	51
5.4 Fisk	52
5.5 Invertebrater	54
5.6 Planter.....	61
6 Forvaltningsmessige tiltak for å redusere nattlig lysforurensning	65
6.1 Forvaltningsmessige praktiske tiltak.....	65
6.1.1 Beskytte områder fra å bli kunstig belyst.....	66
6.1.2 Begrense varigheten av kunstig lys	66
6.1.3 Begrense belysning av nærliggende områder som ikke er ment å bli belyst.....	67
6.1.4 Endre lysintensiteten	69
6.1.5 Endre fargesammensetningen av lyset	70
6.2 Helsemessige effekter	71
6.3 Lover og regler, lokale planer, veiledere	71
6.4 Videre forskning på lysforurensning	75
6.5 Føre-var-prinsippet	76
6.6 Lokale tiltak i Åkersvika	77
7 Litteratur	79
Vedlegg 1. Definisjoner	93

Forord

Statens vegvesen ønsker et bedre faglig grunnlag for å kunne vurdere effekten av kunstig belysning på natur og naturmangfold langs E6 gjennom Åkersvika naturreservat, i Hedmark fylke. Rapporten basert på litteraturstudiet er også tenkt brukt utenfor Åkersvika, og Statens vegvesen ønsket derfor at rapporten skulle ha en mer generell tilnærming til temaet.

Ut fra hva som var kjent før prosjektet ble satt i gang, skulle dette bli en relativ enkel gjennomgang av litteraturen. Det viste seg imidlertid fort at det var langt mer litteratur om temaet enn forventet, så det ble en stor og omfattende gjennomgang for begrensede midler. Dette må derfor sees på som en første – og kanskje foreløpig – gjennomgang av litteraturen. Det henvises således i rapporten til flere sentrale kilder som det ikke har vært anledning til å gjennomgå i denne fasen av arbeidet.

Det er funnet svært få studier fra Norge som kan relateres til lysforurensing. Det må derfor vurderes nøye om alle referansene i denne rapporten er like relevante for norske forhold. Det er ikke funnet en eneste referanse på effekter av lysforurensning vinterstid, med snø og is. Det er derfor et stort behov for egne studier av hvordan kunstig lys ikke bare kan brukes for at vi skal oppleve våre omgivelser bedre, men for å lære hvordan vi kan redusere negative effekter av det på naturmangfoldet.

Det har vært flere alternativer for en ny eller endret E6 gjennom Åkersvika. Disse er omtalt og vurdert i Ramsar-rapporten (Pritchard & Salathé 2010) og i brev fra Miljøverndepartementet til Fylkesmannen i Hedmark (Miljøverndepartementet 2013). Denne rapporten har ikke vurdert eller tatt stilling til valget av eller innvendinger som er kommet mot beslutningen om å bygge ny E6 etter det valgte alternativet (Miljøverndepartementet 2013), eller forslag som er framsatt for avbøtende tiltak (Norsk Ornitologisk Forening 2011).

15. november 2014, Arne Follestad

1 Innledning

Det er en økende internasjonal oppmerksomhet og bekymring for hvordan støy og lysforurensning kan påvirke og skade både vår egne helse og naturmiljøet (f.eks. Huseynov 2010, The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Reduksjon av lysforurensning blir sett på både som en betydelig miljømessig og en helsemessig utfordring. Huseynov (2010) og andre etterlyser en større felles satsing og oppmerksomhet blant alle medlemsstatene i EU for en felles tilnærming til problemene, og for å øke bevisstheten om dette i samfunnet. Det foreslås blant annet at alle medlemslandene skal gjøre de nødvendige skritt for å innføre terskelverdier for støy og lys og en passende straffereaksjon for de som overskrider disse nivåene, uten at det er sagt noe om hva en slik reaksjon kan være.

Lysforurensning er en betegnelse for negative konsekvenser av «overflødig» menneskeskapt lys. Noen av disse konsekvensene er forringede muligheter for observasjoner av nattehimmelen, sløsing med energi samt forstyrrelse av økosystemer. Begrepet lysforurensning ble opprinnelig knyttet til hvordan mennesket kunne se nattehimmelen i områder med kunstig lys (astronomisk lysforurensning), men blir nå også brukt i forbindelse med økologiske effekter av kunstig belysning. Dette inkluderer direkte lys, kronisk økt belysning, og temporære og uventede svingninger i lyset (Rich & Longcore 2006).

Økologisk lysforurensning har en rekke kilder, som at nattehimmelen blir belyst av lys fra byer og andre urbane områder (lys som er rettet oppover, diffus belysning), opplyste bygninger (som kontorbygninger, kommunikasjonstårn, broer), fyrlykter, gate- og veilys, sikkerhetsbelysning, lys på kjøretøyer, fiskebåter og gassflammer fra offshore olje- og gassplattformer. Økologisk lysforurensning inkluderer derfor effekter på tvers av mange romlige og tidsmessige skalaer.

Mange byer har arealer med naturlige eller semi-naturlige habitater, enten i eller tett inntil seg. I slike områder kan lysskjær kronisk øke lysintensiteten betydelig over vanlige lysnivåer nattetid (Cinzano et al. 2001, Buchanan 2006, The Royal Astronomical Society of Canada 2012). Lysskjær kan påvirke naturmiljøet flere titalls kilometer unna urbane områder (se Gatson et al. 2012). I flere land er det derfor innført veiledninger, regelverk eller lovverk som skal begrense effektene av lysskjær og andre former for lysforurensning. Per i dag mangler vi dette i Norge.

Lys er et viktig element i naturen for de fleste organismer, og dets betydning for mange arter åpner for betydelige effekter av lysforurensning på naturmiljøet. Lys er viktig for mange organismer både som en energiressurs og som informasjonskilde. Som en energiressurs brukes lyset for fotosyntesen hos planter innenfor en normal døgnrytme. Reflektert lys blir brukt av dyr ved hjelp av syn for å hente et vidt spekter av informasjon fra omgivelsene. Dette inkluderer nattaktive dyr som bruker lys fra månen og stjernene til bl.a. å finne føde. Lyset kan også regulere biologiske klokker og døgnrytmer, til å bestemme daglengden (som kan trigge flere fenologiske hendelser som løvsprett, blomstring og vinterhvile), for å justere posisjonen til bladene i trekro- nene, og som et utgangspunkt for navigasjon.

I hvilken grad kunstig lys vil innvirke på noen av disse prosessene i en organisme avhenger av flere faktorer:

- Bølgelengden til lys som sendes ut i forhold til hvilke bølgelengder pigmenter og/eller visuelle reseptorer som registrerer lyset.
- Den spektrale sammensetningen av lys fra ulike lysobjekter eller etter refleksjon.
- Intensiteten av lyset som når organismen.
- Den generelle retningen på lys (f.eks. direkte stråling fra en punktkilde vs. stråling fra diffust lys).
- Polarisert vs. ikke-polarisert lys – lys har en elektromagnetisk egenskap som gjør at den kan være retningsbestemt i tre dimensjoner, reflektert lys fra f.eks. asfalterte veier og speilende vannoverflater og laserlys er polarisert, dvs. har kun to dimensjoner.

I og med at organismer varierer mye i deres sensitivitet overfor flere av disse egenskapene ved lyset (f.eks. Land & Nilsson 2002), er menneskets oppfatning av lys som regel et dårlig utgangspunkt for en økologisk forståelse av effekter av lysmiljøet.

Mye oppmerksomhet har tidligere vært rettet mot katastrofepregede hendelser, som høy dødelighet for fugler som kolliderer med fyrlykter, master og bygninger, og desorientering hos unger av skilpadder som følge av kunstig nattbelysning (f.eks. Gaston et al. 2013). Det er imidlertid identifisert et langt videre sett av påvirkninger (Longcore & Rich 2004, Hölker et al. 2010a, Perkin et al. 2011). I dag er derfor mye av oppmerksomheten rettet mot effekter for hele økosystemet og ulike former for interaksjoner mellom arter.

Det er registrert en stor bredde av økologiske effekter av nattlig lysforurensning (f.eks. Longcore & Rich 2004, Rich & Longcore 2006, Navara & Nelson 2007, Bruce-White & Shardlow 2011). Disse effektene omfatter organismers bevegelser (Peters & Verhoeven 1994, Moore et al. 2000, Lorne & Salmon 2007, Stone et al. 2009), næringssøk (Rydell 1991, Buchanan 1993, Negro et al. 2000, Bird et al. 2004, Santos et al. 2010), interspesifikke interaksjoner (Svensson & Rydell 1998), kommunikasjon (Baker & Richardson 2006, Miller 2006), reproduksjon (Boldogh et al. 2007) og dødelighet (Dick & Donaldson 1978, Peters & Verhoeven 1994, Le Corre et al. 2002, Black 2005).

En del av utfordringen med å formidle den forbedrede kunnskapen ligger i å organisere kunnskap som allerede eksisterer og indentifisere kunnskapsmangler. Dagens kunnskap er ifølge Gaston et al. (2013) spredt og mangler i stor grad synteser innenfor et felles mekanistisk rammeverk. Tidligere forsøk på å sammenstille materialet har vært på tvers av taksonomiske grupper (Rich & Longcore 2006), etter ulike prosesser og/eller nivå for biologisk organisering (Longcore & Rich 2004).

Det er så godt som ingen norske studier på temaet, så i denne rapporten vi må basere oss på en brokete samling av utenlandske studier og erfaringer. Utfordringen er å trekke ut essensen av disse og komme med klare anbefalinger. Det er brukt mange forskjellige lystyper og studert mange ulike organismer, under forskjellige miljøforhold. Dette er et fagområde i utvikling, med store muligheter for ny kunnskap og nye anbefalinger. For eksempel har ingen utenlandske studier sett på hvilke effekter lysforurensning kan ha vinterstid med snø- og isdekke, der natta sjelden er like mørk som på mer sørlige breddegrader. Dette påvirker bl.a. hva som vil bli effektene av den veibelysningen som velges (inkludert null-lys-alternativet), fordi vi vet for lite om hvilke utslag den vil gi for de artene som finnes i Åkersvika – og i andre deler av landet (den mer generelle delen).

Åkersvika er en av de viktigste lokalitetene for våtmarksfugler på trekk på Østlandet (se Pritchard & Salathé 2010). Området ble fredet som naturreservat i 1974, og er Norges første Ramsarområde. Målsettingen med fredningen var primært å sikre områdets verdi for våtmarksfugler, som er under sterkt press, og bestandene av mange arter har blitt kraftig redusert de siste årene.

Ramsar-rapporten framhever særlig de store forekomstene av vadere i april-mai, da de eksponerte mudderflatene kan gi næring til en rekke arter, særlig brushane, enkeltbekkasin, vipe, storspove, gluttsnipe, grønnstilk og strandsnipe. Ender, gjess og svaner er mer tallrike under høsttrekket, og dette omfatter bl.a. knoppsvane, stokkand, krikkand, brunnakke, toppand og laksand, og er kanskje også et internasjonalt viktig område for kortnebbgås. Det hekker også mange vannfugler i Åkersvika.

De botaniske interessene i området er også betydelige, med flere arter som er viktige i bevaringssammenheng. Området har dessuten femten forskjellige fiskearter, bl.a. lokale stammer av ørret, harr og niøye, som alle gyter i elvene.

Ramsar-rapporten tar opp flere sider ved Åkersvika Ramsar-område (se Pritchard & Salathé 2010), men nevner ikke lysforurensning som et problem, og skisserer dermed heller ingen mulige avbøtende tiltak mot dette. Men den nevner tiltak for å redusere støy fra veien av hensyn til lokalbefolkningen, bl.a. lave støybarrierer/skjermer langs veikanten, og at dette også kan være relevant for dyrelivet i våtmarksområdet i forhold til støy. Det kan også være et tiltak som kan motvirke lysforurensning ved at det kan hindre strølys i å belyse områder utenfor veien. Men da er det viktig at både design og materialvalg blir vurdert nøye (bl.a. for å unngå refleksjon av polarisert lys). Ramsar-rapporten nevner videre tiltak som kan forhindre kollisjoner mellom biler og dyreliv langs veien, og også dette kan være et aktuelt tiltak for å hindre lysforurensning.

Målsettingen med denne rapporten er å presentere noen erfaringer og kunnskap om effekter av kunstig nattbelysning (lysforurensning) på biologisk mangfold i Norge, dels på lokalt hold som grunnlag for å vurdere hvilken form for veibelysning som skal velges i forbindelse med E6 over Åkersvika (**figur 1.1**), og dels som grunnlag for tilsvarende vurderinger andre steder i landet. For Åkersvika vurderes tre alternativer for belysning av E6, enten standard belysning med lyktestolper, LED eller ingen belysning.



Figur 1.1. Åkersvika naturreservat og Ramsarområde i Hamar og Stange kommuner. Kartutsnitt fra www.norgeskart.no.

2 Metoder og materiale

Det er for denne rapporten gjennomført søk etter vitenskapelige publikasjoner både i litteraturdatabaser (ut fra søkeord), i sentrale bøker og review-artikler (f.eks. Rich & Longcore 2006, Gaston et al. 2012, 2013).

Med utgangspunkt i termer som er beskrivende og dekkende for oppdragets utforming ble det gjennomført søk i litteraturdatabaser både i Norge (f.eks. BIBSYS) og internasjonalt (Thomson Reuters, ISI Web of knowledge – ISI).

Mulige søketermer relatert til effekter av kunstig nattbelysning ble bygd opp, og søk ble kjørt i de aktuelle litteraturdatabasene. Det er benyttet mange alternativer for bl.a. kunstig lys, og et samlet søk fanget opp svært mye irrelevant litteratur, bl.a. for atronomisk lysforurensning. For om mulig å dekke opp "grå litteratur" som ikke er katalogisert i databaser, ble det gjennomført internettsøk vha. Google. I stor grad er det brukt kvalitetssikret litteratur, dvs. i hovedsak litteratur fra tidsskrifter eller rapportserier med refereebehandling. Søkene omfattet både effekter av kunstig nattbelysning og mulige forvaltnings- og avbøtende tiltak. Referanselistene i relevant litteratur ble sjekket for relevante referanser som ikke var funnet på andre søk.

Mulige effekter av kunstig nattbelysning for de aktuelle artene og artsgruppene er beskrevet. Det er bare i liten grad relevant litteratur fra Norge eller fra forhold som tilsvarende de norske med hensyn på arter, artsgrupper og lokaliteter. Det aller meste av informasjon er derfor hentet fra økosystemer i utlandet. Effekter som i første omgang påvirker individene (fysiologisk stress, etc.) er til en viss grad omtalt, samt effekter som på sikt kan tenkes å påvirke bestander, samfunn eller økosystemer gjennom endret dødelighet eller hekkesuksess.

Mulige effekter av forvaltnings- og avbøtende tiltak for de aktuelle artene og artsgruppene er beskrevet. I den grad det ikke finnes relevant litteratur fra forhold som er lik de norske med hensyn på arter og artsgrupper og lokaliteter og vernetyper er det også her brukt beskrivelser og kunnskap fra tilsvarende forhold i utlandet. Det viste seg å være overraskende mye informasjon om veiledere, retningslinjer og til og med egne lover for å begrense effektene av lysforurensning. Mange av disse har det ikke vært mulig å gjennomgå for denne rapporten, men noen nevnes for videre lesning for de som ønsker det. Dette gjelder også for vitenskapelige artikler, ved at det er funnet mange som det ikke har vært anledning til å gjennomgå i arbeidet med denne rapporten.

3 Lys og farger, bølgelengder, lysstyrke

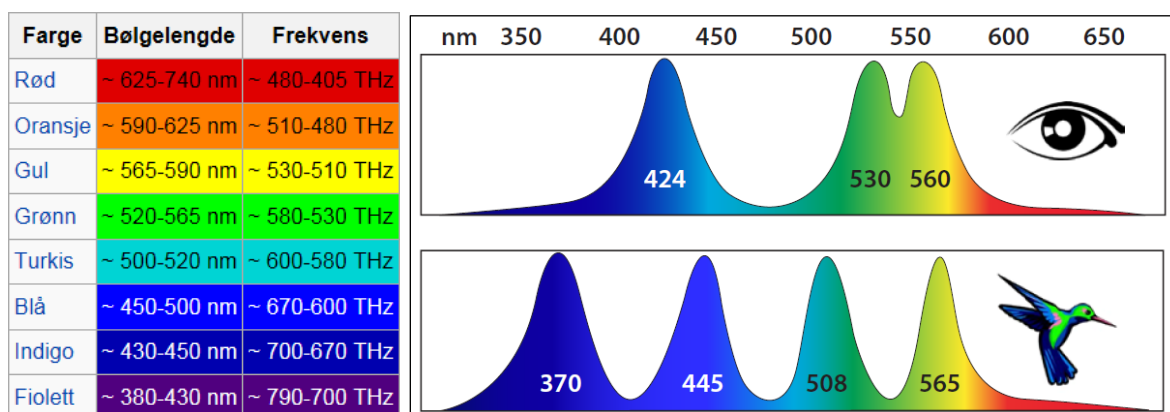
Dette kapittelet gir en kortfattet presentasjon av lys og dets egenskaper, og av ulike typer belysning. Dette er ment som et enkelt grunnlag for å forstå begreper som bølgelengde, hvor på skalaene de ulike fargene ligger, og andre egenskaper ved lyset som kan oppfattes av organismer (planter og dyr). Mange organismer oppfatter andre farger eller bølgelengder enn det som for oss er synlig lys, og de kan også oppfatte f.eks. polarisert lys og flimring (lyset slås raskt av og på som følger av vekselstrømmens egenskaper) på andre måter enn oss selv. Det er viktig å være klar over hvilke forskjeller det kan være mellom ulike arter eller taxa i både hvordan lys oppfattes og hvor forskjellige reaksjonene kan være.

Det er en rekke kunstige lyskilder eller lamper, som produserer lys med forskjellige egenskaper, inkludert fargespekter. Dette temaet er ikke diskutert inngående i denne rapporten, men en kort presentasjon blir gitt for å beskrive de viktigste egenskapene ved de ulike lyskildene, også som bakgrunn når slike egenskaper blir nevnt senere i rapporten.

Mer utførliginformasjon om lys, syn og farger, er gitt bl.a. gitt av Valberg (1998) og Sheppard (2011).

3.1 Lysspekteret, farger

Synlig lys for mennesker utgjør bare en liten del av det elektromagnetiske spekteret (Figur 3.1). Vi kan normalt oppfatte lys mellom 380 og 740/750 nm, mens andre organismer kan registrere bølgelengder både i den infrarøde og den ultrafiolette delen av spekteret (f.eks. Sheppard 2011, Bevanger & Refsnæs 2013).



Figur 3.1. T.v.: Det elektromagnetiske spektrum (Kilde: Wikipedia). T.h.: Sammenlikning mellom menneskets og fuglenes syn (fra Sheppard 2011).

Lysstyrken blir oftest målt i lux (som ikke er en SI-enhet), som uttrykker lysintensiteten på ei overflate, vektet for følsomheten vårt øye har for ulike bølgelengder (farger). Ettersom andre dyr kan oppfatte andre farger enn vårt øye, har noen forskere justert målinger av lysstyrke ut fra dette (Gal et al. 1999). Lysstyrken i noen kjente situasjoner er gitt i tabell 1.

Like mye som lysstyrken i seg er viktig, er plutselige endringer i lysstyrken viktig eller forstyrrende for noen arter. Prosentvis endring i lysstyrken eller tilsvarende kan derfor være like relevante for slike arter, som selve lysstyrken (Rich & Longcore 2006).

For definisjoner knyttet til lys, se vedlegg 1.

Tabell 1. Lysstyrke fra kjente kilder (fra Rich & Longcore 2006).

Kilde	Lysstyrke (lux)
Fullt sollys	103.000
Delvis sollys	50.000
Operasjonsbord	18.000
Skyet dag	1.000–10.000
Opplyst kontor	400–600
De fleste hjem	100–300
Parkeringsplass	10
Fullmåne med klar nattehimmel	0,1–0,3
Kvart måne	0,01–0,03
Klar stjernehimmel	0,001
Overskyet natt	0,00003–0,0001

3.2 Ulike lyskilder

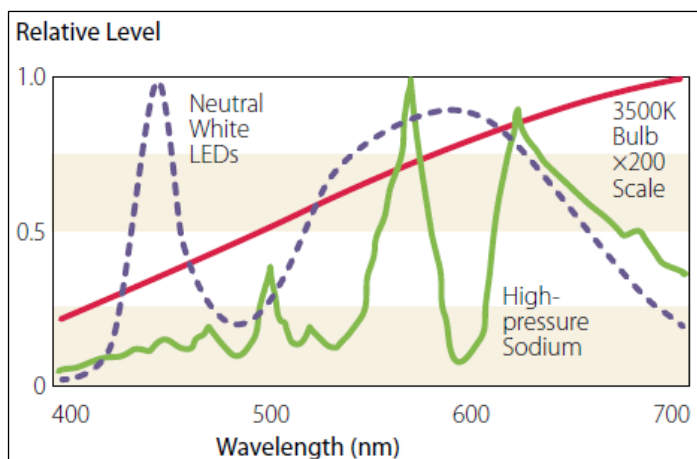
En elektrisk lyskilde er en lyskilde hvor lyset er frembrakt ved hjelp av elektrisitet. Elektriske lyskilder omfatter disse hovedgruppene (etter Wikipedia):

- Buelamper
- Glødende lyskilder der lys oppstår ved varmestråling
 - Glødelamper
 - Damplamper
 - Lavtrykks damplamper
 - Høytrykks damplamper
 - Metallhalogen damplamper
 - Kvikksølv damplamper
- Lyskilder der lys oppstår ved luminescens, dvs at stoffene i kildene emitterer noen få bølglengder:
 - Lysrør
 - Lysdioder, LED

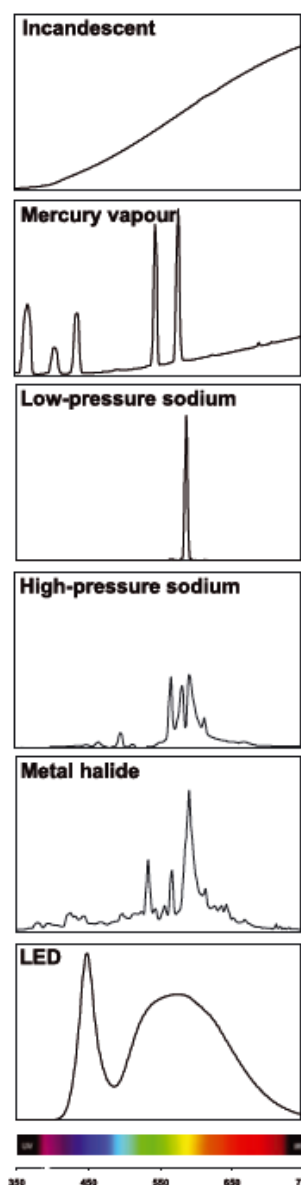
Den seneste utviklingen har endret gatebelysningen (og andre former for belysning), der lamper med et smalt fargespekter, som i lavtrykks natrium lamper (LPS) og høytrykks natrium lamper (HPS), som gir gult eller orange-aktige farger, blir erstattet av lamper med et bredere spekter med "hvitt" lys, som gir bedre fargegjengivelse for det menneskelige øyet.

Mer bredspektret lysteknologi som halogenlamper og lysproduserende LED blir i stadig større grad kostnadseffektive i bruk, og vår oppfattelse av "hvitt" lys gjør at et stadig økende antall av disse blir utviklet og tatt i bruk.

LED-lamper er særlig godt egnet når det er behov for varierende intensitet og/eller når det er behov for å slå dem av og på raskt, ettersom de kan operere med full intensitet uten tid til "oppvarming". En konsekvens av disse endringene er at fremtidens kunstige belysning vil lyse opp omgivelsene med et mer komplekst mønster både i romlig og temporær skala. I dette ligger det også en potensielt betydelig økologisk heterogenitet i lysets intensitet, varighet og fargesammensetning.



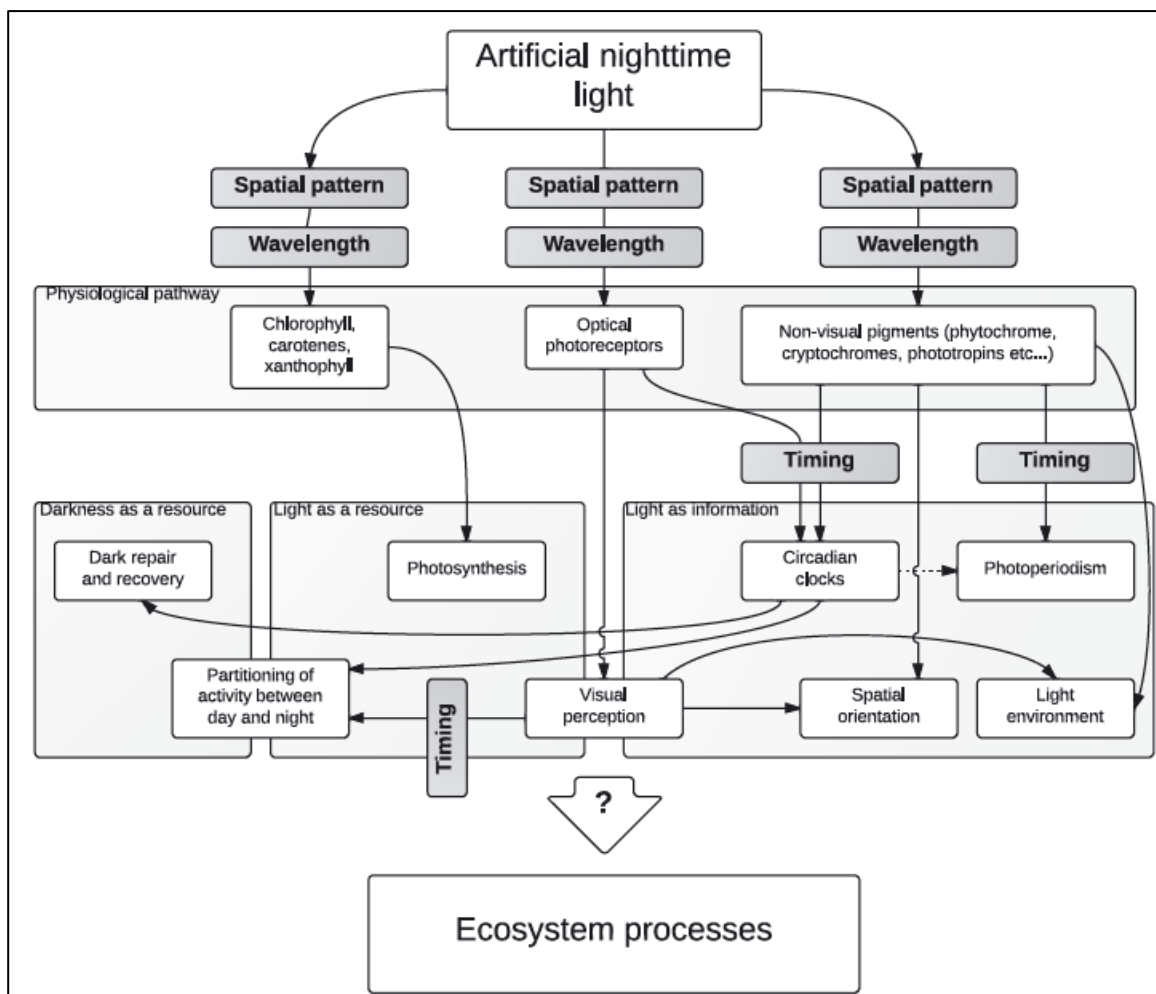
Figur 3.2. Spektra av de fleste kunstige lyskilder består av utstrålingsbånd, som er klart forskjellige fra termiske kilder (sola eller glødelamper). Det er derfor ikke riktig å beskrive spekteret til en lyskilde ut fra fargetemperatur.



Fargesammensetningen eller lysspekteret i kunstig belysning skiller seg fra naturlig lys, enten det er direkte sollys, skumring/grålysning eller måneskinn, ved at noen lystyper er begrenset til svært smale båndbredder, mens andre sender ut lys over en stor del av spekteret. De tidligste glødelampene som ble benyttet i gatelys, ga stort sett gult lys, mens lavtrykks natrium lamper som ble tatt i bruk i 1960- og 1979-årene, gir lys med en smal topp i det synlige spekteret ved 589,3 nm, som gir et tydelig monokromatisk oransje lys. Nyere lysteknologi gir lys over en større del av spekteret (høyttrykks natrium lamper gir et gult lys som tillater en viss fargegjenkjennelse, høyintensitets glødelamper gir et hvitt lys, med tydelige topper i de blå og ultrafiolette bølgelengdene, og LED-baserte gatelys lyser i stor grad i alle bølgelengder mellom 400 og 700 nm, med topper i de blå og grønne fargene) (Elvidge et al. 2010).

Kunstig nattbelysning varierer i rom, tid og fargesammensetning, og samlet gir dette mange muligheter for å påvirke både økologiske og evolusjonære prosesser (se figur 3.4, Gaston et al. 2012)

Figur 3.3. Kunstig nattbelysning varierer i rom, tid og fargesammensetning, her illustrert ved spektral sammensetning (relativt nivå) i en del hovedtyper av lys som er brukt siden 1950-tallet (fra Gaston et al. 2012).



Figur 3.4. Mulige måter for hvordan et økosystem kan påvirkes av lysforurensning. Lyset påvirker organismer via synssystemet hos dyr, fotosyntesen hos planter, og gjennom ulike pigmenter hos både planter og dyr. Effektene av kunstig lys blir bestemt av lysets romlige fordeling, bølgelengder og/eller tidspunktet for belysningen (her vist med skraverete bånd som indikerer at effekten er avhengig av dette). Økologiske effekter kan beskrives som forstyrrelser av informasjonsflyt og/eller endringer i bruk og tilgang til en ressurs. I hvilken grad disse effektene faktisk påvirker økosystemprosesser er foreløpig i stor grad ukjent (gaston et al. 2013)

Lampetyper

Mange studier av effekter av kunstig lys på ulike organismer, refererer til hvilke lyskilder eller lampetyper som er benyttet. Bølgelengder i forskjellige lampetyper er diskutert av bl.a. Massey et al. (1990) og Cinzano et al. (2001), se Rich & Longcore (2006). Her gis en kort presentasjon av noen viktige lampetyper (kilde: prollys.no).

Metallhalogen damplamper

Høytrykks metallhalogen damplamper representerer den siste utvikling innen produktområdet damplamper siden de første damplampene kom på markedet i 1933. Den gang var bruksområdet utendørs: til gate, vei og områdebelysning. I dag er teknikken utvidet til mer å gjelde belysning innendørs: i kontorer, butikksentra, messer og utstillinger. Lampene er utstyrt med en keramisk brenner og gir briljant hvitt og ikke minst et økonomisk lys. Fargetemperaturen ligger mellom 3 000° og 4 200° Kelvin, og Ra-indeksen er på mellom 90 og 100. Lampene finnes i mange utgaver, former og wattstørrelser. De karakteriseres gjerne ved:

- * meget høyt lysutbytte
- * meget liten varmeutstråling
- * gode fargegjengivelsesegenskaper
- * lang levetid

Nye halogen-metalldamplamper med keramisk brenner er en forbedret utgave av halogen-metalldamplampen HIT med kvartsbrenner. Den nye typen kan direkte erstatte HIT og har følgende fordeler:

- * Opptil 20 % mer lys sammenlignet med tilsvarende HIT
- * Meget stabil fargekvalitet gjennom levetiden og fra lampe til lampe
- * Ingen fargeforandring gjennom levetiden
- * Svært god fargegjengivelse
- * Forbedret fargegjengivelse (også for rødfarger)

Natrium- og kvikksølvdamplamper

Andre typer damplamper er som metallhalogen basert på utladningsprinsippet, men med forskjellig teknologi. Natriumlampene finnes både i lavtrykks- og høytrykks versjon. Lavtrykksutgavene kjenner vi igjen på det gule lyset både på veier og i parker. Fordelen med disse lampene er at man trenger mindre energi for opprettholdelse av riktig temperatur og gasstrykk i utladningen, hvilket medfører at lampene gir et en-farget gult lys. Høytrykksversjonen gir et varmhvitt lys fordi utladningen skjer under et høyere trykk, noe som gir et bredere fargespekter og derav vesentlig bedre fargegjengivelse.

I kvikksølvdamplampene finner utladningen sted i kvikksølv damp mellom to elektroder. Brenneren er bygget inn i en glasskolbe og på denne er sokkelen montert. Glasskolben gir brenneren de nødvendige konstante driftsforhold og gjør at lysytelsen praktisk talt er uavhengig av omgivelsestemperaturen. Denne oppbyggingen er felles for alle typer av kvikksølvdamplamper. Bruksområder er gate- og veibelysning. Noen spesielle egenskaper ved denne lampetypen er at den

- * Trenger oppvarmingstid for å oppnå full lysytelse (ca. 5 min)
- * Kan ikke gjentennes med en gang etter slukking (5 - 6 min)

Lysrør

Siden de første lysrørene kom på markedet i 1936 har disse lyskildene mer eller mindre dominert belysningen innen industri- og kontorbygg. Lysrørene har også gjennomgått en stor forbedring mot tynnere og mer effektive lysrør. Den største endringen fant sted i 1995 da T5 rørene kom på markedet. De har en diameter på bare 16 mm mot de eldre umoderne typene, T8 rørene, som har en diameter på 26 mm. T5 rørene er en meget energieffektiv løsning med høy virkningsgrad. Lysfargen har også endret seg, fra nærmest blåhvitt i starten til at man nå kan få alt fra dagslyshvite rør til varmhvit lysfarge. Lysfargen betyr mye for belysningsmiljøet: hvitt lys er regnet for godt og effektivt arbeidslys mens de varmere lysfarger egner seg til mer sosiale miljøer, som konferanse- og møterom.

Lysrøret er en kvikksølv-lavtrykksdamp lampe hvor strålingsenergien er et resultat av en elektrisk utladning gjennom en damp. En elektrisk utladning gjennom kvikksølv damp med lavt trykk gir en elektromagnetisk stråling, alt vesentlig i det ultrafiolette bølgeområdet. Dette bølgeområdet reagerer ikke vårt øye på, og det gir oss derfor ikke en fornemmelse av lys. Lysstoffpulveret omvandler imidlertid de kortbølgede ultrafiolette strålene til stråler med lengre bølgelengder innenfor det området vi oppfatter som lys. Lysstoffpulveret omformer altså med høy virkningsgrad resonansstrålingen (253,7nm) fra kvikksølv damputladningen til lysstråling (fluorescens) og dessuten reduserer det flimringen når gassutladningen drives med vekselstrøm og slukker periodisk hver gang strømmen passerer null, ved at pulveret gir tilstrekkelig "etterlysning" (fosforescens). De ulike blandingsforhold av lysstoffpulverets komponenter gir forskjellige lysfarger. Takket være lysstoffpulverets egenskaper er lysrøret i dag blitt en av våre mest anvendte lyskilder.

LED lyskilder og komponenter

Lysdioder (LED = light emitting diode) er små elektroniske halvlederchips, som i seg selv sender ut lys når det går strøm gjennom dem – altså et helt annet prinsipp enn andre typer lyskilder hvor lyset kommer fra enten en oppvarmet glødetråd eller fra gass under trykk. Diodene har en rekke fordeler: de har lang levetid, gir øyeblikkelig full lyseffekt, er fullt dimbare, har ingen IR eller UV stråling i lyset, de er små og robuste, tåler kulde, inneholder ikke kvikksølv og sparer energi. Som andre lyskilder avgir også diodene varme og må ha et kjølesystem enten innebygd i armaturen eller i lyskilden.

Lysdioder er uten tvil fremtidens lyskilde og er midt oppe i en rivende utvikling. Lysdioden ble oppfunnet i 1962 av General Electric, men kom først på markedet i 1968, da som røde lysdioder og ble benyttet til indikatorlamper. Etter hvert som de ble mer effektive kunne de benyttes til effektbelysning. Så fant man ut at de blå lysdiodene via et lag med fosfor kunne konvertere det blå lyset til hvitt lys, og i 2006 greide man å oppnå 50lm/W. Da gikk utviklingen fort og i dag har vi lysdioder på markedet som kan anvendes til nær sagt all ordinær belysning. I dag finnes LED lyskilder som kan brukes rett i eksisterende armaturer og det finnes komponenter som armaturindustrien benytter til å utforme egne armaturer tilpasset LED lyset.

3.3 Flimring

Kunstig lys skiller seg som regel klart fra naturlig sollys, inkludert det som reflekteres fra månen, og har egenskaper som ikke nødvendigvis er optimale for svært spesialiserte dyreøyer. Disse forskjellene er vist å ha betydning for arters atferd (Bird et al. 2004, Buchanan 1993), reproduksjon og overlevelse (Kempenaers et al. 2010, Rodriguez et al. 2012) og sammensetning av ulike samfunn (Davies et al. 2012).

Til nå har det vært mest fokus på effekter av forekomst av, tidspunkt for og fargesammensetning av kunstig nattbelysning (Gaston et al. 2013), mens det er gjort få studier knyttet til at mange lampetyper som når de er knyttet til vekselstrøm, ikke produserer en jevn strøm av lys, men en serie med pulser. Blinkingens frekvens og intensitet vil imidlertid variere med teknologien.

Det flimrende lyset er vist å ha uheldige effekter for mennesker (bl.a. hodepine og epilepsi, Wilkins al. 1989, Binnie et al. 1979, Sandström et al. 1997) og en rekke andre arter (se tabell 2 i Inger et al. 2014). I noen tilfeller skjer dette med blinking i frekvenser som øyet kan oppfatte, noen ganger skjer det med så høy frekvens at øyet ikke kan oppfatte blinkingen, men det er like fullt vist at det kan ha en rekke fysiologiske effekter (se tabell 2 i Inger et al. 2014). Hvorvidt en art vil bli påvirket av slikt lys eller ikke, vil avhenge av synets temporære oppløsning, noe som måles som "critical fusion frequency" (CFF). Dette er den frekvensen hvor en serie pulser vil bli oppfattet som en konstant strøm. Det er vist for flere arter at de kan oppfatte slike pulser, og at de dermed har et betydelig potensiale for å kunne medføre økologiske effekter som ikke har vært vurdert til nå. Inger et al. (2014) påpeker at oppfattelsen av flimring vil være begrenset i mange naturlige situasjoner og av flere grunner. For det første er alle arter som kan oppfatte flimring naturlig dagaktive, slik at blinking bare vil ha en effekt hos arter som kan øke daglengden som følge av kunstig belysning (se også Gaston et al. 2013). For det andre må dyret være nær nok lyskilden til at det har høy nok intensitet til å indusere en CFF som er høy nok til at dyret vil oppfatte lyset som blinkende.

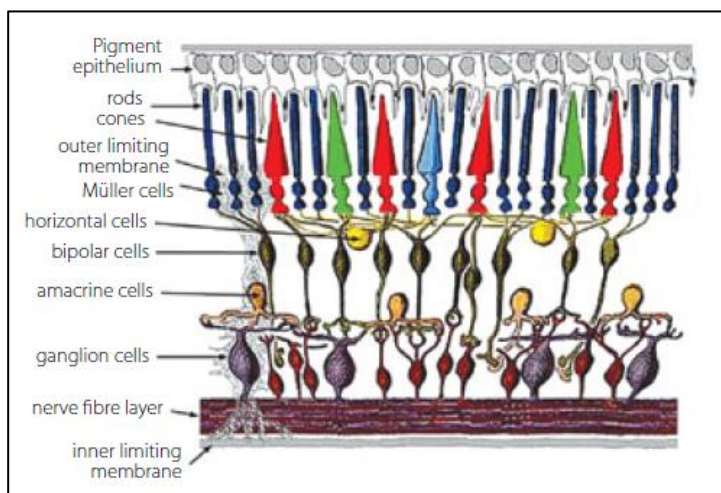
3.4 Hvordan ulike arter oppfatter lys, øyets fysiologi

Organismer har utviklet seg under stabile naturlige lysregimer, der signaler fra disse har styrt viktige økologiske prosesser. Synet er viktig for mange arter for å innhente informasjon fra omgivelsene, bl.a. for å finne mat og partnere og for å unngå predasjon. En arts synssystem er derfor vel tilpasset artens habitat og aktivitetsmønstre i form av følsomhet for ulike deler av lys-spekteret, oppdagbare lysnivåer og temporær oppløsning der de kan undersøke sine omgivelser. Det er kjent at det er en sammenheng (avveining, trade-off) mellom lysfølsomhet og

temporær oppløsning, slik at fotoreseptorene som kan registrere svakt lys ikke kan gi et bilde på omgivelsene like ofte som reseptorer som fungerer best ved høy lysintensitet. Dette ble først oppdaget av Autrum (1950, ref. i Inger et al. 2014), som fant at øynene hos dagaktive insekter som beveget seg raskt, som bier og øyestikkere, hadde en mye høyere temporær oppløsning enn nattaktive insekter som beveget seg mye langsommere, som sirisser og spøkelsesdyr (som vandrende pinner). Slike forskjeller er også funnet hos fisker i hhv. klart og grumset vann (Ali & Klyne 1985) og mellom dagaktive haier i grunne farvann og arter som lever på dypere vann (McComb et al. 2010).

Pattedyrøyets konstruksjon

Hvordan pattedyr reagerer på kunstig nattbelysning, vil avhenge av bl.a. hvordan øyet er konstruert, inkludert pupillen, linsetype, og om de fotosensitive cellene på netthinnen er dominert av tapper eller staver. Nattaktive dyr har gjerne stor pupiller, store linser og mange staver (Walls 1942). Stavene har høy følsomhet (kan stimuleres av bare noen få fotoner), men lav oppløsning, ettersom mange staver er forbundet med samme nervecelle. Det betyr at mange staver kan reagere samtidig og sende et signal til hjernen, men hjernen kan ikke vite hvilke staver som stimulerte nervecellen. Stavene oppfatter således mest konturer og svart-hvitt, mens tappene oppfatter farger. Blant tapper og nerver som de stimulerer, er det nesten et 1:1 forhold i noen pattedyrøyne.



Figur 3.5. Tverrsnitt av det menneskelige øyet. Kilde: <http://webvision.med.utah>.

Fugler

Øyet hos høyerestående dyr som pattedyr og fugler har mange fellestrekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått (Sillman 1973, Martin 1985, Schmidt-Nielsen 1991, Schmidt-Morand 1992, Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Valberg 1998, Zhang 2003). Imidlertid synes det også å være betydelige forskjeller mellom hva et fugleøye og et menneskeøye «ser» og gir hjernen av opplevelse. Dette har bakgrunn i en del fundamentale forskjeller mellom hvordan det visuelle systemet er organisert hos fugler og primater, det være seg netthinnen, den fysiologiske optikken, synsfelt og hvordan hjernen prosesserer sanseinformasjonen (Bowmaker m.fl. 1997, Shimuzu & Bowers 1999, Reiner m.fl. 2005, Martin & Osorio 2008, Hunt m.fl. 2009, Martin 2011) (for referanser, se Bevanger & Refsnæs 2013).

Øyet hos pattedyr og fugler har mange fellestrekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått. Flere forskere mener enkelte fuglearter har en betydelig evne til å skille farger i den gule delen av spekteret, og det synes sannsynlig at enkelte grønne og gule farger, særlig hvis de samtidig har et UV-bidrag, gir kontrast mot en naturlig grønn bakgrunn (**figur 3.1**).

Frosker

Noen nattaktive frosker har svært sensitive synsevner, som skyldes en kombinasjon av en stor overflate på netthinnen, stor iris, tapeta lucida (indre reflekterende flater i øyet), og en romlig og temporær integrering, som alle er metoder for å øke lysmengden som kan samles av syns-systemet (Warrant 1999). Arter som er utviklet under svært lave lysintensiteter har tilpasninger som kan begrense deres evne til å justere for økt lysstyrke om natta knyttet til kunstig belysning.

Beinfisker og synsoppfattelse

Beinfisker utgjør 96 % av alle nålevende fiskeslag. For disse artene er mange sider ved deres atferd, næringssøk, stimdannelse og vandringer, styrt av spesifikke lysintensiteter. I øyet registreres responderer fotoreseptorer som staver (scotopisk syn) og tapper (photopic syn) på endringer i lysintensiteten. Fisken samles i stimer og slutter å beite når lyset faller under terskelverdien for respons i stavene. Lysoppfattelsen under vann avhenger bl.a. av hvor gode siktforhold vannet har, og fargesammensetningen på lyset. Forskjeller i pigmentenes evne til å absorbere lys blir bestemt av både genetikk og habitat, og denne evnen eller kapasiteten forandres etter hvilke lysspekter som er tilgjengelig i deres habitat (Wald et al. 1957, se Rich & Longcore 2006). Som et eksempel, når unge laksefisker vandrer fra ferskt til salt vann, vil pigmentene endres fra å være porphyropsin- til rhodopsin-dominerte (Beatty 1966, Folmar and Dickhoff 1981). Disse endringene forandrer synets sensitivitet for de røde-gule fargene i elver til de blå fargene i estuarier og havområder.

Synsfunksjon og alder

Med en økning i gjennomsnittlig levealder og antall eldre er det særdeles viktig å kjenne til de aldersavhengige fysiologiske endringene i synsfunksjonen, og hvordan belysningen påvirker disse. Alle endringene medfører en reduksjon i evnen til å motta visuelle inntrykk. Det er viktig å ta hensyn til dette når en skal utforme belysningsanlegg for eldre mennesker og anlegg som skal oppfylle krav til universell utforming. De viktigste fysiologiske endringene er:

- Redusert innfall av lys på netthinnen
- Økt risiko for blinding
- Redusert evne til å tilpasse synet fra lys til mørke, eller omvendt
- Redusert evne til å fokusere

Med økende alder opptrer urenheter (partikler og lignende) i øyets optiske deler. Dermed slipper mindre lys frem til netthinnen. Pupillstørrelsen avtar også med alderen, hvilket også fører til at mindre lys kommer inn i øyet. En 80-åring vil pga. disse aldersbetingede forholdene trenge en lysstyrke fem ganger høyere enn en 20-åring for å se like godt. Like viktig i denne sammenheng er det å vite at økt kontrast også kan brukes, slik at man ikke nødvendigvis må skru opp lysnivået. Riktig farge- og materialbruk kan også redusere behovet for kraftig lys.

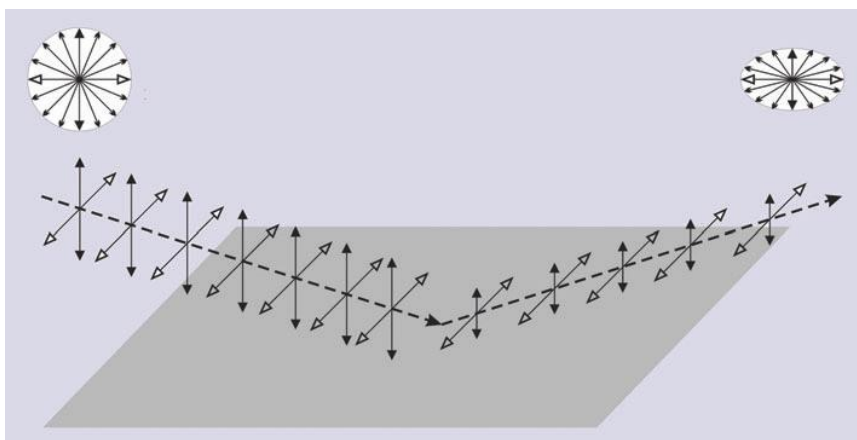
Dette er en effekt av alder som er funnet hos mennesker, og det foreligger lite som tilsier at en slik effekt også kan opptre hos andre organismer. Men, laksefisker som skal vandre ut i havet, beveger seg oftest om natten, etter at øynene har vent seg til lysforholdene om natta. Dette kan ta mellom 30 og 60 minutter, avhengig av art og alder (Ali 1959). Mange dyr kan bli svært gamle, men alder kan også være et relativt begrep ut fra artenes normale levealder. Men hvorvidt dette kan være en relevant problemstilling for lysforurensning i Norge, gjenstår kanskje å se, hvis noen følger opp dette feltet med nye studier.

3.5 Polarisert lys

Lys fra solen og fra de fleste andre lyskilder er upolarisert, Det betyr at lysets bølgebevegelse finnes i alle retninger i et plan loddrett på bevegelsesretningen. Lyset blir polarisert og får en framtrødende svingretning i det det passerer gjennom et polariseringsfilter, blir reflektert (f.eks.

av vann eller glass), eller blir spredt av små partikler i atmosfæren. Polaroidfiltre som brukes i solbriller, er orientert slik at de absorberer det polariserte lyset som reflekteres fra vannrette flater (f.eks. våte veibaner og speilende vannflater), og de har derfor ingen effekt i forhold til lys som reflekteres fra loddrette vinduer (se Valberg 1998).

Mange arter, bl.a. bier, kan benytte polarisert lys som en informasjonskilde. Horváth et al. (2009) bruker begrepet polarisert lysforurensning (PLP) om lys som er blitt polarisert etter å ha truffet menneskeskapt objekter, som solpanel, bygninger og asfalterte veier. Unaturlig polarisert lys kan medføre uhensiktsmessig atferd hos arter som er følsomme for polarisert lys, bl.a. ved at insekter kan søke seg mot vegger eller andre flater som polariserer lyset i den tro at de flyr mot vann. Mange arter har nå vist seg å være følsomme for polarisert lys (se ref. for dette i Horváth et al. 2009). Kunstig polarisert lys kan utgjøre økologiske feller for slike arter (se figur 3.6). Vår kunnskap om effektene av dette er svært begrenset, selv om konsekvensene av det kan være dramatisk økt dødelighet og nedsatt forplantingssuksess, så Horváth et al. (2009) anbefaler økt forskning på dette feltet.



Figur 3.6. Etter refleksjon fra en ikke-metallisk flate, blir upolarisert lys lineært polarisert. For nærmere forklaring på dette, se f.eks. Horváth et al. 2009.

3.6 Lysforurensning

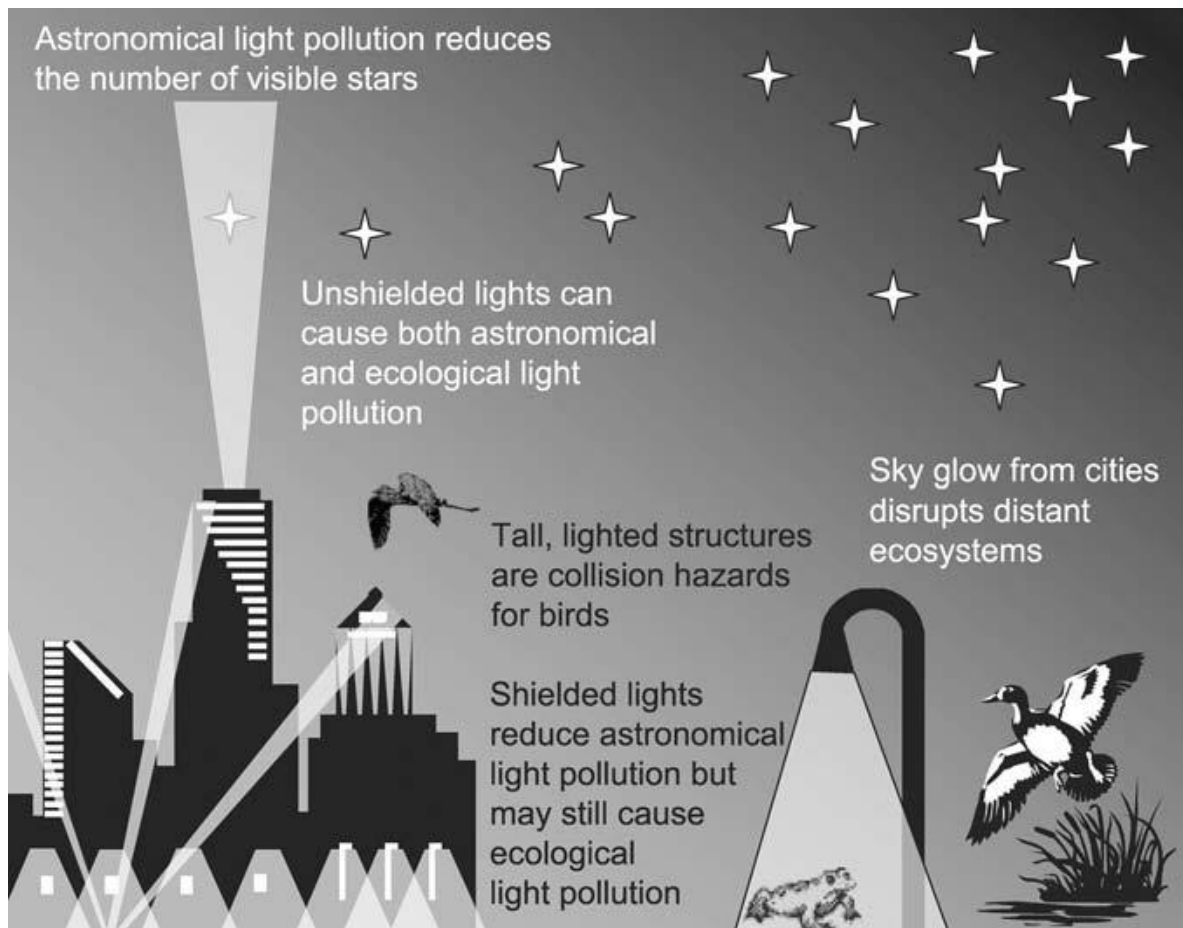
Lysforurensning er en betegnelse for negative konsekvenser av «overflødig» menneskeskapt lys. Noen av disse konsekvensene er forringede muligheter for observasjoner av nattehimmelen, sløsing med energi samt forstyrrelse av økosystemer.

Lysforurensning - astronomisk og økologisk

Lysforurensning er en betegnelse for negative konsekvenser av «overflødig» menneskeskapt lys. Noen av disse konsekvensene er forringede muligheter for observasjoner av nattehimmelen, sløsing med energi samt forstyrrelse av økosystemer. Begrepet lysforurensning ble opprinnelig knyttet til hvordan mennesket kunne se nattehimmelen i områder med kunstig lys (astronomisk lysforurensning), men blir nå også brukt i forbindelse med økologiske effekter av kunstig belysning (se **figur 3.7**). Dette inkluderer direkte lys, kronisk økt belysning, og temporære og uventede svingninger i lyset (Rich & Longcore 2006). Senere er også polarisering av lys sett på som en ny type lysforurensning (Horváth et al. 2009), se kap. 4.5.

Lysskjær - av nattehimmelen

Lysskjær (skyglow) er en belysning av skyer fra lys som er rettet oppover, eller fra elektrisk lys som reflekteres fra vann, støv eller gassmolekyler i atmosfæren (The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Omfanget av dette har økt de senere tiårene (se **figur 3.8**).



Figur 3.7. Diagram som illustrerer forskjellen mellom astronomisk og økologisk lysforurensning (fra Longcore & Rich 2006).



Figur 3.8. Lysskjær over land i EU. Ulikt Nord-Amerika, er det her svært få områder som er igjen hvor en kan ta vare på upåvirkta skydekke eller nattehimmel (The Royal Astronomical Society of Canada 2012). Merk lysskjæret fra oljeriggene i Nordsjøen.

4 Generelt om effekter av kunstig nattbelysning

Det er økende dokumentasjon av en rekke økologiske effekter av nattlig lysforurensning (for reviewer se Longcore & Rich 2004, Rich & Longcore 2006, Navara & Nelson 2007, Bruce-White & Shardlow 2011). Disse effektene omfatter organismers bevegelser (Peters & Verhoeven 1994, Moore et al. 2000, Lorne & Salmon 2007, Stone, Jones & Harris 2009), næringsøk (Rydell 1991, Buchanan 1993, Negro et al. 2000, Bird, Branch & Miller 2004, Santos et al. 2010), interspesifikke interaksjoner (Svensson & Rydell 1998), kommunikasjon (Baker & Richardson 2006, Miller 2006), reproduksjon (Boldogh, Dobrosi & Samu 2007) og dødelighet (Dick & Donaldson 1978, Peters & Verhoeven 1994, Le Corre et al. 2002, Black 2005).

Mye oppmerksomhet har vært rettet mot katastrofepregede hendelser, som høy dødelighet som følge av desorientering hos unger av skilpadder og fugler som følge av kunstig nattbelysning (f.eks. Howell, Laskey & Tanner 1954, Verheijen 1958 1985, McFarlane 1963, Reed, Sincok & Hailman 1985, Witherington & Bjorndal 1991, Peters & Verhoeven 1994, Salmon et al. 1995, Le Corre et al. 2002, Jones & Francis 2003, Black 2005, Tuxbury & Salmon 2005, Gauthreaux & Belser 2006, Montevecchi 2006, Evans et al. 2007b, Lorne & Salmon 2007, Gehring, Kerlinger & Manville 2009, Tin et al. 2009, Rodríguez, Rodríguez & Lucas 2012, for fullstendige referanser, se Gaston et al. 2013).

Det er imidlertid identifisert et en rekke påvirkninger utover disse (Longcore & Rich 2004, Höller et al. 2010a, Perkin et al. 2011).

4.1 Effekter av naturlige variasjoner i lys

Naturlige variasjoner i lys om natta skyldes først og fremst forskjeller i måneskinn på klare netter. Det er vist at flere arter søker mer effektivt etter næring i netter med måneskinn enn i netter uten (Pienkowski 1982, Turpie & Hockey 1993, Thibault & McNeil 1994, Dodd & Colwell 1998), noe som indikerer betydningen av kunstig nattbelysning for næringsøk nattetid. Det er også vist at gyting hos noen marine arter er bestemt av månelys/månefaser.

Nyere undersøkelser av kunstig lys nattetid har vist at to tredjedeler av verdens befolkede områder er over grensen som er satt for lysforurensning, som tilsvarer lysmengden fra den første fjerdedelen av månen i områder uten lysforurensning (Cinzano et al. 2001).

4.2 Fysiologiske effekter - melatonin

Melatonin er kroppens søvnhormon. Melatonin dannes av serotonin og skilles ut av epifysen, også kalt pinealkjertelen. Denne utskillelsen skjer under mørke: melatonin kalles også for mørkehormonet. Når lys treffer øynene, brytes melatonin i blodet ned og utskillelsen stanser. Melatonin er sagt å ha en effekt på såkalte vinterdepresjoner hos mennesker ettersom utskillelsen av melatonin varer i flere timer om vinteren enn om sommeren, og dette kan medføre trøtthet og slapphet. Enkel behandling med lys, til rette tidspunkt, kan motvirke dette, ved at melatonin da brytes ned (Avery et al. 2001).

Hos de fleste vertebrater skilles melatonin primært ut av epifysen på en rytmisk måte: Hos dagaktive dyr blir melatonin frigjort om natten og inhibert av dagslys (Foster & Kreitzmann 2004).

Dominoni et al. (2013b) refererer flere studier som trekker fram betydningen av og funksjonen til melatonin i flere av virkningsmekanismene bak effekter av kunstig nattbelysning, både i forhold til endringer i atferd og fysiologiske prosesser. Hos urbaniserte arter er det etterhvert noe kunnskap om endringer i f.eks. biologiske rytmer som styrer de daglige aktivitets- og hvileperiodene, og tidspunkt for reproduksjon. Vår kunnskap om de underliggende fysiologiske mekanismene er imidlertid begrenset, men melatonin trekkes ofte fram som en viktig faktor bak det

vi observerer som effekter av kunstig nattbelysning (se f.eks. Dominoni et al. 2013b) for effekter på sangaktivitet hos svarttrost.

Gitt resultatene som viser en kortere periode med høy utskilling av melatonin og økte aktivitetsnivåer, spekulerer Dominoni et al. (2013b) på om kunstig nattbelysning kan forstyrre søvn, med potensielt alvorlige helseproblemer som konsekvens, også hos mennesker (Bass & Turek 2005, Kantermann et al. 2010). Eksponering for kunstig nattbelysning forstyrrer også fysiologisk gjennom andre mekanismer, som endringer i corticosteron-rytmen eller biologiske klokker, slik det nylig er vist hos (Bedrosian et al. 2010). Samlet er det behov for en bedre forståelse av potensielle fysiologiske belastninger av redusert i melatoninnivå som forårsaket av kunstig nattbelysning.

Manglende kunnskap

Studier av melatonin-nivåer hos trekkende vadere, viser at selv om de har vært gode modellarter for studier av kronobiologi (studier av biologiske rytmer), er vår mekanistiske kunnskap om deres evner til å gjøre flere ting samtidig fortsatt dårlig (Helm et al. 2012).

4.3 Biologiske rytmer

Variasjoner i tidspunkt og varighet for biologisk aktivitet hos levende organismer er viktige for mange biologiske prosesser. Dette omfatter dyr (næringssøk, søvn, parring, dvale/vintersøvn, trekk, fornyelse av celler etc.), i planter (bevegelser på blad, fotosyntesereaksjoner etc.) og hos mikroorganismer som sopp og encellede parasitter (protozoer). Variasjoner i døgnrytmen er også funnet hos bakterier, som hos enkelte blågrønnalger. Den viktigste rytmen i kronobiologien er døgnrytmen, er omtrentlig 24-timers rytme som vist gjennom fysiologiske prosesser hos alle disse organismene (se **figur 4.1** for menneskets fysiologiske døgnrytme). Denne rytmen er styrt av biologiske klokker.

Organismer kan deles inn i ulike grupper etter døgnrytmer (kilde: Wikipedia):

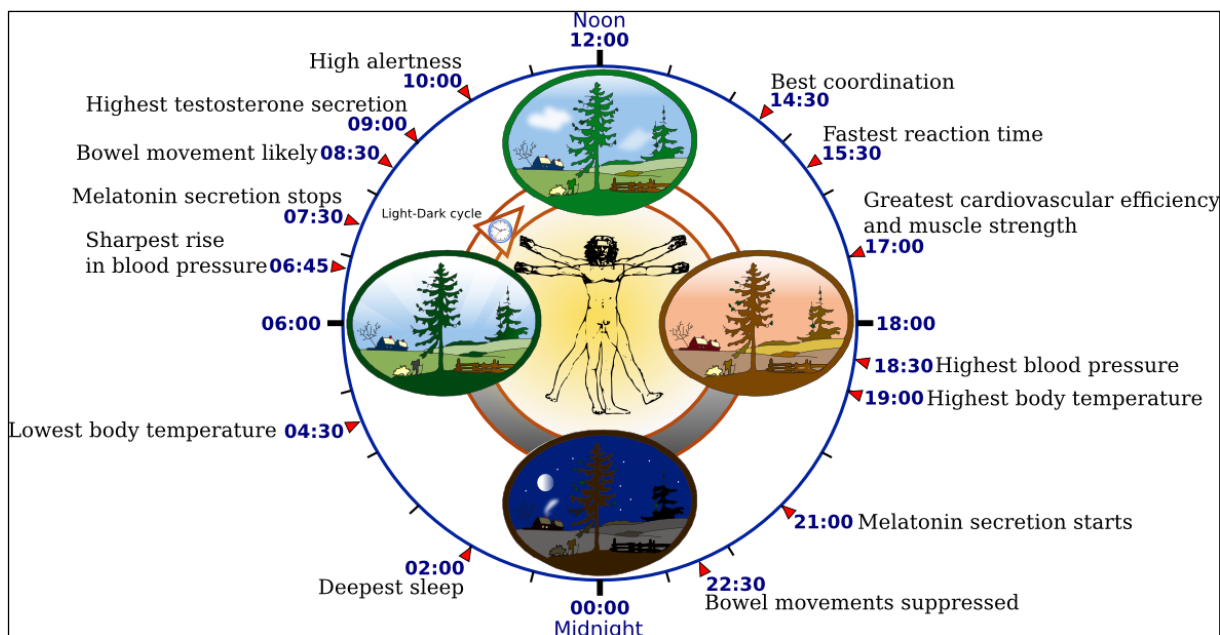
- Dagaktive organismer (diurnal)
- Nattaktive organismer (nocturnal)
- Skumringsaktive organismer (primært aktive morgen og kveld, crepuscular)

Mens noen døgnrytmer er styrt av indre mekanismer, kan andre biologiske sykluser mer være styrt av ytre signaler.

Flere andre viktige sykluser er også studert, bl.a.

- Årsrytmer, en av flere sykluser som er lenger enn et døgn (som de årlige syklusene for trekk og forplantning hos enkelte dyr, eller den menneskelige menstruasjonssyklusen).
- Tidevannsrytmer i det marine miljø, som følger en veksling på ca. 12,4 timer mellom flo og fjære, og som derfor over tid vil variere i tidspunkt gjennom døgnet.
- Månesykluser, som følger en perioden på 29,5 dager mellom to fullmåner. Disse er mest relevante for det marine miljø, ettersom nivåene for tidevannet varierer gjennom syklusen.

I marine miljøer vil vadere og andre fugler og mange andre organismer også måtte tilpasse seg en tidevannsrytme (f.eks. Van Gils et al. 2006).



Figur 4.1. Oversikt over den menneskelige døgnrytmen eller biologiske klokke, med noen fysiologiske parametere (kilde: Wikipedia).

Forstyrrelser av biologiske klokker

Døgnrytmen som biologisk klokke er ikke nøyaktig 24 timer under konstant lys, så den må synkroniseres ut fra miljøet dyret lever i. For alle dagaktive vertebrater korrigeres den biologiske klokken om morgenen, mens for nattaktive dyr korrigeres den om kvelden (Foster & Provencio 1999). Den biologiske klokken styres av et spesielt system av fotoreseptorer utenom stavene og tappene. En nærmere beskrivelse av hvordan dette fungerer, er gitt av Rich & Longcore (2006).

Den biologiske døgnrytmen påvirker produksjonen av flere hormoner, og kanskje i særlig grad melatonin, som styrer ikke bare aktivitetsmønstre som er omtalt tidligere, men også de aller fleste fysiologiske og atferdsmessige rytmene hos pattedyr (Bartness & Goldman 1998).

Hvis en antar at døgnrytmen ble utviklet for å effektivisere f.eks. matsøk og redusere faren for predasjon, kan kunstig nattbelysning medføre alvorlige konsekvenser for dyrene hvis lyset forstyrrer denne klokken. Dyrene dette gjelder for, vil også komme ut av fase med andre dyr som lever i et naturlig dag-natt-regime. Hos mer sosiale dyr kan dette påvirke partnervalg, gruppens antipredatoratferd, og andre prosesser (Rich & Longcore 2006). Hos alle arter er produksjonen av melatonin høy om natten og begrenset på dagtid, selv om dyrs respons på melatonin ofte varierer mellom nattaktive og dagaktive dyr.

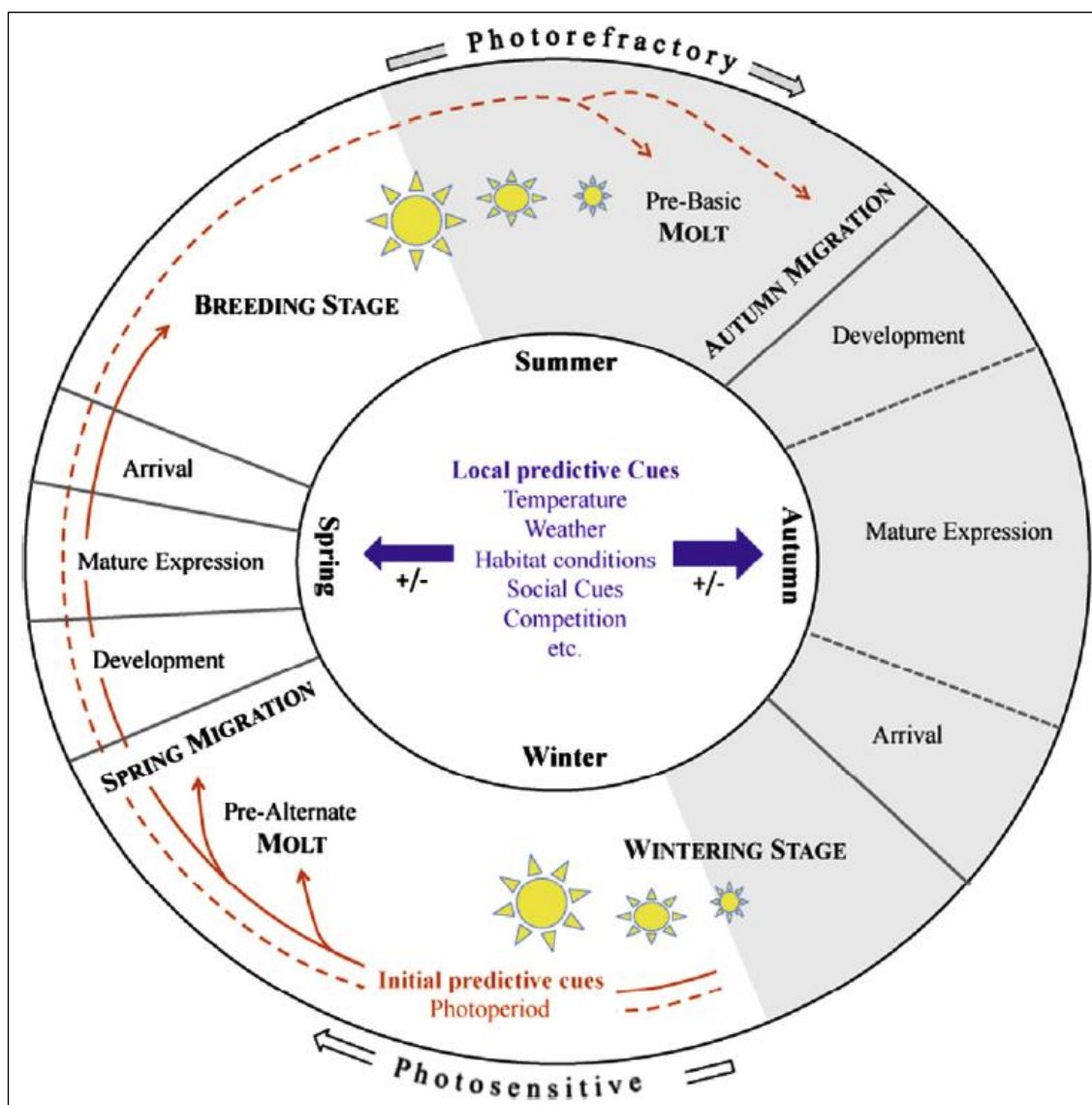
Dyrenes årsrytme styres også i stor grad av biologiske klokker, og er viktige for flere funksjoner, som årlige variasjoner i vekt, hormoner, reprodutiv status og dvale. Slike klokker kan kontrollere bl.a. forsinket implantasjon, og medføre god synkronitet i fødsler for mange dyr. Dette er viktig for mange arter for å redusere predasjonsfaren, og også for å sikre at ungene fødes på en tid med god næringstilgang.

Det er imidlertid utført svært få studier av årsrytmen, bl.a. fordi dette er tidkrevende å gjennomføre, så det er fortsatt mye en ikke vet om hvordan slike biologiske klokker virker og hvordan de kan påvirkes og forstyrres av lys, selv i små mengder, og i noen tilfeller trolig også av temperatur. Månesyklusen kan også påvirke årsrytmen hos noen dyr, som reprodutiv atferd hos noen hovdyr (f.eks. hester og hjortevilt).

Fugletrekket

Fugletrekket er en viktig del av årssyklusen for nærmere 2000 fuglearter. Til tross for omfattende forskning på fugletrekk er det få undersøkelser som har sett på hvilken betydning hormoner har for fysiologiske og atferdsmessige responser. Dette er et relativt nytt forskningsfelt. I en review har Cornelius et al. (2013) prøvd å forstå de hormonelle mekanismer bak flere stadier av trekkets livshistorie, som trekkstart, selve trekket og ankomst (se dette illustrert i **figur 4.2**). Disse stadiene varierer svært mye i deres atferdsmessige, økologiske og fysiologiske uttrykk, og bør derfor vurderes nøye på individnivå.

Gitt videre forskning på dette feltet, kan vi kanskje i årene som kommer forvente bedre bakgrunnskunnskap om hvordan bl.a. lysforurensning under ulike stadier av trekket, potensielt kan påvirke både overlevelse og reproduksjon.



Figur 4.2. Teoretisk modell av effekter av miljøforhold på vår- og høsttrekket hos fugler, basert på studier av fugler som trekker over land i nordlige tempererte områder (Cornelius et al. 2013).

Lys som ressurs og informasjonskilde

Lys kan være både en ressurs og en informasjonskilde for organismer (f.eks. Gerrish et al. 2009), og som skillet er vesentlig for forståelsen av hvordan kunstig lys kan influere på biologiske prosesser (se **tabell 2**). Lys er en viktig ressurs både som grunnlag for fotosyntese, for å fordele aktiviteter mellom dag og natt (bl.a. gjennom nisjefordeling mellom arter for å unngå både konkurranse og predasjon), og for noen viktige fysiologiske prosesser som kontrollerer skader, som f.eks. fra ozon). Dette er nærmere beskrevet og utdypet av Gaston et al. (2013), som også gir mange gode eksempler på dette. Lysets retning, varighet og fargespekter er en viktig informasjonskilde for biologiske klokker (for både daglige sykluser med dag og natt, sesongendringer i daglengden, og den månedlige månesyklusen), synsinntrykk som grunnlag for å få oversikt over omgivelsene (dyrs evne til å gjenkjenne objekter varierer veldig), og romlig orientering og lysmiljø.

4.4 Effekter av vei- og gatebelysning, trafikk

Flere forfattere peker på problemer som kan oppstå når kunnskap om miljøkonflikter skal vurderes eller prioriteres (Svarstad et al. 2008, Lyytimäki et al. 2011), ettersom det ikke er noen universell anerkjent metode for å gradere disse. En prioriteringsrekkefølge vil som regel bli bestemt av sammenhengen de blir satt inn i, og hvilke verdsett som blir lagt til grunn. I denne rapporten er det derfor gitt en oversikt over mange mulige effekter - negative som positive - av lysforurensning, uten at de er prioritert. Med økt innsikt i problemstillingene knyttet til lysforurensning, kan utbyggere og forvaltere være bedre i stand til å vurdere utbyggingsalternativer og mulige avbøtende tiltak i lys av dette, gjerne i samarbeid med biologisk kompetanse.

Effektene av veibygging med tilhørende infrastruktur er godt kjent og tatt hensyn til i konsekvensanalyser (f.eks. Spellerberg 1998, Jonsson & Johansson 2006). Belysning av veier og gater sammen med lys fra kjøretøyer blir sett på som en av de største kildene for kunstig belysning av naturmiljøet i Finland (Lyytimäki et al. 2011). Som en følge av dette er det nesten umulig å finne et sted i sørlige Finland som er fullstendig uten kunstig belysning, en situasjon som er typisk for de fleste industrialiserte regioner i verden (Cinzano et al. 2001, se også figur 1 i Lyytimäki et al. 2011).

I Norge synes lysforurensning å være et lite påaktet problem, jfr. blant annet rapporten "Lys på stedet", som ikke tar opp dette i det hele tatt (Samferdselsdepartementet m.fl. 2011). Det er derfor prisverdig at Statens Vegvesen med sin bestilling av denne rapporten ønsker å få dette belyst i forbindelse med utvidelse av E6 gjennom Åkersvika, og generelt for veiprojekter andre steder i landet.

I Finland er det gjort noen beregninger av hvor store arealer som blir berørt av gatelys utenom urbane områder (Lyytimäki et al. 2011). Gitt at veibelysningen lyser opp områder som er 20 meter brede (det dobbelte av veibredden), vil om lag 500 km² bli belyst. Om en tar med kryss og parkeringsplasser og andre trafikkområder, vil dette tallet fort kunne økes til 650 km². Dette utgjør 0,2 % av Finland totale areal, og er en tiendedel av de ca. 6500 km² med urbane områder som blir påvirket av gatelys. Kjøretøyer som beveger seg i områder uten veibelysning vil øke dette arealet betydelig, selv om belysningen ikke er konstant.

Lys fra veibelysning skaper lange strenger eller korridorer som er permanent belyst. Dette kan medføre en rekke problemer knyttet til lysforurensning, som barriereeffekter, insekter som tiltrekkes av lyset m.m. (flere eksempler på dette blir gitt senere i rapporten).

På grunn av trafikkbelysning og annen belysning er det nå vanskelig å finne områder i Sør-Finland som er helt uten kunstig lys (Lyytimäki et al. 2011), en situasjon de beskriver som typisk for mange av de industrialiserte landene i verden (se Cinzano et al. 2001: Figur 1). Dette har til nå ikke blitt sett på som et viktig miljøproblem, selv om effekter på oss selv gjennom f.eks. dårlig nattesøvn har vært nevnt noen ganger. Dette står i kontrast til mange studier av

nytteverdien av slik belysning for mennesker i perioder med nattemørke. Det finske veivesenet har utgitt en veileder for veibelysning (FinnRA 2006), men denne har bare en setning om at de vil prøve å begrense forstyrrende lys, og da for eiendommer langs veien (Lyytimäki et al. 2011). I så måte kan den ligne den norske veilederen "Lys på stedet" (Samferdselsdepartementet 2011).

Lyytimäki et al. (2011) peker også på at litteratursøk med nøkkelord som "traffic", "lighting", "environmental", "ecological" and "impact" i vitenskapelige databaser gir mange artikler som omhandler andre tema enn lysforurensning (f.eks. De Coensel et al. 2005). I omtrent samtlige av disse artiklene blir ikke trafikklys sett på som et problem, og de få som har studert slike effekter har hatt fokus på effekter for mennesker (f.eks. Robin et al. 2007), og ikke på økologiske effekter, med unntak av studier av hvordan lys kan forstyrre fugler.

Lyytimäki et al. (2011) trekker fram noen studier av lysforurensning i forhold til fugler, men synes selv ikke å være helt oppdatert på litteraturen på dette feltet. De trekker fram et par studier der effekten av lys blir vurdert sammen med støy og andre påvirkningsmåter (f.eks. van Boemen 2002), samt effekten av lysforurensning på sangaktiviteten til rødstrupe (*Erithacus rubecula*) i et urbant miljø (Fuller et al. 2007b).

4.5 Polarisert lys

Fugler kolliderer med glass på bygninger i et formidabelt omfang i Nord-Amerika, og det er gjort mye for å kartlegge omfanget og finne avbøtende tiltak (f.eks. Sheppard 2011, Audubon Minnesota 2010^{*)}, men selv om de i første rekke handler om fugler som kolliderer med bygninger, har de mye stoff om bl.a. egenskaper til lys og glass, forslag til avbøtende tiltak, regionale programmer for å redusere lysmengden, og lover som er vedtatt eller på gang for å begrense lysforurensning. På sikt kan kanskje dette også bli aktuelle problemstillinger i Norge, ikke bare knyttet til veibelysning,

^{*)} Disse rapportene er ikke gjennomgått

Polarisert lysforurensning er trolig den mest veldokumenterte faktoren som kan medføre en økologisk felle. Orientering mot polariserte lyskilder er kanskje den viktigste mekanismen minst 300 insektarter benytter seg av når de søker mot vannkilder de trenger for både å kunne søke næring, pare seg og legge egg. Ettersom flere kunstige flater, som f.eks. asfalterte veier, gravstøtter, biler, plastikk, oljesøl og vinduer, reflekterer lys som er polarisert, blir slike flater ofte tatt for å være vannspeil. Lys som reflekteres fra kunstige flater er ofte sterkere polarisert enn lys fra vannflater, og kunstige polariserende flater er derfor ofte mer tiltrekkende for "polarotaktiske" vanninsekter enn vann, ved at de fungerer som en overdrevent optisk stimulus. Dette kan medføre at en del insekter foretrekker å sverme rundt, pare seg og legge egg på slike polariserende flater fremfor og gjøre over eller i vannet (for insektarter og referanser, se Horváth et al. 2009).

4.6 Økologiske feller, asfalt

Økologiske feller mener man kan oppstå når tiltrekningskraften til et habitat øker, uten at dette står i forhold til dets betydning for overlevelse og reproduksjon. Resultatet kan bli at organismer foretrekker mindre egnede eller falske habitater og generelt unngår høykvalitetshabitater fordi de synes å være mindre attraktive enn de falske. Dette kan medføre lavere overlevelse og sviktende reproduksjon for organismer som på denne måten velger feil habitat. Polarisert lysforurensning er eksempel på dette (se 4.5). Slike økologiske eller evolusjonære feller er lite forstått, og dermed også hvilken rolle eller betydning lysforurensning kan ha i en slik sammenheng (se f.eks. Horváth et al. 2009, Battin 2004, Weldon & Haddad 2005, Robertson & Hutto 2006).

Tabell 2. Effekter av nattlig belysning på organismer (fra Gaston et al. 2013).

		Influensområde	Tidspunkt	Lysspekter
Lys som en ressurs	Fotosyntese	Svært lokalisert, nær lyskilden, sannsynligvis bare av betydning i naturlig mørke habitater (som huler).	Mest positivt for planter når lyset varer hele den naturlige mørke perioden - effektene vil avta med varigheten av lyset.	Effektivt innenfor et vidt spekter, med bølglengder mellom 400 og 700 nm, som overlapper med menneskets synssystem. Høyest følsomhet i rødt og blått
	Fordeling av aktiviteter mellom dag og natt	Effekter kan oppstå over store områder, ettersom lysskjær tillater økt nattlig aktivitet, eller svært lokalisert, etter som direkte lys nær lamper tillater dagaktive (+) arter å utvide sine aktive perioder inn i perioder med naturlig mørke	Sannsynligvis mest kritisk rundt morgen og kveld, men kontinuerlig lys kan gi effekter i en større del av natta.	Effektive bølglengder kan variere mellom taxa.
	Dark repair and recovery	Kan være vidspredt - få data på fysiologiske mekanismer og hvilke lysintensiteter som kreves på tvers av arter.	Kan være effektive gjennom natta, korte lyspulser kan være nok til å forstyrre melatoninproduksjonen.	Blått lys og UV-A kan promotere DNA-reparasjoner gjennom photo-reactivation, men blått kan forstyrre melatoninproduksjonen hos høyere vertebrater.
Lys som en informasjonskilde	Biologiske klokke (circadian) og fotoperiodisme	Kan være vidspredt, men vanligvis funnet nær lyskilder (f.eks. sen eller manglende løvfall hos (deciduous plants) trær nær gatelys)	Varig og intermitterende low lighting er begge vist å ha en effekt, korte pulser av lys gjennom natta er nok til å disrupt både biologiske klokke og fotoperiodisme hos noen arter.	Effekten forventes å variere mellom taxa, planter kan være sensitive for forholdet mellom rødt og fargeløst lys via phytochrome pathway, heller enn absolutt lysstyrke i en gitt bølglengde. Planter og dyr kan også reagere på blått lys gjennom «phytochrome pathway».
	Synsevne, -oppfattelse	Kan være vidt utbredt over store områder, effekter av lysskjær kan være like store eller overstige månelys.	Trolig mest effektivt rundt skumring og demring, ved å utvide aktivitetsperioden for normalt dagaktive (+) arter, men kan også tillate aktivitet gjennom hele natta (f.eks. vadefugler).	Effektive bølglengder vil variere mellom arter. Bredspektrede lyskilder tenderer mot å gi bedre fargegjengivelse og gjøre det lettere å identifisere objekter fra bakgrunnen hos de fleste arter.
	Romlig orientering og lysmiljø	Arter er vanligvis svært følsomme for retningsbestemt lys også ved lav lysstyrke, slik at isolerte lyskilder kan ha en betydelig forstyrrende effekt på navigasjon. Diffuse lyskilder, som atmosfærisk lysskjær, kan maskere naturlige lyssignaler som blir brukt for navigasjon, inkludert månens posisjon og polarisert atmosfærisk lys.	Periodisk (intermitterende) lys kan ha mindre betydning - lys gjennom viktige perioder for bevegelser (som i løpet av trekkperioder) kan være av stor betydning.	Lys med høy UV (som kvikksølvamp lamper) er vist å være forstyrrende hos/for mange insekter, og tilsvarende med rødt lys for noen fuglearter.

Overflata på en tørr eller våt asfaltert vei vil reflektere lineært polarisert lys, der graden av polarisering er avhengig av hvor mørk asfalten er og hvilken overflatestruktur den har. Asfalten reflekterer sollys i horisontalplanet, på samme måte som en speilende vannoverflate, og asfalt kan derfor tiltrekke seg akvatiske insekter. I boken "*Asphalt Surfaces as Ecological Traps for Water-Seeking Polarotactic Insects: How can the Polarized Light Pollution of Asphalt Surfaces be Reduced?*" skal forfatterne ha flere forslag til avbøtende tiltak (Malik et al. 2010).^{*)}

^{*)} Denne boka er ikke gjennomgått - må bestilles

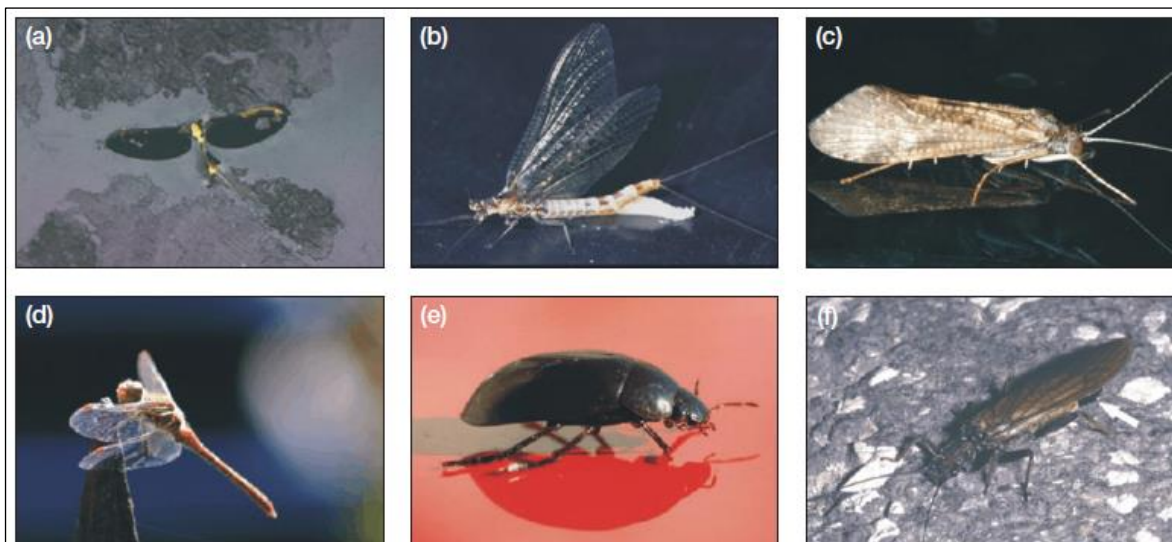


Figure 4. Polarotactic, water-loving insects attracted to different PLP sources. (a) Mayfly trapped in a waste oil lake in Budapest, Hungary; (b) mayfly laying eggs on a horizontal black plastic sheet; (c) caddisfly on a vertical glass pane (the picture is rotated by 90°); (d) male dragonfly perching above a polished horizontal black tombstone; (e) water beetle on a red car roof; (f) ovipositing stonefly (white arrow: eggs) on a dry asphalt road.

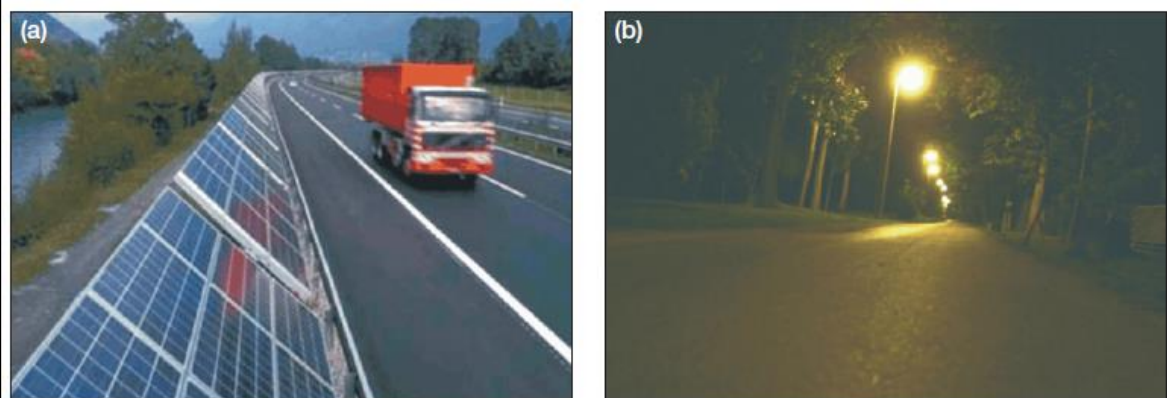


Figure 6. PLP sources to be studied. (a) The PLP induced by the shiny, black surface of photovoltaic solar panels at the edge of an asphalt road running alongside a river bank is synergetically strengthened by the PLP caused by the asphalt surface. (b) The PLP of asphalt roads illuminated by streetlamps at night is synergetically supported by the photopollution of the lamps. Night-flying polarotactic insects may be lured by phototaxis to the streetlamps, and are then attracted to the horizontally polarizing asphalt.

Figur 4.3. Eksempler på økologiske feller av polarisert lys (fra Horváth et al. 2009). Solcellepanel kan også oppfattes som vann av både insekter og fugler.

4.7 Økosystemtjenester

Lyytimäki (2013) påpeker at der forskning på økosystemtjenester har påvist flere viktige drivere bak miljømessig degradering, har den det han kaller en blind flekk i forhold til hvordan lysforurensning fra kunstig nattbelysning er en global miljøendring som påvirker terrestre, kystnære og marine økosystemer. Langtidseffekter av forstyrrelser på naturlige syklere med lys og mørke på økosystemenes funksjon og økosystemtjenester er for en stor del ukjente. Selv om en eks-

tra forskningsinnsats er ønskelig, må det ikke bli en sovepute for allerede nå å identifisere, utvikle og implementere strenge forvaltningstiltak som mål å redusere lys som er dårlig installert, unødvendig eller overdrevent kraftige. Forvaltningen i dag synes hemmet, fordi økosystemtjenester fra aktiviteter som foregår nattetid i liten grad blir verdsatt av befolkningen fordi folk i stor grad er vant til områder som har konstant belysning og omgivelser som er lysforurenset nattetid. Det må en økt innsats til fra forskere, forvaltere og offentlige instanser for å finne de beste mulighetene for å ta vare på fordelene med et naturlig mørke.

Grøntområder i byer og tettsteder er viktige for økosystemtjenester som håndtering av overvann, støyreduksjon og bedring av luftkvalitet (Bolund & Hunhammar 1999, se også Hageberg 2014). De er også viktige for rekreasjon og har derfor en positiv effekt på folkehelsen (Tzoulas et al. 2007). Artsrikheten i urbane grønntområder kan knyttes til økt psykisk velvære (Fuller et al. 2007b). I Europa ble grønntområder tatt inn som et viktig element i byplanleggingen på slutten av 1800-tallet, med bakgrunn i et ønske om å forbedre helsetilstanden i befolkningen, og spesielt redusere epidemier (Thorén 2010). Inngrep i slike områder kan derfor påvirke både det biologiske mangfoldet og vår egen helse, uten at vi i dag har god innsikt i hvordan effekter av kunstig belysning kan (gjensidig) påvirkes av andre inngrep i de samme områdene.

Utfordringer ved forvaltningen av økosystemer nattetid

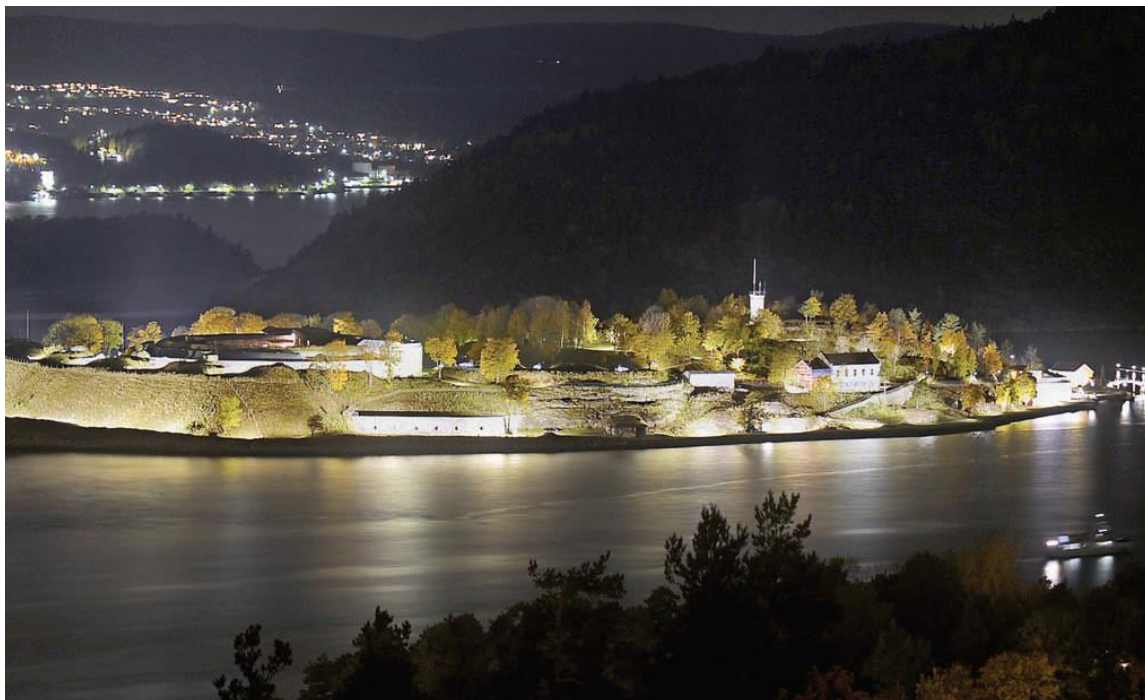
Nattemørkets betydning for mange økosystemer og den vide bruken av kunstig nattbelysning, indikerer at lysforurensning må betraktes som en av dagens viktige globale miljøendringer (Lyytimäki 2013). Bedre informasjon er nødvendig, men beklageligvis er mye av dagens kunnskap relatert til effekter på individnivå. Det er ønskelig at *scotobiology*, vitenskapen om biologiske systemer som er avhengig av mørke for å fungere normalt (Bidwell & Goering 2004), skal utvikle seg mer i retning av *scotoecology* for å sette søkelyset på langtidseffekter på populasjonsnivå av lysforurensning og deres relevans for økosystemtjenester.

Nattemørket bør betraktes som en økonomisk ressurs og en ressurs til det beste for levedyktigheten for både økosystemer og menneskelig velferd. Eksempler på at dette verdsettes har en allerede sett i form av ulike "reservater for mørk nattehimmel" som skal tjene både som verneområder og turistmål (se Lyytimäki et al. 2013).

Å gjenskape det fullstendige nattemørket i urbane områder, er både en uopnåelig og dels også uønsket målsetting. I stedet bør urbane økosystemer bli anerkjent og forvaltet som en ny type økosystem som karakteriseres av i alle fall en viss effekt av kunstig belysning. Men, urbane områder må ikke nødvendigvis domineres av et konstant skarpt lys (Falchi et al. 2011, Mizon 2012). De verste virkningene av lysforurensning for menneskets helse og økosystemtjenester kan i stor grad bli dempet gjennom god bruk av lysteknologi og begrensninger i lysets intensitet, fargesammensetning og tidsmessige bruk (Lyytimäki 2013).

Betydningen lyset har for økosystemtjenester kan vises med f.eks. frøspredning av fruktspisende flaggermus. Hvis de skyr lys, kan man risikere at store hogstflater m.m. ikke blir tilsådd på nytt. Selv svært lav lysintensitet er nok til å begrense næringssøket hos disse artene. For å unngå de negative effektene, må kunstig lys i slike områder derfor begrenses til (i) der det er behov for det, (ii) når det trengs og (iii) et lysnivå der en oppnår formålet med det og ikke noe ut over det (Lewanzik & Voigt 2014).

I 2009 fikk Oscarsborg ny belysning (figur 4.4). Dette er av MD m.fl. (2012) fremhevet som et vellykket eksempel på lyssetting, som får frem helheten i festningsanlegget. Nå er hele anlegget belyst fra metallhalogendamplamper av forskjellige størrelser og typer, samt noen få LED-armaturer der behovet for lys var beskjedent. Hva slags plante- og dyreliv som kan trives i et slikt lysregime, synes ikke å være vurdert i planprosessen. Vil øya etter hvert utvikle økosystemer der mange av organismene er lite følsomme for kunstig nattbelysning?



Figur 4.4 Oscarsborg ny belysning. Flott å se for folk, men hva med det biologiske mangfoldet? (Illustrasjon fra Samferdselsdepartementet m.fl. 2012, foto: Christian Clausen).

4.8 Nytt fagfelt

Det er en økende internasjonal oppmerksomhet om hvordan støy og lysforurensning kan påvirke og skade både vår egne helse og naturmiljøet (Huseynov 2010). Bekjempelse av lysforurensning blir sett på som en betydelig miljømessig og helsemessig utfordring. Huseynov (2010) etterlyser en større felles satsing og oppmerksomhet blant alle medlemsstatene i EU for en felles tilnærming til problemene, og for å øke bevisstheten om dette i samfunnet. Det foreslås blant annet at alle medlemslandene skal gjøre de nødvendige skritt for å innføre terskelverdier for støy og lys, og en passende straffereaksjon for de som overskrider disse nivåene.

Vi kan saktens spørre hvor går veien videre, både internasjonalt og nasjonalt. Med økende oppmerksomhet kan det innhentes mye ny kunnskap, men det kan også kanskje bidra til å sette en tidligere funn i et noe annet lys:

Har vi oversett effekten av lys i tidligere undersøkelser?

Gjennom denne litteraturgjennomgangen, som på langt nær dekker all litteratur som kan være relevant for temaet lysforurensning, direkte eller indirekte, er det vist en rekke ulike måter for hvordan kunstig belysning kan ha (fortrinnsvis) negative effekter for organismer og samfunn. Med dagens utvikling i studier med fokus på slike effekter, kan vi forvente at vi gradvis blir oppmerksomme på stadig flere måter lyser kan ha slik innvirkning. Det kan derfor være grunn til å spørre om ikke resultater fra andre studier kan ha vært påvirket av lys, uten at vi har vært oppmerksomme på det.

Marine dykkender

Det er f.eks. kjent at ærfugl og andre marine dykkender kan samles i havneområder vinterstid, og dette synes særlig å være tilfelle i nordlige deler av landet. Dette kan være både for å finne næring i form av fiskeavfall og for å finne ly mot uvær. Men kan lyset fra havneområdet i seg selv være en faktor ved at det gjør det mulig for fuglene å dykke etter næring (naturlig så vel som fiskeavfall) utover den korte perioden med dagslys midtvinters?

Sandlo under trekket

I en rapport som summerer observasjoner av fugler på Ørlandet ble det pekt på usedvanlig store antall av sandlo var observert i Brekstadfjæra, med opp mot 1000 individer på det meste (13. august 2005, se Follestad et al. 2013). Det ble antydnet at dette kunne være pga av sterk vestavind, noe som gjorde at Brekstadfjæra ville ligge i le for uværet. Men ettersom sandlo er en art som bruker synet for å finne mat, kan de store antallene av sandlo delvis skyldes at fjærområdet var opplyst på en slik måte at fuglene kunne søke etter mat også nattestid?

Kortnebbgjess under trekket

Kortnebbgåsas vårtrekk fra Danmark på vei mot hekkeplassene på Svalbard, er relativt godt studert gjennom bl.a. halsmerking, registreringer på rasteplassene innerst i Trondheimsfjorden og i Vesterålen (f.eks. Tombre et al. 2010) og gjennom registreringer på nettportalen "Artsobservasjoner" (Artsdatabanken). Men det synes ikke å ha vært særlig fokus på når på døgnet dette trekket foregår. Basert på egne observasjoner trakk kortnebbgåsa på 1980-tallet forbi Trondheim midt på dagen, etter en sannsynlig start fra Danmark tidlig om morgenen. De siste årene synes det å ha skjedd en betydelig omlegging av trekketidspunktet, ettersom det nå er blitt vanlig å høre kortnebbgåsa trekke i betydelig antall (basert på lyd) i timene rundt midnatt. Det samme synes nå å kunne være tilfelle for høsttrekket. En slik omlegging kan ha vært mulig hvis gjessene nå orienterer seg etter lyspunkter i landskapet. At mange gjess trekker over Trondheim kan kanskje forklares med at lysskjæret over byen på klare netter vil være godt synlig på lang avstand. En konsekvens av en slik omlegging av trekket, kan være at mange flokker ikke blir observert under trekket, og at det dermed blir færre observasjoner av trekkende flokker. Det er ikke godt å si hvilke fordeler gjessene kan ha av å trekke om natta, annet enn at de da kan benytte dagslyset i større grad til å søke næring.

Dette er bare noen eksempler der fuglene kan ha dratt fordeler av kunstig belysning, eller tilpasset seg den på andre måter, men det kan kanskje gi grunn ettertanke også i andre sammenhenger, og for andre organismer. Hva med hjortevilt som kan beite like ved lysløyper vinterstid, eller trekker inn mot bebyggelse og kan beite i hager, hvor de noen ganger kan gjøre skade på blomster og frukttrær?

4.9 Samlede effekter

Dyr og planter blir i dag påvirket av mange stressfaktorer i naturen, både naturlige og menneskeskapte. Hvilke effekter kunstig nattbelysning kan ha for enkelte arter, vil avhenge mye av hvilke andre faktorer de er utsatt for:

- Menneskelige forstyrrelser generelt, også som følge av fritidsaktiviteter (f.eks. Follestad 2012, Lorentsen & Follestad 2014).
- Andre effekter fra trafikk (se «Road ecology: Science and Solutions», Formann et al. 2002^{*)}, bl.a.
 - Støy fra vegtrafikk. Her kan også nevnes en rapport for Statens vegvesen angående effekter av støy ved en ny vei rundt Presterødskilen (Røv et al. 2004). Evt. støyskjærmer må vurderes ut fra både støydemping og redusert lysforurensning til omgivelsene.
 - Forurensning/miljøgifter - bl.a. fra vegsalting (vegetasjonen langs veikanter), forurenset snø fra brøyting (hvor dumpes snø fra bygater?)
 - Påkjørsler/kollisjoner - frosk, salamander som må krysser veier - vil det bli bygget tunneler under veier for slike arter? Luft under skjermen slik at små dyr kan passere og utsettes for kollisjonsrisiko, eller sperre helt?
- Kraftlinjer - hvis slike bygges langs veien - kollisjoner for fugler som skal krysse veien - døde fugler (og insekter m.m. fra lamper) kan lokke predatorer (som rødvov og fugler) til veikanten og medføre ekstra predasjon for de organismene som lever der.

- Barriereeffekter av veien (se figur 4.5) - kan hindre dyr i å krysse veien. Dette kan bli aktuelt ved skjerming mot uønsket lys i form av vegger eller leplantinger. Leplantinger vil i seg selv kunne påvirke annen vegetasjon og dyrelivet i nærheten.
- Turløyper med belysning. De kan potensielt gi noen dyr bedre muligheter for å beite på planter nær løypa ved at de lettere ser plantene, men dette kan også gjøre dem mer eksponerte for forstyrrelser av folk og for predatorer.
- Predatorer - bakkelevende - kan få lettere tilgang til deler av våtmarksområdet og finne skjul i veifyllinger (avhengig av utforming av veikant - steinmur eller heldekkende).
- Predatorer - fugler (rovfugler, måker, kråkefugler), kan få gode utkiksposter hvor de kan speide etter byttedyr (figur 4.6) - øke predasjonen på mange arter i nærheten av veien?
- Skjøtsel - i urbane områder og langs veier foregår det vanligvis flere former for skjøtsel, som slått langs veikanter og på plener i hager og parker, tynning av skog m.m., som vil påvirke livsmiljøet for mange arter, også for mulighetene de har til å finne skjul mot lysforurensningen i vegetasjonen.
- Ozon - kan påvirke fotosyntesen hos planter (se Ashmore et al. 2005, Vollsnes et al. 2009).



Figur 4.5. Belyste veier kan fungere som en barriere for mange arter, både på grunn av lyset og trafikkmengden. Det vil ikke være lett å krysse en slik lyskorridor for mange nattaktive dyr og fugler. Foto: Wikipedia.



Figur 4.6. Jaktfalk på toppen av ei radiomast på Ørlandet en råkald januardag 2003. Nyttig utkikkspost for rovfugler og andre predatorer, eller bare en god varmekilde for kalde tær? (Foto: Jan Ove Gjershaug).

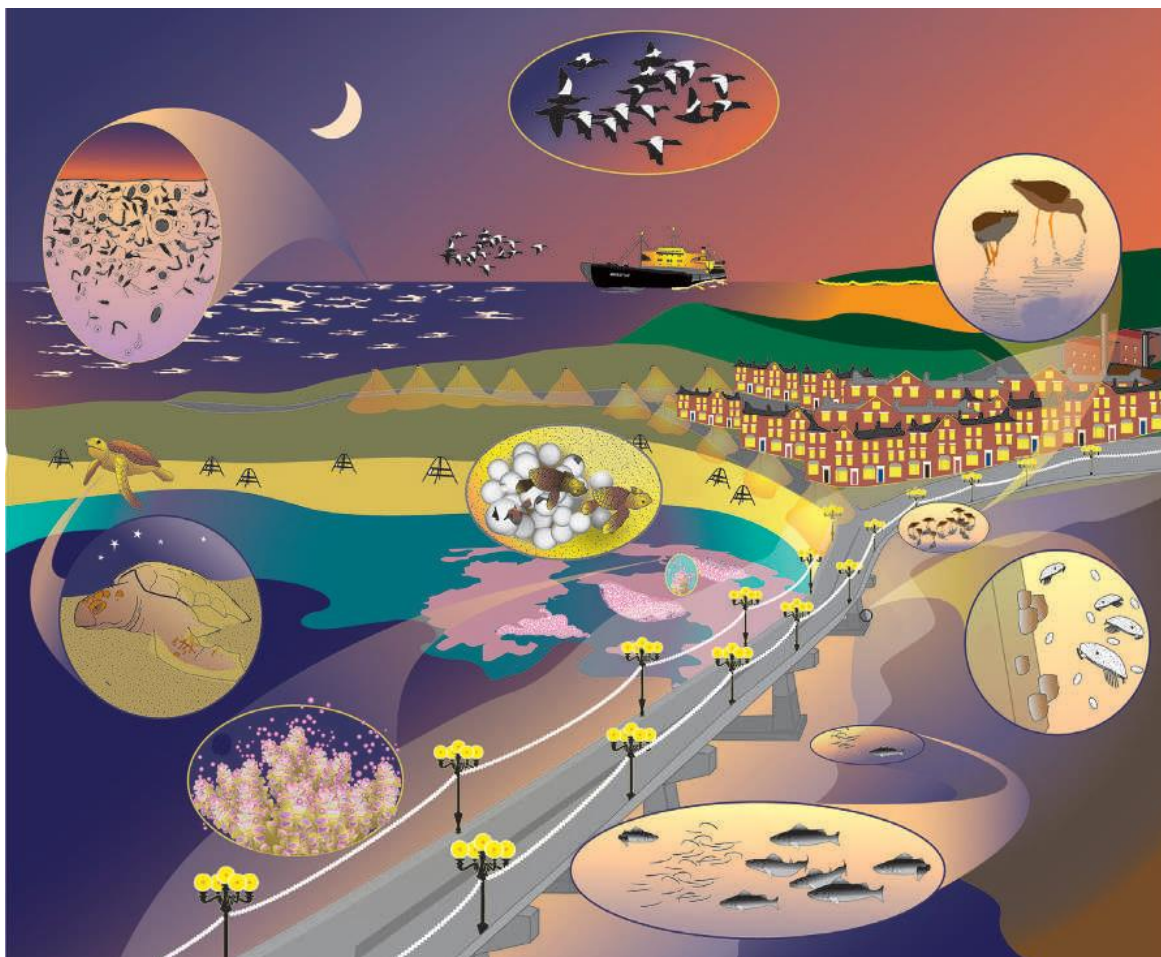
4.10 Økonomiske kostnader ved lysforurensning

I et første forsøk på en analyse av de økonomiske faktorene ved global lysforurensning, har Gallaway et al. (2010) beregnet kostnader ved negative effekter på dyreliv, helse, astronomi og tapt energi. For USA alene ble dette beregnet til 7 milliarder dollar årlig. Dagens modeller av lysforurensning er i stor grad populasjonsbaserte, mens dette arbeidet benytter unike data fra fjernmålinger og økonomiske data fra Verdensbanken. En viktig del av dette arbeidet er hvordan de har målt og kvantifisert lysforurensning.

Denne artikkelen er ikke presentert videre her, men den kan gi nyttige argumenter for at endret bruk av lys generelt sett kan være både energibesparende og mindre skadelig for vår egen helse så vel som for naturen rundt oss.

5 Effekter av kunstig lys på ulike artsgrupper

Kunstig lys innvirker på en rekke organismer av både dyr og planter. For mange arter er det lite kunnskap om disse effektene, og en svakhet i mange publikasjoner er at mange forfattere bare har sett isolert på effektene for en eller noen få arter. Først i de senere årene har det begynt å komme arbeider som har sett på effekter for interaksjoner mellom ulike arter, artsgrupper eller organismer (inkluderer dyr og planter). Noen kjente eller potensielle effekter er illustrert i **figur 5.1**.



Figur 5.1. Kjente og potensielle effekter av kunstig nattbelysning på marine økosystemer. (a) Undertrykkelse av zooplanktonets vertikale vandring på grunn av kunstig lysskjær (skyglow). (b) Fuglekollisjoner mot opplyste skip om natten. (c) En forlengelse av beiteperioden for vadere som bruket synet til å lete etter mat. (d) Forstyrrelser i valg av oppvekststed for fastsittende larver av invertebrater. (e) Aggregering av fisker under lys fra moloer og havneområder kan føre til økt predasjon. (f) Desynkronisering av gytetidspunktet ut fra månefasen (koraller som gytter gameter). (g) Eggleggende havskilpadder kan slutte å bruke kunstig belyste strender. (h) Desorientering av nyklekte unger av havskilpadder fra gatelys. Kilde: Davies et al. 2014.

For mange arter vil effekter av kunstig nattbelysning være negative, men for noen kan de også være positive (lettere å oppdage byttedyr, forlenget periode med næringsøk etc.). Det vil bli gitt en rekke eksempler på slike effekter i dette kapitlet. I stor grad vil effektene kunne grupperes innenfor følgende kategorier:

- økt kollisjonsfare
- effekter på døgn- og årsrytme (biologiske klokker)

- økt predasjonsfare
- endrede muligheter for næringssøk
- fysiologiske mekanismer (f.eks. via hormoner, særlig melatonin)
- flokkdannelse m.m.

Det er mye ny kunnskap som er publisert etter boka til Longcore & Rich (2006), og det har ikke vært mulig å gå gjennom alt og sammenstille det til denne rapporten. Ved å se på bredden av effekter lysforurensing kan ha innenfor hele det biologiske mangfoldet av dyre- og plantearter, vil en kunne danne seg en første oversikt over hvilke effekter en potensielt kan forvente som følge av kunstig nattbelysning.

5.1 Terrestre pattedyr

Alle 986 arter av flaggermus, grevlinger og de fleste mindre rovdyr, de fleste gnagere, 20 % av primatene og 80 % av pungdyrene er nattaktive, og mange flere er aktive både dag og natt (Walls 1942). Det er derfor ikke overraskende at kunstig nattbelysning har en betydelig effekt på pattedyr. Sammenliknet med mange andre artsgrupper, er det imidlertid få studier som dokumenterer effekter på villlevende pattedyr. En ikke ubetydelig del av forskningen har sett på pattedyrøyets biologi, og hvordan månelys kan påvirke deres atferd og hvordan lys kan påvirke deres biologiske klokker eller sykluser, enten disse er daglige, månedlige eller årlige.

Aktivitetsperioder

Pattedyr har ulike aktivitetsperioder, med korresponderende tilpasninger i øyets biologi (Walls 1942). Aktivitetsmønstrene kan klassifiseres i fem grupper (se Halle & Stenseth 2000), hvorav de nattaktive naturlig nok er de mest utsatte for kunstig nattbelysning. Men også de som er mest aktive i skumringstimene om morgenen og om kvelden, er utsatt. Mange pattedyr kan imidlertid være aktive gjennom alle døgnet 24 timer, deriblant store hovdyr (inkl. hjortevilt), store rovdyr og noen mindre rovdyr. Disse har et utmerket nattesyn og er vanligvis mest aktive om natten, men har i tillegg regelmessige aktivitetsperioder om dagen.

Aktivitetsendringer i månelys

Mange pattedyr reagerer på en økning i månelys ved å redusere deres bruk av åpne områder, begrense aktiviteter og forflytninger ved næringssøk, redusere varigheten av aktiviteter, eller ved å legge næringssøk og forflytninger til de mørkeste delene av døgnet (se referanser i Rich & Longcore 2006, s. 22). Mange forfattere forklarer slike endringer med økt predasjonsfare i klart måneskinn. Økt hyling av coyoter ved måneskinn settes således i sammenheng med at det er mindre lønnsomt å jakte gnagere under slike forhold. Dette gjenspeiles i laboratorieforsøk, der ugler var bedre i stand til å fange mus med mer lys. På klare netter oppholder mange byttedyr seg på sikre steder. På mørke netter kan ugleens effektivitet pr. byttedyr bli lavere, men fordi så mange flere byttedyr er aktive, vil ugleens samlede fangst ikke endre seg (Daly et al. 1999). Noen dyr som ved hjelp av synet både kan oppdage byttedyr og også unngå predasjon i månelys, endrer imidlertid ikke sine aktivitetsmønstre eller oppholdssteder i månelys. Eksempler på dette er ozeloter (Emmons et al. 1989) og hvithalehjort (Beier & McCullough 1990).

Sannsynlige effekter av kunstig nattbelysning på pattedyr

Effekter av kunstig lys på pattedyr kan deles inn i (etter Beier 2006):

- Endringer i mønster for næringssøk
- Økt predasjonsfare
- Forstyrrelser av biologiske klokker
- Økt dødelighet langs veier
- Påvirkning av spredningsmønstre gjennom kunstig opplyste områder

Flere studier har vist at mange pattedyr endrer sin atferd ved fullmåne på klare netter. Kunstig nattbelysning med samme lysstyrke som måneskinn kan derfor redusere aktiviteten til mange pattedyr, særlig hos arter som søker beskyttelse eller gjemmesteder når lyset blir sterkere, for å redusere predasjonsfaren (se referanser hos Rich & Longcore 2006 s. 26). Gnagere responderte her på lys tilsvarende halvmåne (0,1 lux) så vel som fullmåne (0,3 lux). Ettersom gatelys i USA er designet for å lyse opp veibanen med minst 3 lux (varierende mellom 4 og 17 lux), kan all veibelysning forventes å få slike effekter langs veikantene.

Dyr kan under naturlige forhold skifte aktivitetsperiode til den mørkeste delen av døgnet, men dyr som opplever konstant veibelysning, har ikke denne muligheten. Hvis nattaktive dyr ikke forlater det opplyste området, har de bare to valg: enten å akseptere en høyere risiko for å bli tatt av en predator, eller risikere å gå ned i vekt. Dette er vist for noen dyr, bl.a. for en gnager som i simulert fullmånelys bar 40 % av maten til et trygt sted, mot bare 4 % i mørke netter. I lyse netter spiste dyrene mindre og gikk ned i vekt, mens de spiste mer og økte i vekt i mørke netter (Vasquez 1994). Tilsvarende effekter er også påvist i andre forsøk, bl.a. med en enkelt gasslampe med lysstyrke tilsvarende 160 % av fullmåne (Kotler 1984). Ellers er det utført svært få studier under naturlige forhold for pattedyr (Rich & Longcore 2006).

For å gjøre det mulig for fysiske planleggere å estimere betydningen av slike effekter av kunstig nattbelysning, må det utføres mer forskning på den funksjonelle på sammenhengen mellom næringsøk og belysning, og undersøke om det er en terskelverdi for lysstyrken, der det ikke er noen effekter under denne verdien. I dette ligger også at en bør undersøke mer om betydningen av høyden på lyskilden (se Rich & Longcore 2006).

De fleste ekornartene er nesten blinde nattetid ettersom de har mange tapper på netthinnen, så de skjuler seg i reir oppe i trærne eller under bakken. Kunstig nattbelysning kan i noen tilfeller øke predasjonsfaren for disse ved at predatorer lettere kan oppdage dem ved hjelp av synet.

Hos nattaktive lemurer er det vist at lysforurensning kan overstyre den naturlige reproduksjonssyklusen ved å gjøre dem seksuelt aktive utenfor sesongen. Dette ble funnet hos ei forsøksgruppe som ble utsatt for gult LED lys for å etterlikne gatebelysning. Etter bare to uker hadde disse lemurene betydelig større testikler og høyere testosteronnivåer enn hos kontrollgruppen. Denne effekten ble tilskrevet melatonin, som regulerer reproduksjonen hos pattedyr, ved at produksjonen ble redusert vinterstid som følge av lyspåvirkningen (Le Tallec et al. 2013). Forfatterne antok at effektene av lysforurensning kan dempes ved bl.a. å retningsstyre lyset.

Effekt av gatebelysning på dødelighet hos pattedyr

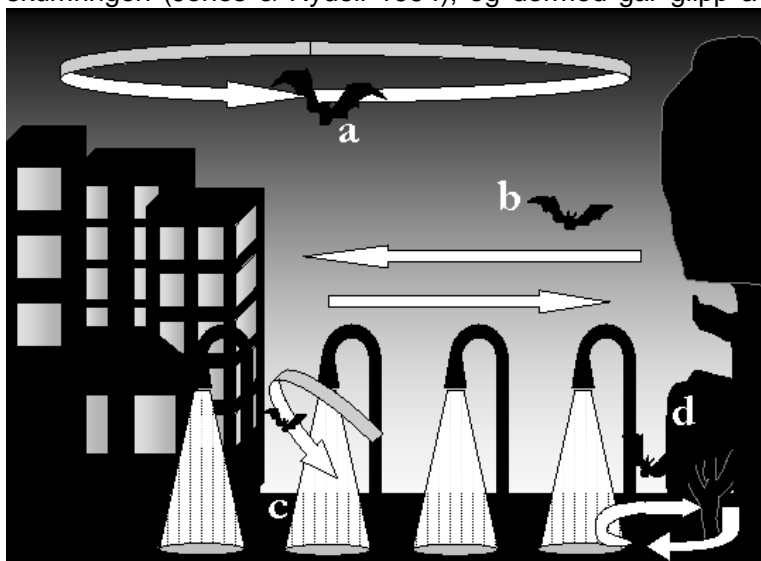
Lysstyrke og type gatelys kan påvirke sannsynligheten for at pattedyr vil kolliderer med kjøretøy. En kunne forvente at økt gatebelysning vil gjøre det lettere for sjåførere å oppdage dyrene på lang nok avstand til å kunne unngå en kollisjon, men det foreligger ingen forskningsresultater som støtter denne teorien (Reed 1995, Reed & Woodward 1981).

Flaggermus og insekter ved gatelys

Det er kjent at flaggermus ofte trekkes mot lyskilder for å fange insekter som tiltrekkes av lyset (se kap. 5.5) (f.eks. svenske studier, Rydell 1991, 1992, 2006, Boldoghet al. 2007, Stone et al. 2009). Forskjellige atferdsmønstre hos ulike flaggermusarter i Mexico (**figur 5.2**) viser at artene kan dele luftrommet mellom seg (Rich & Longcore 2006). Dette kan medføre at artene blir ulikt eksponert for gatelys. Det er ikke funnet publikasjoner som kan vise hvor norske arter plasserer seg i dette bildet, hvis det da finnes slike forskjeller hos oss. Dette bør undersøkes nærmere.

Andre effekter på flaggermus

Kunstig nattelysning kan påvirke atferden til flaggermus nær deres dagoppholdssteder og deres næringsøk. Lys rundt hvileplassene på dagtid kan forsinke utflukten (Downs et al. 2003). Dette medfører at de kommer for sent ut til å dra nytte av den høyeste tettheten av insekter i skumringen (Jones & Rydell 1994), og dermed går glipp av de beste periodene for matsøk.



Figur 5.2. Karakteristisk flaggermusatferd ved og rundt gatelys i Mexico for (a) store og raskt-flygende flaggermus, (b) mellomstore og raskt-flygende flaggermus, (c) små raskt-flygende flaggermus, og (d) bredvingende, sakteflygende, men svært manøvringsdyktige flaggermus (fra Rich & Longcore 2006).

5.2 Fugler

Fugler er på mange måter en av de best studerte artsgruppene, og dette synes å gjelde også i forhold til effekter av lys. Ettersom Åkersvika er fredet som naturreservat først og fremst for sin betydning for mange fugler, beskrives her forholdvis mange studier som kan være relevante for arter som forekommer i Åkersvika, og i landet for øvrig.

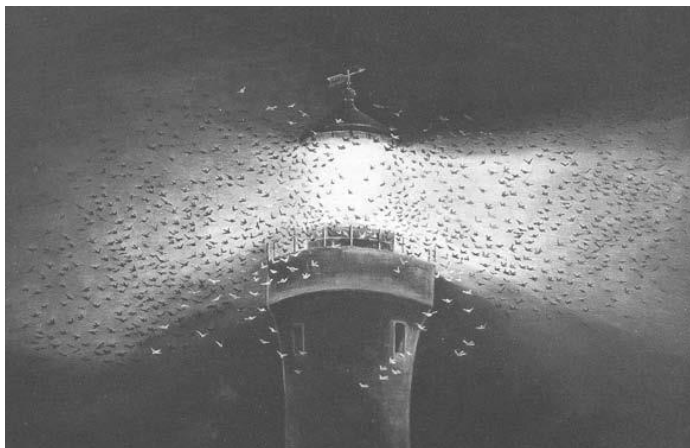
To av de mest kjente effektene av kunstig nattelysning hos fugler er en tidligere start for aktiviteter om morgenen (Rowan 1938, Miller 2006, Kempenares et al. 2010) og en tidligere start på hekkesesongen (Rowan 1938, Kempenares et al. 2010, Dominoni et al. 2013a). Dette er ikke overraskende, gitt lysets betydning som informasjonskilde for regulering av både daglige og sesongvise prosesser hos fugler (Brandstätter 2003, Dawson et al. 2001). Det er antydning at lys om natten kan endre oppfattelsen av daglengden (Dominoni et al. 2013a, Longcore & Rich 2004, Titulaer et al. 2012).

Effekter av kunstig belysning

Kollisjoner, katastrofepregede hendelser

Mye oppmerksomhet har vært rettet mot katastrofepregede hendelser, som i noen tilfeller har medført episoder med ekstraordinær høy dødelighet hos f.eks. skilpadder og fugler. Lysforurensing er årsak til flere episoder med massedød av fugler som følge av kollisjoner med ulike menneskeskapt strukturer, som fyrlykter (**figur 5.3**) og belyste bygninger og kommunikasjonsårn, (se f.eks. Gauthreaux & Belser 2006, Gehring et al. 2009, Longcore et al. 2012, 2013, Loss et al. 2012). I nyere tid har også oljeplattformer, bl.a. i Nordsjøen, vært et problem for trekkende fugler som skal krysse Nordsjøen, noe som har fått oljeselskaper til å finne tekniske løsninger som kan redusere dette problemet.

For problemstillinger knyttet til annen kunstig belysning, som gatebelysning, er ikke denne typen enkeltepisoder med stor dødelighet som følge av kollisjoner særlig relevante, og er derfor bare kort omtalt i denne rapporten.



Figur 5.3. Fyrlykter har helt siden de første ble bygget, tiltrukket seg natt-trekkende fugler. Mange har kollidert med fyrlyktene og omkommet. Illustrasjon fra Rich & Longcore 2006.

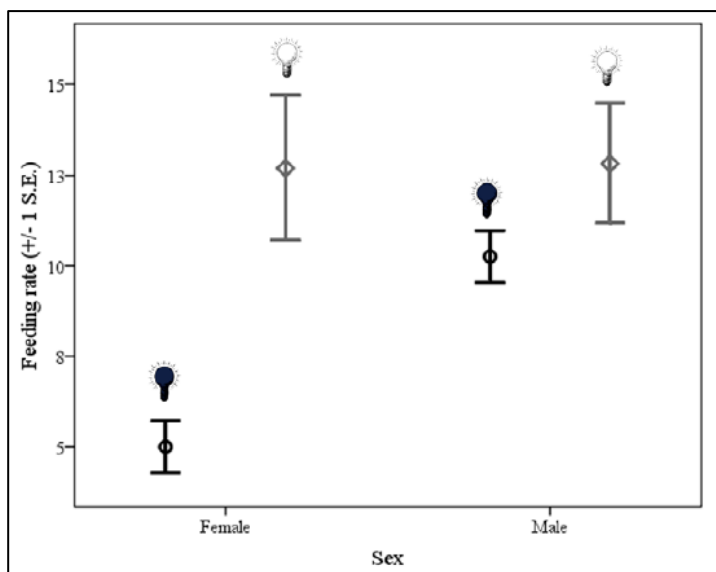
Natt-trekkende fugler

Til tross for en betydelig fremgang i studier av hvordan natttrekkende fugler reagerer på menneskeskapt nattbelysning, særlig i Nord-Amerika (f.eks. Jones & Francis 2003, Gauthreaux & Belser 2006, Evans et al. 2007), er det fortsatt mange aspekter ved dette som er lite undersøkt (se Bolshakov et al. 2013). Dette gjelder særlig for (1) hvilke ytre faktorer som forårsaker atferdsendringer hos natttrekkende fugler i områder med kunstig belysning, (2) hvilke atferdsendringer oppstår og i hvilke høyder skjer dette, (3) hvis kunstig lys tiltrekker seg fugler fra nærområdet, hvilken skala skjer dette i og er det væravhengig, (4) i hvilken grad responsene varierer med lysets bølgelengde og artsgruppe, og (5) i hvilken grad responsene varierer med ulike faser i trekket (f.eks. i startfasen, rundt midnatt eller ved landing). Svar på slike spørsmål er viktige for å forstå grunnleggende sider ved fuglenes atferd og orientering når de trekker om natta, og for bevaringsformål (se review i Gaston et al. 2012).

Fysiologiske effekter - endret melatoninivå

Svarttrost er vidt utbredt i Europa og hekker med vellykket resultat i byer (Evans et al. 2009), hvor de har en tidligere start på dagen (Nemeth & Brumm 2009) og tidligere hekkestart (Pardecke et al. 2005) enn artsfrender som hekker i skogen. I to grupper av svarttrost som opplevde nesten totalt nattemørke på 0,0001 lux og 0,3 lux, som tilsvarer forhold for urbane svarttroster, var daglige svingninger i melatoninivå klart forskjellig (Dominoni et al. 2013b). Om vinteren var melatoninkonsentrasjonene lavere tidlig og sent på natten hos fugler med svakt lys enn hos de som levde i nesten totalt mørke. Sommerstid var de lavere hele natten (Figur 1 i Dominoni et al. 2013b). Fuglenes aktivitetsmønster samsvarte i stor grad med melatoninivåene. Dette gjaldt særlig om morgenen, med tidligere aktivitetsstart for urbane fugler med kunstig nattbelysning. Dette indikerer at redusert melatoninproduksjon nattetid er den fysiologiske mekanismen bak den tidlige morgenaktiviteten hos urbane fugler, og at fugler responderte på kunstig nattbelysning som om de ble utsatt for lengre dager.

Det er også kjent at man ved å regulere melatoninivået kan utsette egglegging hos kjøttmeis (Greives et al. 2012). Andre studier av hekkende kjøttmeis har vist at par som fikk svakt lys utenfor fuglekassa ikke endret start, opphør eller varighet av «arbeidsdagen». Men da ungene var mellom 9 og 16 dager gamle, økte hunnene matingsfrekvensen (**figur 5.4**, etter Titulaer et al. 2012). Det svake lyset kan ha påvirket oppfattelsen av daglengden enten for foreldrene eller ungene, noe som igjen medførte økt foreldreomsorg. Dette kan ha negative konsekvenser for foreldrenes fitness, slik at lysforurensning kan skape en form for økologisk felle for hekkende fugler.



Figur 5.4. Matingsfrekvens (antall besøk til reiret pr. time) for hunner og hanner av kjøttmeis i andre halvdel av reirperioden for ungene (9-16 dager gamle). Svarte sirkler: reirkasser uten ekstra lys, grå trekkanter: kasser med et svakt lys utenfor (Kilde: Titulaer et al. 2012).

Resultatene til Dominoni et al. (2013b) er viktige for å kunne forstå kontrollmekanismene av sesongvise hendelser hos urbaniserte fugler, ettersom tidligere hekking er rapportert for mange arter i byene (Chamberlain et al. 2009, Helm et al. 2013).

Sangaktivitet for fugler i skog - blåmeis

Kempenaers et al. (2010) undersøkte effekten av kunstig nattbelysning på sangaktiviteten om morgenen for fem vanlige skogslevende arter. Hos fire av artene starter hanner nær gatelys å synge klart tidligere enn hanner andre steder i skogen, og denne effekten var sterkest hos arter som naturlig starter tidligst å synge. Hekkeatferden ble over en sjuårsperiode sammenliknet for blåmeis som hekket i kantsoner med og uten gatelys, med blåmeis som hekket i sentrale deler av skogen. Under innflytelse av gatelys startet hunnene eggleggingen i gjennomsnitt fem dager tidligere. Hanner som okkuperte kantterritorier med gatelys skaffet seg en ekstra make dobbelt så mange ganger, sammenliknet med andre. Kunstig lys påvirket her begge årsklasser, men hadde en sterkere effekt hos ettårige hanner. Disse funnene indikerer at kunstig nattbelysning kan ha en betydelig fenologisk effekt på hekkeatferd og på individuell pardannelse. Dette kan over tid ha betydelige evolusjonære konsekvenser.

Kunstig lys - kan være en trussel for sjøfugl

Tiltrekning til kunstig lys er en betydelig trussel for noen unger av lirer, petreller (Procellariidae), og stormsvale (Hydrobatidae) på deres første nattlige flukt mot sjøen. Desorientering kan medføre at ungene krasjer i vegetasjon eller menneskeskapt installasjoner, noe som potensielt kan medføre døden som følge av fysiske skader, utsulting, dehydrering, predasjon fra introduserte predatorer eller kollisjoner med kjøretøyer. For Newell's Shearwater (*Puffinus newelli*) i en koloni på Kauai (Hawaii), fant Troy et al. (2011) at det var svært få plasser på øya hvor unger ikke vil se lys når de forlater kolonien. Deres modellberegninger av lysintensitet om natten kan kanskje være relevant for en tilsvarende tilnærming for andre arter andre steder.

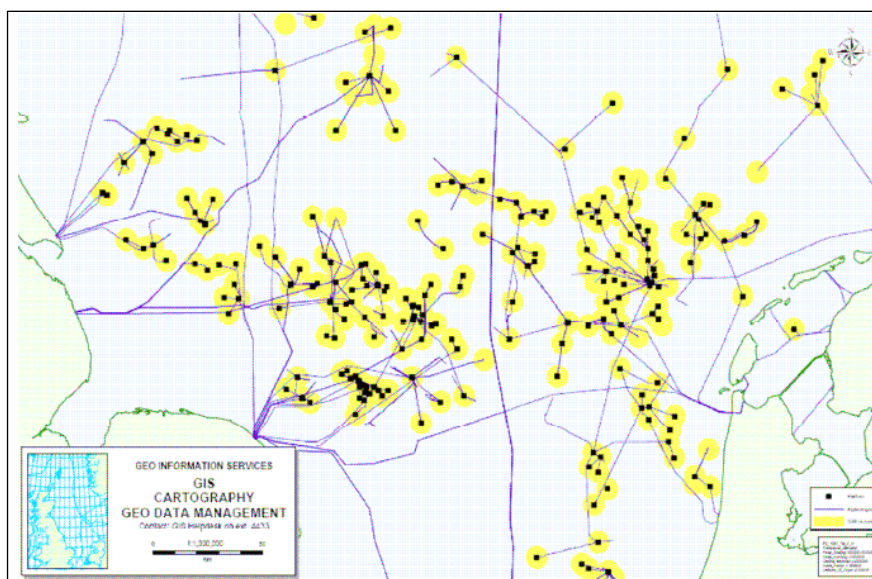
Trekkende fugler og oljeplattformer

Oljeplattformer kan ha en betydelig negativ effekt på trekkende fugler, først og fremst for mange spurvefugler, vadere og ender, som kan kretse rundt en plattform under høsttrekket. Mange av disse artene trekker om natta. Slik atferd blir (nesten) bare observert på netter med tåke og over 80 % skydekke (Van de Laar 2007).

Avbøtende - slå av lyset en kort periode

På en plattform i Nordsjøen (se Van de Laar 2007) ble antall kretsende fugler rundt plattformen påvirket simpelthen ved å slå av og på lysene på utsiden av plattformen. Etter at lysene ble slått på, kunne det i løpet av 20 minutter samle seg flere tusen fugler som kretset rundt plattformen. Etter at lyset ble slått av, forsvant alle fuglene i løpet av få minutter. Ingen andre påvirkninger på fuglenes atferd ble observert (Marquenie et al. 2004).

Effekten av lyset ble estimert å ha en effekt så langt ut som 3-5 km fra plattformen. Basert på tettheten av plattformer i (den sørlige delen av) Nordsjøen, antok Van de Laar (2007) at det vil være fysisk umulig for en fugl å krysse den uten å komme i nærkontakt med 2-10 plattformer (**Figur 5.5**). Basert på værforholdene under trekket, antas dette å kunne påvirke rundt 6 millioner fugler *) som krysser Nordsjøen.



Figur 5.5. Kart over den sørlige Nordsjøen med eksisterende produksjonsplattformer pr. 2007. Potensiell sone for påvirkning av trekende fugler på 5 km, er indikert med gult (fra Van de Laar 2007).

Öresundbroen

I løpet av høsten passerer ca. 10 millioner trekkfugler Öresundsbroen. På dager med tåke og begrenset sikt, kan mange fugler få problemer med navigeringen og søke seg inn mot lampene på broen og kollidere med broen. Høsten 2000 døde således ca. 1000 småfugler på bare ei natt (se Ekenberg 2002). Problemene med høy dødelighet synes å være størst på klare netter med gode netter for trekk, men som etterfølges av plutselig tåkedannelse tidlig om morgenen. Det er derfor besluttet å slå av lysene på broen under slike forhold (berører ikke varsellamper for båt- og flytrafikk).

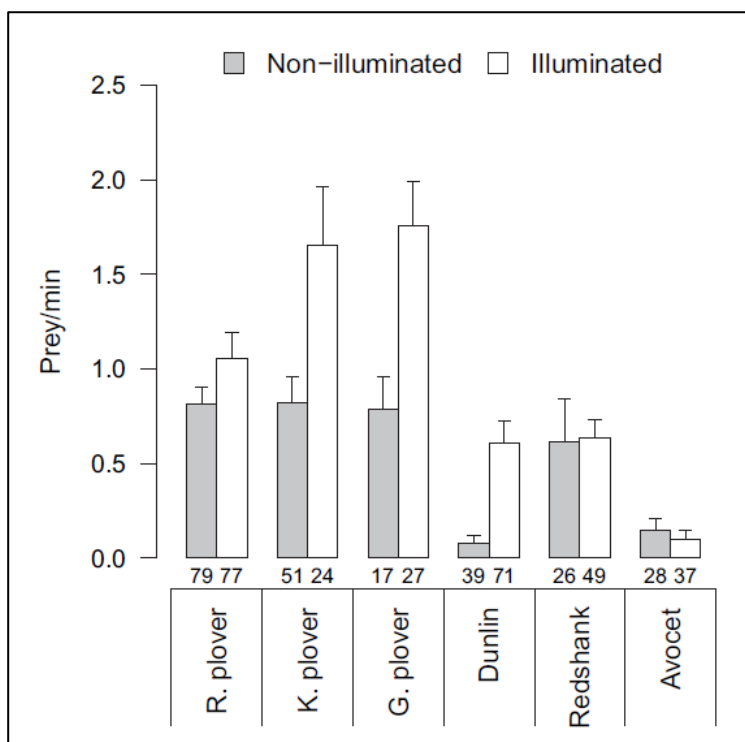
Vadere under trekket

Store områder med naturlige eller semi-naturlige habitater blir utsatt for kunstig belysning fra nærliggende bebyggelse og veier. Estuarier og våtmarksområder langs kysten er særlig utsatt for slik belysning fordi kystlinja ofte er sterkt utnyttet av mennesker. Effekten av slik belysning på vadefugler som raster i slike høyproduktive områder, har imidlertid vært så godt som ukjent. Det samme vil nok også gjelde for vadere som raster på innlandslokaliteter, som Åkersvika.

En studie av seks vaderarter med ulike furasjeringsmetoder (Santos et al. 2010), viste at arter som baserer fødesøket på synet, i større grad enn andre arter utnyttet områder som ble belyst av gatelys. De økte effektiviteten av sitt næringsøk i belyste områder sammenliknet med ubelyste områder, og arter som bruker både syn og et følsomt nebb til å oppdage næringsdyr un-

der overflata, skiftet til de mer effektive synsbaserte strategiene. Et slikt skifte økte inntaket av næringsdyr med 83 % både hos arter som bare brukte synet og de som brukte begge metoder. Studiet viste således at kunstig belysning kunne ha en positiv effekt for nattaktive vadere, men det kan også medføre at de kan trekkes til degraderte områder nær urbane tettsteder, og potensielt kunne dette også gjøre dem mer utsatte for predatorer. Forfatterne konkluderte med at kunstig belysning i en eller annen form kunne være et nyttig verktøy i forvaltningen av fjæreområder for vadere.

Det vil være interessant å vurdere om kunstig belysning fra den nye E6, enten det er snakk om konstant belysning fra gatelys eller kortvarig belysning fra billys, kan utformes til fordel for vadere i Åkersvika. Det kan ikke utelukkkes at slik belysning allerede i dag har en slik effekt i nær-områdene til veien, og at skjerming av gatelys eller andre avbøtende tiltak (også i forhold til andre faktorer, som støy) dermed kan innskrenke tidsrommet for næringssøk for noen arter. Men - slike effekter må veies opp mot effekter for andre organismer, og forsøk med kunstig belysning kan derfor være problematisk å gjennomføre. Men ut fra undersøkelsene til Santos et al. (2010), synes det klart at kunstig belysning kan medføre både en betydelig økning i vadersnes bruk av tidevannsområdene, og en betydelig endring i deres atferdsmønster ved næringssøk om natten



Figur 5.6. *Inntaksrater av bytte-dyr (gjennomsnitt ± SE) for seks vaderarter i sektorer av tidevannssonen med kunstig belysning sammenliknet med sektorer som var uten slik belysning. Artene i figuren er fra venstre sandlo, hvitbrysto, heilo, myrsnipe, rødstilk og avocet (Santos et al. 2010).*

Magnetisk orientering

Natttrekkende spurvefugler starter vanligvis å trekke under eller kort etter solnedgang (se review av Moore 1987). Men starttidspunktet varierer sannsynligvis mellom arter, breddegrad og tidspunktet på sesongen (Åkesson et al. 1996). Natttrekkende spurvefugler bruker minst to forskjellige kompass-systemer for orientering basert på magnetfeltet og himmellegemer (stjerner, sola og det tilhørende mønsteret av polarisert lys (for review se f.eks. Emlen 1975, Able 1980, Moore 1987, Wiltschko & Wiltschko 1995).

Tidligere studier indikerer at arter kan vektlegge de to kompass-systemene forskjellig, relatert til geografisk område og treksituasjon. Konflikten i orienteringsatferd kan være et resultat av

interaksjoner mellom den nedarvede trekkretningen som settes vesentlig basert på magnetfeltet (f.eks. Weindler et al. 1996) og kompass-systemet som brukes under trekket. Det siste kan være basert på visuelle signaler fra solnedgangen og senere bli overført til stjernene om natta (cf. Moore 1980, Alerstam & Pettersson 1991). Her synes kalibreringen mellom de to kompass-systemene å være særlig viktig i overgangsperioden mellom dag og natt, der de i løpet av relativt kort tid har tilgang til flere signaler for orientering (cf. Rozenberg 1966, Åkesson et al. 1996). Betydningen av slik kompasskalibrering er demonstrert for noen natttrekkende trekkfugler (Phillips & Moore 1992, Able & Able 1995, Wiltschko et al. 1997), men ytterligere forsøk på dette feltet er ønskelig.

Fordeler av kunstig nattbelysning

Enkelte undersøkelser indikerer at noen vanlige urbane arter er i stand til å utnytte lysforurensing til sin fordel. En undersøkelse viste at sangspottefugl (*Mimus polyglottos*) endret sin furasjeringsatferd i områder med kunstig nattbelysning, og at dette varierte i samsvar med lysnivået rundt redet. Fugler nær parkeringsplasser føret således ungene 15 minutter senere enn fugler andre steder (Stracey et al. 2014).

Nattaktive predatorer kan forbedre synsevnen med slik belysning (Jetz et al. 2003), eller de kan fange insekter som ofte i store mengder tiltrekkes av kunstig lys (Rydell 1991, Heiling 1999, Rich & Longcore 2006). Noen dagaktive arter, som spurvefugler og falker, er kjent for å utvide sine aktivitetsperioder inn i natten ved kunstig forbedrede lysforhold (e.g. Derrickson 1988, Negro et al. 2000). Følgene av slike atferdsendringer for økosystemene er i stor grad ukjente (Longcore & Rich 2004).



Studier av rødstilk i Skottland viste at de var i stand til å finne mer mat i områder som var påvirket av lysforurensing. Rødstilk spiser fortrinnsvis på mollusker, ormer og små krepsdyr, og beiter normalt på dagtid. Når de kan beite også på nattetid, var de i stand til å bygge opp flere kroppsreserver før vårtrekket. Tidligere var ikke forskerne klar over at disse fuglene kunne respondere på lysforurensing fra nærliggende byer på denne måten (<http://www.bbc.co.uk/newsround/20527081>). Dette er interessante resultater med tanke på Åkersvika.

Forsøk med avbøtende tiltak

Det er få forsøk med avbøtende tiltak knyttet til endringer av belysning i forhold til fugler. To forsøk knyttet til oljeplattformer synes umiddelbart relevante for gatelys på fastlandet, men erfaringene som er gjort, og som bli omtalt under, kan likevel gi nyttig informasjon om hvordan negative effekter av gatelys kan reduseres. Hvis disse resultatene er allmenngyldige, har de oppnådd en oppsiktsvekkende god effekt! Det er ikke kjent om Statoil eller andre selskaper som opererer på norsk sokkel, har gjennomført tilsvarende tiltak.

Endre belysningen på oljeplattformer

I et forsøk på å redusere negative effekter for fugler i forbindelse med lyssetting av oljeplattformer i Nordsjøen, ble det i oktober 2007 gjennomført registreringer av trekkende fugler forbi en plattform (Van de Laar 2007). Værforholdene var da svært fordelaktige for å kunne studere mulige effekter av endringer i belysningen på plattformen, med lett tåke og fullt skydekke.

Et stort antall lys som pekte direkte utover (ca. 10 kWt av total ca. 18 kWt) ble skiftet ut under forsøket med lys med en ny farge, lavt i det røde spekteret, sammenliknet med det originale hvite lyset (tube lights) og oransje (sodium high pressure lights). Om lag 6 kWt av de gjenstående peker (delvis) utover. De fluoriserende lysene på helikopterplattformen ble nesten helt

dekket til hele den andre natten av forsøket. Mye av lyset, selv om lyskildene nå pekte innover, skinte likevel gjennom ristene i gulvet og ned på sjøen under plattformen. Erfaringene viser at mange fugler som krysser Nordsjøen, flyr relativt lavt over sjøen, og derfor kan påvirkes av lyset som kommer gjennom dekket.

Med bakgrunn i data for fugletrekket og gjeldende værforhold, ble det estimert en reduksjon i antall fugler som sirklet rundt plattformen på mellom 50 og 90 % av det som kunne forventes. Også antall fugler som landet på plattformen, var markert lavere enn forventet.

Van de Laar (2007) anslår med bakgrunn i dette forsøket at ved å skifte lys på denne måten over hele Nordsjøen, kan antall fugler som forstyrres av lys fra plattformene, reduseres fra 6 millioner til under 600.000. Det må imidlertid understrekes at dette var et forsøk som bare gikk over noen få dager, og at usikkerheten omkring tallmaterialet nok er meget stor. Men forsøket er like fullt interessant ut fra hvilke tiltak som potensielt kan redusere negative effekter av belysningen på oljeplattformene i Nordsjøen i betydelig grad. Dette gjelder både farge på lyset og retningen av lyset (lyser innover, slik at det i stor vil være skjult for fugler på trekk).

Ettersom fugler reagerer forskjellig på de ulike fargene i lyset, ble det også gjennomført et forsøk for å se om noen farger kunne redusere antall sirkelende fugler. Det viste seg at fuglenes geomagnetiske kompass ble endret av den røde delen i fargespekteret. Dette forklarte hvorfor fuglene ikke samler seg rundt plattformene på klare netter, men bare på dager med skydekke og tåke. Det forklarte også hvorfor fuglene forlater plattformen ved daggry.

Ny lystype utviklet for oljeplattformene

Med bakgrunn i disse resultatene, utviklet NAM og Philips en ny type lys, som tok hensyn til fuglenes sensitivitet for den røde delen av spekteret, men samtidig også tok hensyn til sikkerheten for de som arbeidet ombord på plattformene.

Sirkling rundt en plattform kan medføre flere negative effekter for fuglene. De mest alvorlige er antatt å være:

- Økt energiforbruk som kan bety at
 - de ikke har nok energi igjen til å kunne krysse resten av Nordsjøen når de til slutt bryter ut av sirklingen, og
 - at de har mindre reserver igjen når de når land, og må bruke lenger tid på å ta seg inn igjen etterpå for å kunne fortsette trekket videre.
- Noen fugler kolliderer med installasjonen og dør eller skader seg og må oppholde seg på plattformen over tid. Disse vil sannsynligvis dø som følge av mat- eller vannmangel.
- De blir mer utsatt for predasjon. Fugleflokker følges ofte av rovfugler, og blir et lett bytte for bl.a. måker, som kan være dyktige jegere på dagtid. Fugler som forlater plattformen om morgenen eller i løpet av dagen kan lettere bli tatt.

Forsøkene i 2000 viste at en begrenset lysmengde som ikke var direkte synlig for fuglene, hadde liten effekt på dem. Hvis samme lysmengde ble plassert slik at fuglene kunne se det direkte, var effekten større. Effekten økte dramatisk straks intensiteten nådde et visst nivå (se Van de Laar 2007).

Behov for lokale studier

Fugler, som mange andre organismer, har en rekke sesongbetonte aktiviteter hvert år, som reproduksjon, myting og trekk. Det er viktig at disse aktivitetene er tilpasset sesongendringene, og dette innebærer ofte at aktivitetene må forberedes lang tid i forveien, både fysisk og fysiologisk. For å kunne hekke om våren, må f.eks. en langdistansetrekker forlate overvintringsområdet lang tid i forveien, og forplantningssystemet må aktiveres på vei mot hekkeplassen (se f.eks. Helm et al. 2009, 2013).

Dette kan bety at det vi lokalt kan registrere av f.eks. hekkesuksess hos en art, like mye kan være bestemt av faktorer som bl.a. lysforurensing i overvintringsområdene og på rasteplassene under trekket, som på hekkeplassene. Dette kan innebære en (betydelig?) feilkilde når resultater av lokale studier skal vurderes, når en ikke kjenner hvilke faktorer som kan påvirke en art gjennom hele årssyklusen.

En annen mulig feilkilde i en sammenstilling av studier av mange arter fra hele verden, som i denne rapporten, er at mulige effekter av lysforurensing kan avhenge av bl.a. ulike årssykluser, enten mellom ulike arter eller mellom ulike populasjoner av samme art. Et eksempel på dette er vist for årsrytmen hos to nærstående arter av svartstrupe, en europeisk (*Saxicola rubicola*) og en sibirisk (*Saxicola maurus*) (figur 5.7). Vi kan derfor ikke uten videre overføre resultater fra arter i andre land til norske og lokale arter, uten å måtte vurdere nøye om dette er mulig. I denne rapporten har dette ikke vært mulig, men mange av resultatene kan gi en viktig pekepinn på hvor viktig det kan være å ta hensyn til mulige effekter av lysforurensing både i forskning og forvaltning, og gi oss en indikasjon på hvilke effekter vi må være oppmerksomme på.



Figur 5.7. Årsrytmen hos unger i to populasjoner av svartstrupe. Unger av europeisk og sibirisk svartstrupe ble oppfostret under like betingelser med uendret fotoperiode (lys:mørke 12:12 t). Hos begge artene endret testikkelstørrelsen seg periodisk. Men de europeiske svartstrupene, som er korttrekkere og hekker tidligere på året, hadde en tydelig tidligere reproduksjonssyklus enn de sibirske, som er langtrevkere (Helm 2009).

5.3 Amfibier og reptiler

Det meste av forskning på effekter av og forbyggende tiltak mot lysforurensing for amfibier og reptiler, har dreid seg om skilpadder (Tuxbury & Salmon 2005, se også Perry et al. 2008). Dette er arter som ikke er aktuelle å vurdere for norske forhold, men resultatene fra de mange studiene og avbøtende tiltak som er innført, kan være interessante som eksempler på hvordan spesifikke problemstillinger kan løses, selv om kostnadene ved dem kan være betydelige.

5.3.1 Salamandere

Salamandere er, som andre amfibier, særlig følsomme for menneskelige inngrep i naturen (inkludert redusert ozon-nivå som gir økt UV-B stråling, habitatødeleggelser, forsurening av både akvatiske og terrestre habitater som følge av sur nedbør), og bestandene er flere steder i klar tilbakegang (Alford & Richards 1999, Stuart et al. 2004, se også Rich & Longcore 2006 for flere referanser). De har ofte kompliserte livssykluser, ved at de lever i både akvatiske og terrestre miljøer. De er viktige komponenter i mange økosystemer i akvatiske miljøer og i skog, og størst betydning har de på invertebrater som bryter ned døde planter/-rester (Wyman 1998). De er ekstremt effektive i å assimilere mat, og de produserer nytt vev hurtigere eller like fort som hos andre små vertebrater (Perry et al. 2008).

Fordi mange salamandere er nattaktive og har døgnrytmer som styres av lys, kan de også være sensitive for egenskaper ved lys fra kunstig nattbelysning som omgir deg på alle kanter (f.eks. Stuart et al. 2004).

Fototaxis

Salamandere kan påvirkes gjennom deres fikserte atferdsmønster i forhold til lys, enten det er bevegelser mot lys (positiv fototaxis) eller fra lys (negativ fototaxis). Det kan være flere forklaringer på både positiv og negativ fototaxis, se Rich & Longcore (2006) for en gjennomgang av disse. I en oversikt over arter som er kjent for å være enten fotopositive eller -negative (se deres **tabell 10.1**), er de artene vi har i Norge, stor og liten salamander (*Triturus vulgaris* og *T. cristatus*), ikke nevnt.

Næringssøk

Kunstig nattbelysning kan være positivt for salamanderens næringssøk for arter som ikke er fotonegative ved å gjøre det lettere for dem å oppdage maten, og ved å lokke fotopositive insekter til området som blir belyst. De kan også dra fordeler av kortvarig belysning, som fra passerende biler, for å fange sitt bytte.

Predatorunntvikelser

I nærvær av fiskepredatorer som bruker synet for å lokalisere et bytte, kan salamanderlarver skifte fra å være dagaktive til å være nattaktive. Uten fisk til stede var larver av *Ambystoma maculatum* like aktive i vannsøylen både dag og natt, men i nærvær av *Lepomis macrochirus* ble larvene langt mer aktive nattetid (Semlitsch 1987). Denne endringen i atferd resulterte i lavere kroppsvekt for larvene, trolig fordi de ble henvist til dårligere beiteområder i nærvær av fisk.

Territorieatferd

Salamandere er territorielle og markerer og forsvare sine territorier på flere visuelle og kjemiske signaler, som skal gi de andre informasjon om bl.a. kroppsstørrelse og villighet til å kjempe, eller underdanighet, under kamper. Upubliserte resultater indikerer at salamanderne utførte flere visuelle trusselposisjoner med ekstra nattlig belysning.

Aktiviteter gjennom døgnet

Dolmen (1983) undersøkte aktiviteten hos både voksne og larver av stor og liten salamander. I løpet av høsten endret særlig larvene atferd fra å være helt eller delvis nattaktive, til å bli mest nattaktive i oktober. Et slikt skifte syntes å komme da nattlengden (scotofasen) ble lengre enn daglengden (fotofasen), slik at larvene kunne lete mat i den perioden som hele tiden var lengst. Det synes å være ukjent om kunstig lys kan endre tidspunktet for denne atferdsendringen, og om hvilken betydning den potensielt kan ha for larvene.

Orientering

Salamandere som forlater dammene sine, kan orientere seg til og fra sine terrestriske oppholdssteder både ved å benytte seg av et lysavhengig magnetisk kompass og polarisert lys (se referanser i Rich & Longcore 2006). Begge blir påvirket av fargesammensetningen av lyset, og kan særlig forstyrres av langbølget monokromatisk lys. Utendørs belysning kan derfor påvirke evnen salamandere har til å orientere seg tilbake til sine dammer.

En mangel ved nåværende kunnskap om hvordan salamandere påvirkes av kunstig nattbelysning, er at den i stor grad er basert på laboratorieundersøkelser (Rich & Longcore 2006). I flere av disse undersøkelsene har forskerne benyttet sterkere lys enn det som kan forventes fra utendørs belysning i salamandernes naturlige miljø. De har også i liten grad rapportert om lysets intensitet og fargesammensetning. Dette gjør det vanskelig å vite i hvor stor grad resultatene fra laboratorieundersøkelsene kan overføres til naturlige forhold, men det synes likevel ikke å være tvil om at kunstig nattbelysning kan være skadelig for salamandere. Som et generelt råd bør planleggere derfor alltid foreta en vurdering av kunstig nattbelysning og gå ut ifra at mindre lys alltid er bedre.

5.3.2 Frosker og padder

Frosker og padder kan, som salamandere, bli påvirket av en rekke menneskeskapt miljøendringer eller -inngrep (se kap. 5.3.1). Flere arter er også her i sterk tilbakegang (se referanser i Buchanan 2006). Også for frosker og padder kan flere arter være særlig sårbare for kunstig belysning (se Baker & Richardson 2006, Buchanan 2006). For det første krever deres nattlige habitater øyne som er tilpasset mørke, der en plutselig økning i lysintensiteten ikke bare forstyrrer dette, men, avhengig av lysstyrken, kan kreve en lang periode før synet igjen er tilpasset mørket (Cornell & Hailman 1984, Fain et al. 2001). Frosker kan være særlig utsatte her, ettersom de lever i vegetasjon eller habitater hvor det kunstige lyset kan variere over korte avstander. Vind kan også medføre at greiner beveger på seg, slik at lyse og mørke områder kan være vanskelige å forutsi. En årsak til dette er at frosker ofte er i nærheten av veier, enten når de hekker i grøfter eller beveger seg mot vanddammer hvor de må krysse veier, eller når billys skaper sterke, plutselige og forbigående endringer av lyset. Et viktig kunnskapsmangel her er kunnskap om hvorvidt froskene kan tilpasse seg konstant belysning over tid.

Buchanan (2006) argumenterer for at frosker og padder er enda mer sårbare for kunstig nattbelysning enn andre taxa, av flere grunner:

- De fleste frosker og padder er delvis eller helt nattaktive, noe som gjør dem sårbare for lysforurensning.
- De fleste artene er predatorer og lever av andre dyr, og kunstig nattbelysning kan endre tetthet eller atferd hos bytte eller predator.
- Frosker og padder har en vid utbredelse, noe som utsetter dem for forskjellige miljøbetingelser.
- Som gruppe har de en stor variasjon i reproduksjonsforhold, noe som gjør at forskjellige arter som lever i ett og samme habitat, kan bli utsatt for et stort spennvidde av miljømessige forhold.
- Frosker og padder er mindre mobile enn mange andre dyr på grunn av deres måter å bevege seg på, og deres avhengighet av fuktighet, noe som gjør dem mindre i stand til å kompensere for endringer i nattlig belysning ved å forflytte seg til andre steder.
- Mange arter har komplekse livssyklus, med ulike livsstadier for samme art i forskjellige mikrohabitater, noe som eksponerer individer for ulike miljøforhold i løpet av livet.

Som for salamandere er det få studier som er utført under naturlige forhold. Det er utført en rekke laboratorieforsøk, men som regel med et annet formål enn å studere effekter av kunstig nattbelysning (Buchanan 2006). Mange av de samme effektene som er funnet for salamandere (kap. 5.3.1) vil også gjelde for frosker og padder. I tillegg kan nevnes noen andre:

Samlinger under kunstige lyskilder

Særlig padde (*Bufo bufo*) har en tendens til å samle seg under kunstige lyskilder, der de kan fange insekter som også trekkes til lyset. Dette kan være positivt i forhold til bedre næringstilgang.

Spesielle tilpasninger til svært lave lysintensiteter

Frosker har som nevnt flere spesielle tilpasninger for å kunne se under svært dårlige lysforhold. Vår vanlige padde er i stand til å fange byttedyr ved hjelp av synet ved svært lave lysintensiteter (sammenlignbare med svakt stjernelys (10^{-6} til 10^{-5} lux)). Dette gjør at selv svært svak kunstig nattbelysning, fra fjerne lyskilder, lysskjær m.m., kan være nok til å gjøre det mulig for frosker og padder å finne mat til tider der det normalt ville være for mørkt til matsøk.

Endring i reproduktiv atferd

Kunstig nattbelysning kan påvirke partnervalg hos hunnlige frosker. Hos en art ble det funnet at hunnene var mindre kritiske i sitt valg, noe som kan skyldes at de med svak belysning kunne være utsatt for predasjon, og derfor brukte mindre tid på å velge partner. Dette vil særlig gjelde for arter som bruker visuelle stimuli for å tiltrekke en partner, ettersom de i noen posisjoner vil

være mer synlige for andre arter. Det er imidlertid usikkert om dette vil gjelde for våre hjemlige frosker, og dermed om dette er en effekt som vil gjøre seg gjeldende i våre områder.

Effekter på rumpetroll og deres atferd

Rumpetroll hos en paddeart (*Bufo americanus*) skiftet oppholdssted i løpet av døgnet, der den var på dypere - og varmere - vann om natten og på grunnere vann - som ble raskere varmet opp - om dagen. Det synes som om den bruker lyset til å regulere vandring mellom disse oppholdsstedene. Dersom den på grunn av kunstig nattbelysning mister muligheten til justere døgnvandringene for hele tiden å kunne være i det varmeste vannet, kan de miste noe av evnen til termoregulering og optimalisere veksten (Beiswenger 1977, se Rich & Longcore 2006).

Midlertidig tap av nattsyn

Når frosker - og mennesker - blir utsatt for et plutselig og sterkere lys enn omgivelsene, kan lys som treffer et øye med vidåpen pupill, utover det øye trenger for å kunne skape et bilde, kan lyset bleke fotopigmenter i øyet (de blir kjemisk endret). Et bleket fotopigment kan ikke respondere på lys igjen før det har gjenvunnet sin opprinnelige kjemiske struktur. Hos frosk kan dette ta flere timer, avhengig av hvor kraftig lyset var. Ulike arter kan reagere forskjellig ut fra forskjeller i bølgelengder, og dermed ha forskjellig tilpasningsevne til uventet lys. Også under naturlige lysforhold, kan frosker oppleve skiftende lysforhold, som når lys fra fullmåne skygges av greiner på trær, der lyset på bakken kan skifte fort ved vind som beveger greinene (se Rich & Longcore 2006 for referanser).

THE FAR SIDE® BY GARY LARSON



"See, Frank? Keep the light in their eyes and you can bag them without any trouble at all."

Figur 5.8. En rask økning i lysintensitet kan temporært blende frosker og padder på samme måte som mennesker blir det (illustrasjon fra Rich & Longcore 2006).

Selv om en samler resultatene fra de mange studiene som er gjort på frosk og padde, som i mange tilfeller ikke er gjort med tanke på effekter av kunstig nattbelysning, trenger vi fortsatt mye forskning på slike effekter. Særlig gjelder dette for larveutviklingen, ettersom det er her den største dødeligheten skjer.

Mange effekter av kunstig nattbelysning kan være umerkelige eller komplekse og ikke så lette å forutsi. Endringer i lysforholdene kan gi en kaskade av effekter i naturlige samfunn som har frosker, dersom deres byttedyr eller predatorer forandrer sin forekomst som respons på endringene i det naturlige lyset (Rich & Longcore 2006). Så igjen vil det beste rådet for forvaltere være å handle forebyggende allerede nå, uten å vente på ny kunnskap. Dette kan gjøres ved alltid å redusere lysmengden så sant dette er mulig, eller å hindre at lyset spres ut i nærmiljøet, ut over det området det er ment å belyse. Det siste er problematisk fordi levedegger som hindrer lyset også kan hindre dyrs bevegelser (Rich & Longcore 2006).

5.3.3 Havskilpadder

Ettersom havskilpadder normalt legger egg om natten, er ofte den klareste negative effekten av kunstig nattbelysning at hunnene ikke forlater vannet på strender der kunstig lys kommer fra bygninger, veier og publikumsstier langs strendene. Disse hunnene blir ofte tvunget til å søke seg til mindre egnede områder, noe som reduserer mulighetene for en vellykket hekking (se Patiri et al. 2012). Om slike effekter kan være aktuelle for norske amfibier eller reptiler, er ikke kjent.

For å imøtekomme krav fra miljøorganisasjoner er det utviklet en spesifikk metode som er benyttet for å forebygge miljøeffekter av lysforurensning (Patiri et al. 2012), som deles inn i tre distinkte faser, med en viss overlapp mellom dem:

- Design av retningslinjer for lysprosjekter
- Implementering av lysprosjekter
- Undersøke miljøeffekter (Check Environmental Impact Assessment) "Check & ACT".

Det er ikke vurdert om dette kan være en metode som også kan anvendes i Norge for andre arter. På noen lokaliteter for eggleggende skilpadder, er det utprøvd en løsning med innebygde lys i veikanten, som vist i **figur 5.9**. Dette har vært vellykket, og det kan være en aktuell løsning også noen steder i Norge.



Figur 5.9. Gatelys langs en kystvei i Florida, langs en strand hvor havskilpadder legger egg. Stranda er til høyre for veien, men er ikke synlig på bildene. Bildet t.v. viser en natt med de tradisjonelle gatelampene påslått, på bildet t.h. er disse avslått og innebygde lys er påslått. Gatelysene er synlige fra stranda, de andre er det ikke (fra Rich & Longcore 2006).

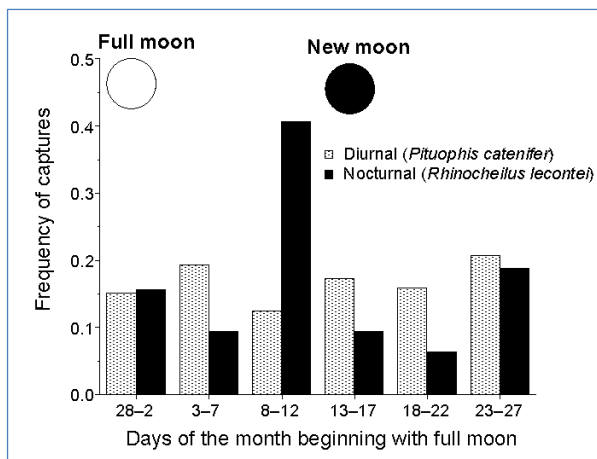
5.3.4 Firfisler og slanger

En undersøkelse av to slangearter i California viser hvordan en nattaktive og dagaktiv art oppfører seg likt ved fullmåne, men forskjellig ved nymåne (**figur 5.10**). Det er imidlertid ikke kjent noen arbeider som tar for seg potensielle konsekvenser av kunstig belysning for firfisler eller slanger. Men det er mulig at noen gekkoer kan dra fordeler av insekter som samles rundt lyskilder (Rich & Longcore 2006).

5.3.5 Generelt

Selv om det til nå er få studier om effekter av lysforurensning på amfibier og reptiler, er det likevel noen generelle mønstre som begynner å vise seg (fra Perry et al. 2008):

1) Arter varierer i deres følsomhet for lysforurensning, som enten kan ha ingen effekt, være til nytte eller påvirke negativt en spesiell dyregruppe. Det er derfor viktig å vurdere fotobiologien for alle arter i et gitt habitat. Problemet med desorientering hos skilpadder kan reduseres dersom en skifter til lys med lange bølgelengder. Men slikt lys kan, derimot, forstyrre vandringer hos salamandere (salamander), som imidlertid ikke deler det samme habitatet. Det vil derfor ikke alltid være noen lettvinne løsninger til problemet annet enn å fjerne, redusere bruken av eller å skjerme omgivelsene mot kunstig nattbelysning.



Figur 5.10. Fangstrater for to slangearter fra kysten av California i forhold til månefase, innsamlet i årene 1995 - 1998. De viser et mønster med økt aktivitet rundt nymåne for den nattaktive arten, men ikke for den dagaktive arten (data fra Fisher & Case 2000, Case & Fisher 2001, se Rich & Longcore 2006).

2) Forskjellige sider av en arts biologi kan bli påvirket forskjellig av forskjellige lysforhold på forskjellige stadier i livet.

3) Det mangler i stor grad forskning på negative effekter av lys på herpetofauna. Negative effekter for skilpadder (f.eks. Witherington & Martin 1996) er godt dokumentert, mens detaljerte studier for andre arter til nå ikke har vært tilgjengelige.

4) Det er få studier av positive effekter av kunstig belysning på herpetofaunaen. Positive effekter, som økt eller lettere tilgang på byttedyr og muligheter for termoregulering rundt kunstige lyskilder er noe bedre dokumentert, selv om noe av dette er anekdotisk, for firfisler. Perry et al. (2008) kjenner ikke studier som har undersøkt mulige effekter på populasjonsnivå, hvilke mekanismer som kan være involvert, og hvilke arter som mest sannsynlig kan bli påvirket.

5) Indirekte effekter forventes å være vanlige. Fordeler for en art kan påvirke en annen art negativt, som demonstrert for gekkoer av Case et al. (1994). Det begynner nå å komme en del studier av slike fenomener som ikke involverer invaderende arter (Rich & Longcore 2006).

6) Mulighetene kunstig lys gir for et økt innvandringspotensiale for noen arter, burde ha vært tillagt større vekt. Evnen til å ta i bruk menneskelige habitater, som ofte karakteriseres ved å ha ekstra belysning nattetid, kan være nyttig for invaderende arter, som ofte er de første til å ta i bruk urbaniserte områder. For arter som ikke bare er tolerante overfor slike forhold, men som også kan dra nytte av nye nisjer som nattbelysning skaper, vil det være lettere å etablere levedyktige bestander. Det finnes nesten ingen informasjon om konsekvensene av invaderende arter, som gekkoer, men det er sannsynlig at noen stedegne dyr (særlig invertebrater) kan bli negativt påvirket. Noen invaderende arter kan også tenkes å spre sykdom eller eksotiske parasitter til stedegne arter.

5.4 Fisk

Til tross for mange velkjente effekter av kunstig nattbelysning på akvatiske organismer, og da særlig på dyr, er det utført lite forskning på konsekvenser av kunstig nattbelysning på naturlige døgnrytmer, månefaser og sesongvariasjoner (Nightingale et al. 2006).

De fleste fisker bruker synet for å orientere seg, ved næringssøk og forplantning, og for å unnsnippe predatorer. Lys er derfor ofte avgjørende for deres overlevelse (Lythgoe 1979). Fiskens atferd kan bli påvirket av kunstig lys, der variasjoner i lysmengden bl.a. styrer artenes vertikale vandring. En vanlig reaksjon på lys er å samle seg i stimer og bevege seg mot lyskilden (Ben-Yami 1976).

Det er klare sammenhenger mellom lysstyrken og bildet på ekkogrammene som viser hvor dypt stimene står. Mesopelagisk fisk og andre organismer flytter seg vertikalt for å oppholde seg der lysstyrken er mest gunstig både for å være beskyttet mot predatorer og for å finne mat og effektivisere næringssøket (<http://nettskole.ndla.no/Lyset-styrer-adferden>, Pitcher & Parrish 1993). Dette synes i særlig grad å gjelde i alle fall for fiskespisende arter (Clark & Levy 1988, Scheuerell & Schindler 2003, Hardiman et al. 2004).

Marine fisker kan respondere svært forskjellig på kunstig lys med varierende intensitet og bølgelengde (Marchesan et al. 2005). I sin undersøkelse av pelagisk fisk i Lake Washington fant Mazur et al. (2006) et overraskende høyt konsum nattetid sammenliknet tidligere estimater, noe de knyttet til kunstig høye lysnivåer som ble målt nattetid i løpet av deres undersøkelser. Dette hadde en effekt på alle arter som ble testet, selv om hver av dem reagerte på ulikt vis. Dette skyldtes lys fra Seattle og nærliggende urbaniserte områder, der kunstig lys ofte ble reflektert ut over sjøens overflate. Lysnivåene på sjøen ble om natten målt til mellom 1 og 20 lux, ca. 2000 - 40.000 ganger høyere enn lysnivåene som ble målt i nærliggende rurale områder.

I Lake Washington synes lyspåvirkningen å innvirke på predator-bytte relasjoner ved å øke tilgangen for en amerikansk ørretart (*Oncorhynchus clarki*) på fisk som vandret vertikalt. Fisker som beiter på plankton vandrer ofte vertikalt for et best mulig kompromiss mellom muligheter for næringssøk og risikoen for å bli spist av predatorer (Clark & Levy 1988, Scheuerell & Schindler 2003, Hardiman et al. 2004, se også Nightingale et al. 2006).

Det er vist at smolt går dypere vann om dagen enn om natta (Thorpe & Morgan 1978, Youngson et al. 1983, Hansen & Jonsson 1985, Aarestrup et al. 2002), noe som sannsynligvis er en strategi for å unngå predasjon fra fugler (Solomon 1982). Det er også observert at lakse-smolt i elver raskt kan dykke dypere ved en hurtig endring i lysintensitet (Davidsen et al. 2005). Disse observasjonene er tolket som anti-predatoratferd ettersom en slik hurtig endring i lyset kan indikere at en fuglepredator er i nærheten. Davidsen et al. (2008) har vist at smolten også har slik atferd etter at den har vandret ut i sjøen, en atferd de mener kan være en trade-off mellom søk etter bytte, navigering, problemer ved osmoseregulering og redusert fare for angrep fra predatorer både ovenfra og nedenfra. Bremset et al. (2009) refererer også til studiene i Lake Washington (Mazur & Beauchamp 2006).

Forstyrrelser i vandringsmønster

Laksefisker som skal vandre fra gyteområdene gjennom bekker, elver og estuarier før de kommer ut i havet, beveger seg oftest om natten, etter at øynene har vent seg til lysforholdene om natta (dette kan ta mellom 30 og 60 minutter, avhengig av art og alder, Ali 1959). Fisk som vender tilbake til elvene, vandrer også om natta. Endrede lysforhold langs disse rutene kan forstyrre vandringene, øke predasjonen på vandrende fisk, og dermed også potensielt redusere antall fisker som klarer å fullføre disse vandringene.

En synkronisert respons for individer i forhold til lysforholdene, resulterer i en markert trekk-topp, med mange individer som vandrer samtidig. Dette er fordelaktig for å redusere faren for å komme i kontakt med predatorer (Hoar 1958). Under naturlige lysforhold er denne massevandringen godt synkronisert (Ali 1959). Noen studier har dokumentert alvorlige effekter av kunstig nattbelysning på denne atferden. Tabor et al. (2001) fant at økt nattbelysning hadde en betydelig effekt på yngel av *Oncorhynchus nerka*. Økt lysintensitet nattetid, som målt fra belyste bygninger og broer langs elva, fikk yngelen til å utsette vandringen og trekke inn mot strender med mindre strøm og høyere lysintensitet. Vandringene til yngelen begynte etter at lysintensiteten var lavere enn 1 lux. Da lysnivået ble økt til 32 lux, stoppet vandringene helt opp. Tabor et al (2001) dokumenterte også økt predasjon på vandrende yngel fra sculpin (slekten *Cottus*) ved kunstig nattbelysning.

Kunstig lys er brukt for å lede fisk til renner som går fordi kraftmagasiner (Larinier and Boyer-Bernard 1991a, 1991b) og for å forhindre dem i å bli sugd inn i rørledninger ved kraftstasjoner (Haymes et al. 1984).

Forplantningsatferd

Lysets intensitet kan påvirke forplantningsatferd, som kurtisering og gyting, men dette har fått liten oppmerksomhet i litteraturen (Endler 1987, Long & Rosenqvist 1998, se også Rich & Longcore 2006). Potensielle effekter av dette er heller ikke dokumentert. Gyting, uten visuelle stimuli, kan forgå hele døgnet, og kan også påvirkes av visuelle signaler. Laksefisker vandrer vanligvis oppstrøms og gyter om natten (Evans 1994), men effekter av kunstig nattbelysning er ikke påvist for gyteatferden (se Rich & Longcore 2006). Slike effekter er derimot funnet hos torsk i fangenskap, og for en rekke andre arter i andre land, først og fremst på grunne gyteområder (se Rich & Longcore 2006 for referanser).

Det er ikke funnet litteratur som diskuterer om tilsvarende effekter kan være mulige for norske arter, slik at det p.t. ikke er mulig å si noe om kunstig nattbelysning kan ha potensielle effekter for forplantningen av arter som lever i Åkersvika.

Økosystemeffekter

Etttersom lysforholdene endres hele tiden, gir det et dynamisk og komplekst livsmiljø, der arter med mange forskjellige nisjer kan leve sammen. Forstyrrelser i det naturlige lysregimet kan ha betydelige effekter for artsrikdom og sammensetning av ulike samfunn i et økosystem. Kronisk kunstig belysning kan ta vekk en del av variasjonen i lysforholdene innen et område og forandre de spektrale egenskapene ved lyset. Nisjefordelinger som har eksistert over lang tid kan dermed brytes ned. Betydningen av naturlig variasjon og mønster i lysforholdene for livshistorie, forvaltning og bevaring av fisker har lenger vært kjent, men likevel er det lagt ned altfor lite innsats i undersøke og motvirke den økende innflytelsen kunstig lys har for fisker (se Nightingale et al. 2006).

Noen studier viser at økologisk lysforurensning kan ha konsekvenser om natta i akvatiske habitater (se Baker & Richardsson 2006 for effekter på frosk).

5.5 Invertebrater

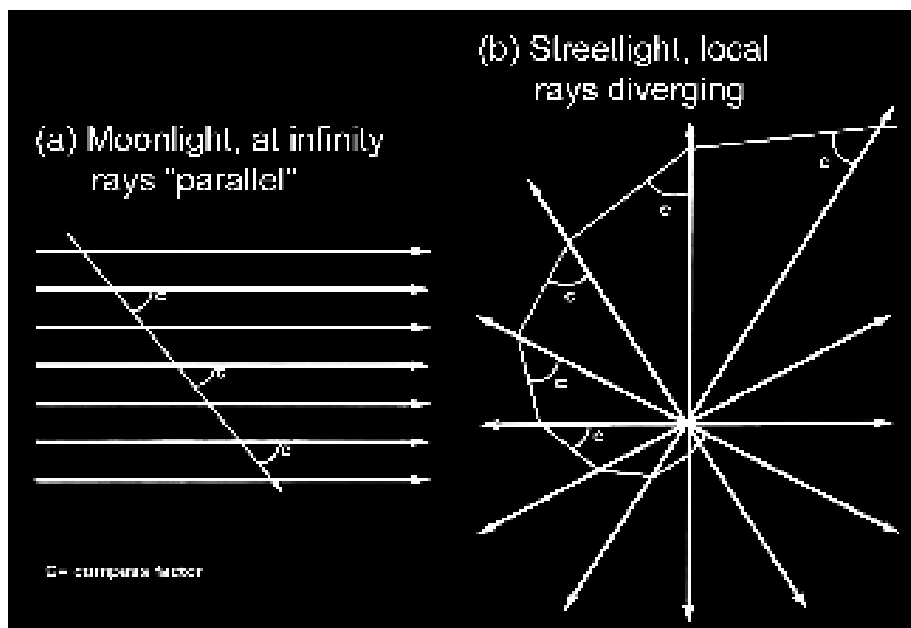
Det er skrevet mye om effekter av kunstig nattbelysning på insekter, særlig i forhold til insekter som samles rundt gatelamper. Dette har i stor grad vært ut fra to vinklinger, den dødeligheten det kan medføre for mange arter, og næringstilgangen dette medfører for mange predatorer.

Hvorfor tiltrekkes insekter av lys?

Den viktigste forklaringen er at mange insekter bruker månen til å orientere seg i terrenget om natta. Dette virker slik at dersom et insekt ønsker å fly rett fremover, vil den ha månen i en bestemt vinkel i forhold til kroppen. Dersom den kommer i nærheten av en kunstig lyskilde, kan den bli lurt til å tro at det er månen, og den vil derfor bøye av flukten av inn mot lyskilden for å kunne opprettholde riktig vinkel. Vi ser derfor ofte at insekter som tiltrekkes av kunstig lys flyr i en spiral rundt lyskilden (**figur 5.11**).

Andre forklaringer på at insekter tiltrekkes av lys om natta kan være at de søker mot lyset for å kunne bruke synssansen sin, eller at de tror det er en blomst dersom det er snakk om blomsterbesøkende arter. Når noen insekter har blitt tiltrukket av lyset kan det også virke selvforsterkende fordi insekter av samme art tiltrekker hverandre for paring.

Eisenbeis (2006) har sammenfattet det meste av det som til da var publisert om insektatferd nær gatelamper. Uf fra dette har han beskrevet tre forskjellige situasjoner der fly-til-lys atferd manifesterer seg. De fysiologiske mekanismene bak dette er sammenfattet av Frank (2006).



Figur 5.11. Insekters orientering mot fjerne og lokale lyskilder. (a) Ved månelys holder insektet en strak kurs over tid ved å holde en konstant kompassvinkel ("C") til parallelle lysstråler fra en fjern lyskilde. (b) Hvis insektet bruker samme metode når det møter lysstråler i forskjellig retning fra en lokal lyskilde, som et gatelys, vil det bevege seg i en spiral inn mot lyset.

Insekter rundt gatelamper

I den første situasjonen blir insekter forstyrret i deres normale aktivitet gjennom kontakt med en eller flere kunstige lyskilder. En møll som krysser ei myr på leting etter blomster (**figur 5.11 a**), og kommer så nær et gatelys at den blir tiltrukket av lyset, vil fly nærmere denne lampen, der flere interaksjoner er mulige. Insektet kan fly direkte på det varme glasset og dø med en gang. Langt mer vanlig er at insektet begynner å kretse i det uendelige rundt lyset, inntil den blir tatt av en predator eller faller utslitt til bakken, hvor den dør eller blir tatt av en predator. Men, noen insekter kan klare å forlate lyssonen og fly tilbake, hvor den kan søke ly i en mørkere sone. Der kan de hvile i vegetasjonen eller på bakken. Det er antatt at en slik fly-til-lys-atferd utløses av en sterk blindingseffekt av lampen. Noen kan ta seg inn igjen og fly tilbake til lampen en gang til, mens andre forblir inaktive, noe som utsetter dem for en større risiko for predasjon. Mange insekter klarer ikke å nå opp til lyset fordi de blir blendet eller immobilisert underveis, og hviler i vegetasjonen. Hartstack et al. (1968) viste at mer enn 50 % av svermere som nærmet seg et lys, stoppet flygingen på bakken. Eisenbeis (2006) kaller denne atferden for "fiksering" eller at insektet blir fanget i lyset, noe som betyr at den ikke klarer å komme seg ut av nærområdet for lyset (se **figur 5.12 a**).

Den andre situasjonen innebærer påvirkning av langdistanseflygninger fra lys som står i deres fluktrute. Dette er illustrert med tre insekter som flyr gjennom en dal langs en liten bekk (**figur 5.12 b**). De bruker naturlige landemerker som trær, stjerner, månen eller profilen av horisonten for å orientere seg. De prikkede pilene indikerer deres tiltenkte rute. Når denne ruta kommer på tvers av en vei og en rekke gatelys, flyr insektet direkte til ei lampe og lider samme skjebne som i den første situasjonen (**figur 5.12 a**). Eisenbeis (2006) kaller dette en barriereeffekt ettersom den forhindrer bevegelser på tvers av terrenget.

Den tredje situasjonen viser det Eisenbeis (2006) kaller en "vacuum cleaner" effekt (**figur 5.12 c**). Insekter som ikke beveger seg på grunn av næringssøk eller vandringer, kan også trekkes

mot lys og dø som følge av det. Insekter blir sugd ut av habitat som ved en vakuumpumpe, noe som kan redusere lokale populasjoner.

Betydningen av slike effekter på insektenes atferd avhenger av bakgrunnsbelysningen. Ved fullmåne vil månelys konkurrere med kunstige lyskilder. Insekter vil derfor oppfatte kunstig lys på kortere avstand, og følgelig blir færre insekter trukket mot andre lyskilder. Ved nymåne kan insekter trekkes mot gatelys fra avstander på flere hundre meter (**figur 5.12 og 5.13**). Den maksimale avstanden der insekter vil trekkes til kunstig lys, er definert som den avstanden hvor utstrålingen fra lampen er lik bakgrunnsstrålingen fra himmelen/skydekket, som er omtrent 5^{-5} lux. Hvis et insekt kommer inn i sonen hvor den kan tiltrekkes av lyset, vil den bli eksponert for stadig sterkere belysning og fly stadig nærmere lampen (Eisenbeis 2006).

Hvor stor denne tiltrekningssonen er, er mye omdiskutert og kontroversiell, men det kan se ut som om ulike arter har forskjellig radius for sine soner. Hvilken effekt slike konsekvenser kan få, er mindre kjente, men det vil utvilsomt kunne få store følger for mange arter (se Eisenbeis 2006). Det kan medføre endringer i artsdiversiteten rundt lamper. Tidligere fangstforsøk med lysfeller på 1970-tallet, ga meget store fangster sammenlignet med nye fangstforsøk like før århundreskiftet (Eisenbeis 2006). Robinson & Robinson (1950) fanget mer enn 50.000 svermere i ei lysfelle på ei natt 20-21.8.1949. Der Worth & Muller (1979) fanget 50.000 svermere med ei lysfelle 2.5 -12.9.1978 på en isolert gard uten konkurrerende lys, talte Eisenbeis & Hassel (2000) bare 6205 individer ved å bruke 19 lysfeller 29.5 - 29.9.1997. Dette er ikke et stort materiale som egner seg for statistiske analyser, men det kan likevel indikere en langvarig og sterk nedgang i mange insektbestander. Det kan likevel ikke utelukkes at nedgangen vel så mye kan skyldes habitatendringer og endringer i artsutvalget.

Skremmende høye estimater av insektdødelighet nær gatelys

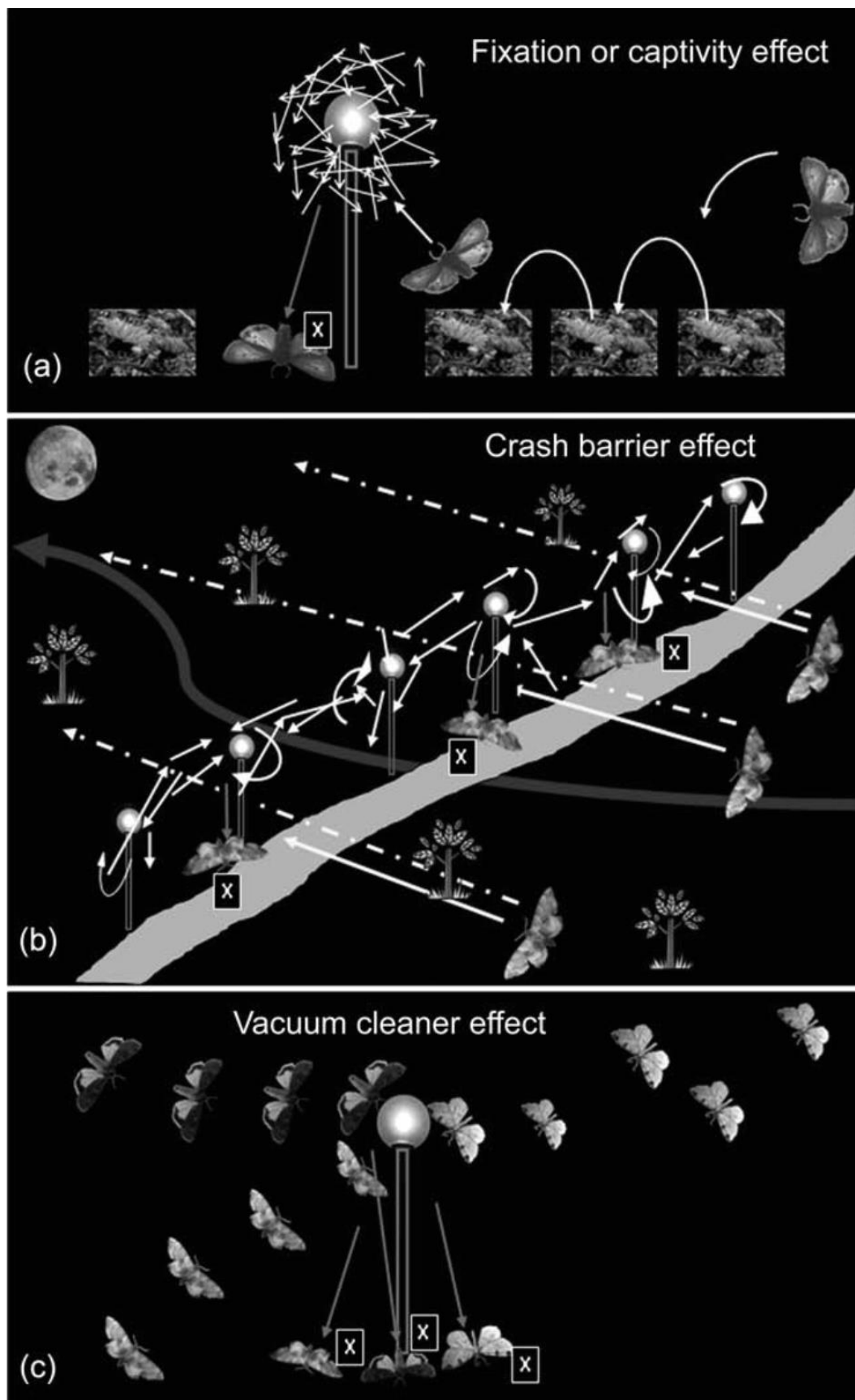
Det er gjort flere forsøk på estimere insektdødelighet forårsaket av bl.a. kjøretøyer og gatelys, og det er skremmende høye tall som ofte er funnet (se omtale og referanser i Eisenbeis 2006). I Østerrike ble det således for biler estimert at de forårsaket en dødelighet på 116 insekter pr. km. Samlet vil dette bety mange milliarder drepte insekter i Østerrike hvert år.

For en hypotetisk by på størrelse med Kiel, som hadde 20.000 gatelys og 240.000 innbyggere i 1998 (Kolligs 2000), ble samlet antall insekter drept av disse gatelysene (når antatt at alle var høytrykks kvikksølv lamper), estimert til om lag 3 millioner per natt, eller 360 millioner per sesong med 120 dager fra juni til september.

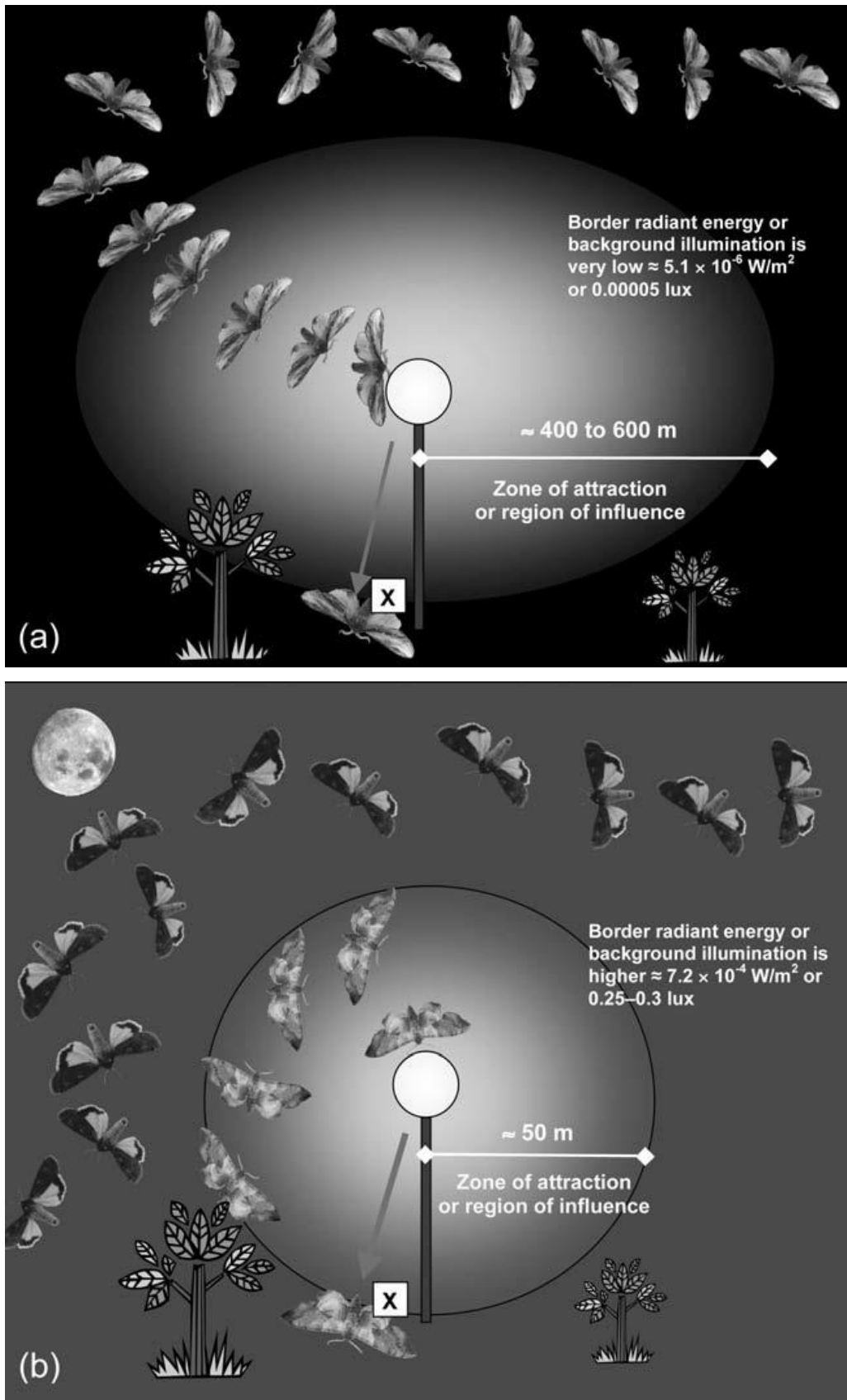
I Tyskland har en gjennom mange år skiftet ut gatelys med kvikksølv gass med lamper med høytrykks natrium lamper. I samme periode har antall lamper økt betraktelig, og flere forskere har vært bekymret for mulige negative konsekvenser av kunstig lys både for mennesker og natur, og spesielt for nattaktive insekter. Mange arter er viktige som pollinatorer for planter og inngår som viktige elementer i mange terrestre næringskjeder og økosystemer (se ref. i Eisenbeis 2006). Det har derfor vært reist spørsmål ved om overgangen fra kvikksølv til natrium i lampene, som har spart energi, kan ha påvirket nattaktive insekter.

Fox (2013) påpeker imidlertid at habitatendringer eller -ødeleggelser og klimaendringer sannsynligvis er de to viktigste årsakene til bestandsnedgangen for flere arter, mens det foreløpig er lite belegg for negative effekter på populasjonsnivå som følge av kjemisk forurensning, lysforurensning, invaderende arter eller direkte utnyttelse. Fox (2013) foreslår imidlertid flere områder for videre forskning for å kvantifisere effekten av bl.a. lysforurensning på nattsvermernes populasjonsdynamikk.

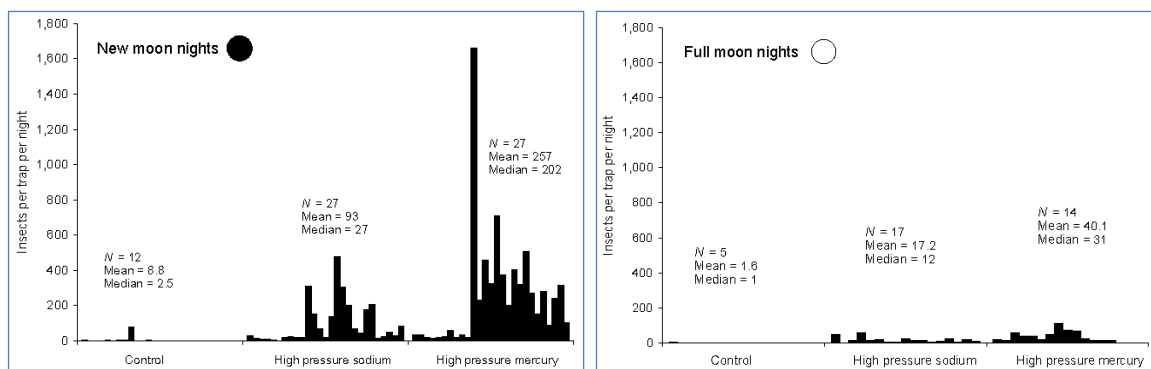
I lysfeller som skal fange insekter, brukes normalt insektenes egne lyskilder, men i et studium i Tyskland var lysfellene tilpasset å skulle imitere gatelys som lyskilder. Effektene av slike lyskilder på atferden til insekter rundt dem, og effektene av dem på diversiteten av insekter, er beskrevet av Eisenbeis (2006).



Figur 5.12. Tre viktige effekter på insekter i "nær"-sonen til kunstige lyskilder (se Eisenbeis 2006 for detaljer).



Figur 5.13. Tiltrekningszoner for insekter ved gatelys i (a) overskyet vær og (b) ved månelys fra klar himmel (fra Eisenbeis 2006).



Figur 5.14. Fangster av insekter ved gatelys i Tyskland ved nymåne og fullmåne (Eisenbeis 2006).

Davies et al. (2012) framhever at mens undersøkelser har vist at kunstig lys kan påvirke organismers atferd, reproduksjon og overlevelse, er det ingen som har reist spørsmålet om det kan forandre sammensetningen av samfunn. De viser for første gang at insektsamfunn påvirkes av nærhet til gatelys, uavhengig av tidspunkt på døgnet. Fem hovedgrupper av insekter bidro mest til forskjellene i samfunnsstrukturen, noe som resulterte i en økning av predatorer og åtselere i sterkt belyste samfunn. Deres resultater indikerer at endringer gatebelysningen kan endre miljøet på høyere nivåer enn tidligere antatt, noe som reiser spørsmål ved om det kan endre strukturer og funksjoner i økosystemer. De anbefaler derfor at videre studier ser på hvordan lysforurensning kan påvirke trofiske interaksjoner i kompliserte næringskjeder så vel som fysiologi, atferd og dødelighet for arter.

Byer produserer en betydelig økologisk lysforurensning (ØLF), men likevel er effekter av kunstig nattbelysning på biologiske samfunn og funksjoner i økosystemer ikke fullt ut kartlagt. Meyer et al. (2013) gjorde forsøk med akvatiske insekter med ulik grad av ØLF (lav, 0,1-0,5 lux, moderat, 0,6-2,0 lux, høy, 2,1-4,0 lux), der de økte lysnivåene eksperimentelt. Insektene responderte på økningen i lysintensiteten i betydelig grad. Tettheten av edderkopper ble redusert med 44 %, mens antall familier gikk ned med 16 %. Gjennomsnittlig kroppsstørrelse hos noen akvatiske insekter sank med 76 %, mens den økte med 309 % for terrestre leddyr. Meyer et al. (2013) konkluderte med at deres forsøk viste at kunstig lys kunne forandre samfunnsstruktur og økosystemfunksjoner i elver.

Sankthansorm

Sankthansorm (*Lampyrus noctiluca*) er en bille i familien lysbiller. Den kan sende ut et egetprodusert, intenst gulgrønt lys. Sankthansormer lyser på alle stadier, som larver, pupper og voksne (imago), men det er den voksne hunnen som har det kraftigste lyset. Fenomenet kalles bioluminescens. Sankthansormen finnes i eller nær skog. Ofte langs vassdrag. De er kvelds- og nattaktive. Hannen flyr på sensommeren og tiltrekkes gjerne av lyskilder som utelamper. Den kan også komme inn i hus, gjennom åpne vinduer. Hunnen er vingeløs og sitter i vegetasjonen. Den vingeløse hunnen sitter i vegetasjonen og frembringer et sterkere lys enn hannen. Hun sitter et stykke opp i gresset og vrir på bakkroppen slik at dens lys blir godt synlig. Hunnen bruker lyset til å tiltrekke seg hanner, siden hun ikke har vinger stoler hun derfor på at hun blir funnet.

En ny italiensk undersøkelse viser at lokaliteter hvor ildfluer (*Luciola italica*) ble observert, hadde langt lavere lysintensitet enn områder hvor den var fraværende (Picchi et al. 2013). En faktor som kunne bidra til at ildfluene klarte seg i noen områder, kunne være striper av trær langs elvebredden, som trolig bandt sammen flere mindre områder og slik fungerte som økologiske korridorer. Forfatterne peker på betydningen av nøye planlegging av nattbelysning langs stier i parker, slik at det lyser opp stien, men bevarer kantene som mørke habitater. Valg av lampety-

pe kan her være viktig, ettersom påvirkning av nattaktive dyr, f.eks. med gult lys, kan påvirke ildfluer negativt (Lloyd 2006, Rich & Longcore 2006).

Møkkbiller orienterer etter Melkeveien

Det har tidligere bare vært kjent at fugler (Mouritsen & Larsen 2001, Emlen 1970), seler (Mauck et al. 2008) og mennesker har vært i stand til å bruke stjerner for orientering når månen ikke har vært synlig på nattehimmelen (visuelle signaler fra himmellegemer). Afrikanske møkkabiller kan benytte seg av både sola, månen og polarisert lys fra atmosfæren for å bevege seg langs rette linjer (Byrne et al. 2003, Dacke et al. 2003, 2004, 2011). Helt nye eksperimenter med møkkabiller (Dacke et al. 2013) har vist at også de kan bruke stjerner, nærmere bestemt Melkeveien, på klare netter uten månelys. De mister imidlertid denne evnen på overskyete netter. En slik evne til å orientere seg etter slike visuelle signaler har en tidligere antatt kunne være mulig for vertebrater (Ferguson et al. 1965), edderkopper (Nørgaard 2005) og insekter (Dacke et al. 2011, Warrant & Dacke 2010), men det er aldri bevist. Funnene til Dacke et al. (2013) er det første tilfellet der en dokumenterer at insekter kan orientere seg etter skyer, og det første tilfelle der en dokumenterer at dyr kan bruke Melkeveien for å orientere seg, selv om de ikke nødvendigvis vil kunne skille mellom de enkelte stjernene. Det er mulig at fortsatte studier vil vise at denne egenskapen er videre utbredt i dyreverdenen enn det som er kjent til nå. Dette åpner for en hittil lite påaktet effekt av kunstig nattbelysning, dersom lysskjær fra urbane områder dimmer himmelen slik at det blir vanskeligere å se stjernehimmelen (en ny form for astronomisk lysforurensning?).

Nesten halvparten av alle norske møkkbiller er på rødlista pga at de er svært sårbare ovenfor miljøendringer. Mange arter har derfor gått sterkt tilbake de siste 100 år som følge av endringer i landbrukspraksis. Det er observert 69 koprofage arter (møkklevende, her definert som møkkbiller og stumpbiller) i Norge, hvor hele 13 av artene er betraktet som regionalt utryddet (RE) på rødlista, dvs. at 20 % av dette arts mangfoldet trolig har forsvunnet fra Norge. Av de 56 gjenværende koprofage artene, er 21 rødlistede (se Ødegaard et al. 2011). Dette er derfor en – av mange? – artsgrupper hvor effekter av lysforurensing bør vurderes, særlig med tanke på avbøtende tiltak, ettehverv som nye artsgrupper blir studert.

Løvsognonne

Hvitt lys er mer attraktivt for løvsognonne (*Lymantria dispar*) enn lys fra høytrykks natriumlamper. Skip som er infisert med egg av løvsognonne, utgjør en potensiell trussel for spredning av denne arten i Australia og New Zealand (MacLellan 2011). Denne arten finnes også i Mellom-Europa og Nord-Amerika, og er en stor skadegjører i løvskog (Walliner et al. 1995, Sharov et al. 2002), og den kan også medføre lokal utryddelse av andre arter (Wagner & Van Driesche 2010). Ved en overgang mot å bruke mer hvitt LED lys i eller nær havneområder kan en øke risikoen for uønsket spredning til nye områder (se MacLellan 2011).



Nord-Afrika, Den er innført til Nord-Amerika, der den er et alvorlig skadedyr. Den forekommer i det sørøstlige Sverige, men er ennå ikke funnet i Norge. Den opptrer noen ganger som immigrant og kan forventes å dukke opp i Norge også. Larven lever på løvtrær, men ved masseforekomster kan larvene spise alle mulige planter (Kilde: Artsdatabanken).

Løvsognonne kan forårsake store skade i løvskog. Den er utbredt i bl.a. Europa og

Barskognonne er utbredt i gran- og furuskogsområdene i lavlandet i Sør-Norge. Larven eter på baret både i ungskog og eldre bestander. Arten angriper også andre bartrær, som for eksempel lerk. Barskognonnen regnes i Europa som et av skogens verste skadedyr, men det er ikke

registrert masseangrep i Norge. I Sør-Sverige, Danmark og i Mellom-Europa har den opptrådt i store masser på både furu og gran. Grana dør som regel ved 50-80 % avnåling, mens furu lettere kan overleve 1 års fullstendig avnåling. Risikoen er stor for sekundærangrep av særlig barkbiller på trær som er svekket av angrep.

5.6 Planter

Fysiologisk respons hos planter på kunstig lys

Fysiologisk respons hos planter på kunstig nattbelysning er et komplisert område, om blir ikke grundig omtalt her. Men det må nevnes at det er en nøye sammenheng mellom vinterherdighet, daglengde og utetemperatur. For mye lys på høsten kan trolig redusere vinterherdigheten (og dermed dødeligheten) til planter.

Planter blir hele tiden utsatt for både biotiske og abiotiske signaler eller impulser fra omgivelsene. Biotiske impulser inkluderer patogener, angrep fra insekter, og beiting av større planteetere. Abiotiske signaler inkluderer temperaturendringer, endringer i vanntilgang, redusert næringstilgang, osmotisk stress og endringer i lysforhold. I det lange løp har plantene utviklet mekanismer for å oppdage og respondere på slike signaler. Briggs (2006) beskriver responser hos planter på lys, der kunstig lys utgjør en del av dette for mange arter. Briggs omtaler hvilke fotoreseptorer plantene har deres fysiologiske responser og vekst, og ikke andre effekter av kunstig lys som økologiske interaksjoner som f.eks. beiting og pollinering.

Fire typer fotoreseptorer

Til nå er det indentifisert fire forskjellige typer av fotoreseptorer, som påvirker en rekke fysiologiske og utviklingsmessige responser hos plantene. Briggs (2006) diskuterer hvorfor de har fotoreseptorer for rødt, nær-infrarødt og blått lys, hvorfor plantene har utviklet så mange fotoreseptorer. Et viktig spørsmål som følges opp av denne diskusjonen, er hvorfor det er så viktig for plantene å kunne måle daglengden i ulike miljøomgivelser, det være seg i toppen av trekroene med god lystilgang eller i skogbunnen med begrenset lystilgang og med andre bølglengdefrekvens som følge av filtrering ettersom lyset passerer andre planter eller bladverk på vei nedover.

Store og små frø

Mange responser vil opptre hos bare noen arter, og i varierende grad (se Briggs 2006). Små frø spirer f.eks. bare som respons på lys, mens spiring hos større frø er uavhengig av lystilgang. Små frø har svært begrensede næringsreserver og kan ikke spire uten å være sikker på å nå overflaten slik at bladverk kan utvikles.

Kortdags- og langdagsplanter

Det er et velkjent fenomen hos gartnere at det finnes kortdags- og langdagsplanter, som kan blomstre til forskjellig tid avhengig av lyset, og at de kan endre blomstringstidspunktet ved å manipulere med lysmengden. Hos noen arter kan en lysperiode på bare ett minutt midt i en lang natt være nok til å hindre blomstring. Men hvis denne lyspulsen blir etterfulgt av en lyspuls i et annet fargespekter, kan denne effekten oppheves.

Daglengden betyr mye for når plantene går inn i vinterhvilen hos mange busker og trær, bl.a. ved å miste bladene og produsere nye knopper, før de til slutt å produsere. Nye planter kan spire lenger utover høsten med økt lystilgang, noe som blir utnyttet i gartnerier, der en også har kontroll med temperaturen plantene vokser i. Utendørs kan imidlertid en forlenget vekstperiode som følge av kunstig lys, medføre problemer for frostskafer hvis de ikke rekker å gå inn i vinterhvilen før frosten kommer.

Lite kunnskap om effekter av kunstig lys

Kunnskap om hvordan kunstig lys kan påvirke vekstmønstre hos planter utendørs, mangler imidlertid nesten fullstendig (Briggs 2006). Utendørs kunstig lys kan også påvirke planter utenom spirestadiet. Selv om intensiteten av f.eks. gatelys er langt under det plantene opplever på

dagtid, kan det være nok til å øke fotosyntesen noe hos flere planter. En skal heller ikke se bort fra muligheten for at frø blir oppdaget og spist – og dermed kan medføre nedsatt reproduksjon



Figur 5.15. Gatebelysning i Trondheim høsten 2014. To trær som har gatebelysning omtrent midt i trekrona har fortsatt mye løv sittende på treet, mens treet mellom dem har mistet det

meste av bladene. Er dette tilfeldig – eller en effekt av lysforurensning vi har vært lite oppmerksom på tidligere? Foto: Arne Foillestad.

I et forsøk på å studere effekten av fire typer kunstig lys for flere typer av utendørs belysning, undersøkte Cathey & Campbell (1975a,b) effekten på en rekke arter for hver av disse lystypene på et bestemt lysnivå (om lag 10 lux). Blomstring ble utsatt hos flere kortdagsplanter, vegetativ vekst ble fremmet hos flere trær, mens blomstring ble fremskutt hos noen langdagsplanter. Noen arter viste imidlertid ingen effekter.

Det gjenstår fortsatt å bestemme på hvilket nivå kunstig lys vil ha en effekt. Noen erfaringer viser hvor lokalt effekter kan oppstå. Trær kan ha alle bladene sittende på den siden av treet som vender mot et gatelys, selv om de riktignok har mistet grønnfargen, mens de har falt av på den andre siden. Noen trær nær gatelys kan ha bladene på gjennom hele vinteren, mens trær lenger unna mister dem (se **figur 5.15**). Dette indikerer at lysmengden kan falle under en terskelverdi innenfor en avstand på bare noen få meter. Risikoen ved dette er at trærne kan bli utsatt for vinterforhold før de har inntatt vinterhvilen og fortsatt er fysiologisk aktive. Cathey & Campbell (1975b) rapporterte at trær som ble utsatt for belysning fra høytrykks natrium lamper hadde hurtig vekst sent på sesongen, men så opplevde alvorlig vinterdødelighet sammenlignet med trær som var skjermet for slik belysning. De noterte også at trær som opplevde slik forlenget vekst, også ble mer sensitive for skader fra forurensning.

Økotoner

Det mangler likevel faktisk kunnskap om hvilke lysmengder som skal til for å hindre planter fra å gå inn i vinterhvilen. Forskjellige økotoner av samme art kan også variere i deres lyssensitivitet, og hvordan de reagerer på korte lysglimt i løpet av natta.

Briggs (2006) konkluderer i sin gjennomgang av fysiologiske responser av kunstig belysning hos planter med at kunstig lys uten tvil kan påvirke planter. Det er imidlertid ikke så klart hvorvidt kunstig lys medfører korttids- eller langtidseffekter på de forskjellige planteartene. Forskningen har bare så vidt begynt på å ta fatt i de fysiologiske responsene hos planter som følge av kunstig lys, og hvilken følger dette kan få for plantene i deres naturlige miljø. Slike effekter kan gå på pollinering, der plantene ofte er avhengige av enkelte insektarter, beiting av store planteetere, og plantene som levested (verter) for andre arter. I tillegg til dette kan også ulike fysiologiske responser kanskje medføre endringer i plantenes konkurranseforhold, slik at plantesamfunnene på sikt kan endres som følge av kunstig belysning.

Kunstig lys kan medføre algeoppblomstring

For zooplankton i både marine og innlandsområder styrer mørket tidspunkt og dybde for deres vertikale vandringer (Lambert 1989). I løpet av dagen oppholder de seg så dypt at de har en sikkerhet i mørket mot predasjon. De stiger mot overflaten om natten for å beite på planteplankton. Selv månelys kan gi nok lys til å gjøre zooplanktonet mer utsatt for predatorer, slik at en del av zooplanktonet begrenser sin vertikale stigning ved fullmåne for å unngå predasjon (Kobervig 2009). Ved å tilføre opake farger til vannet (for militære formål, ugjennomsiktig, ugjennomtrengelig for lys), reduseres akvatisk plantevekst (U.S. Army Corps of Engineers 2012). Ved også endre atferden til zooplankton, kan de sammen potensielt føre til algeoppblomstringer nær belyste strender dersom det er nok næringsstoffer tilgjengelig (se mer om dette i The Royal Astronomical Society of Canada 2012).

Giftproduserende blågrønnalger

Rapporter om oppblomstring av cyanobakterier (giftproduserende blågrønnalger) i ferskvann er økende i mange land (Whitton & Potts 2000). Hos *Microcystis aeruginosa*, som produserer toksinet microcystin, er de to viktigste elementene for vekst og microcystinproduksjon lys og temperatur, mens andre viktige elementer er nitrogen, fosfor og fem sporstoffer (se Jensen 2014). Ved økning av lysintensiteten vil microcystinproduksjon øke opp til 30-40 µE og så flate ut ved høyere lysintensitet (Utkilen & Gjølme 1992, Wiedner et al. 2003, Gjølme et al. 2010). I Norge er de fleste oppblomstringer observert i den sørlige halvdel av landet, og det virker å være en sammenheng mellom områder hvor det drives intensivt jordbruk og oppblomstring av cyanobakterier (Folkehelseinstituttet 2003, Gjølme et al. 2010). Det er ikke undersøkt om dette kan være en relevant problemstilling for Åkersvika.

6 Forvaltningsmessige tiltak for å redusere nattlig lysforurensning

En lang rekke studier har dokumentert økologiske virkninger av lysforurensning. På tvers av mange artsgrupper er det bevis for at kunstig nattbelysning påvirker prosesser inkludert primærproduksjon, fordeling av nisjer, oppdage ressurser og naturlige fiender, og navigasjon. Effekter på populasjons- og økosystemnivå-prosesser som dødelighet, fekunditet, produksjon på samfunnsnivå, artssammensetning og trofiske interaksjoner er imidlertid langt mindre kjent. Studiene på slike prosesser er spredt på mange disipliner og i stor grad utført på høyere vertebrater og på økosystemer (Gaston et al. 2013).

Det er få vitenskapelig forsøk med avbøtende tiltak som kan redusere effektene av lysforurensning. Det er derimot en rekke bøker og rapporter om temaet, men disse er ikke gjennomgått i denne rapporten. Avsnittet om forvaltningsmessige tiltak bygger derfor vesentlig på Gaston et al. (2012), supplert med tiltak eller erfaringer fra andre kilder.

6.1 Forvaltningsmessige praktiske tiltak

Å opprettholde eller øke områder som er uten kunstig belysning, ser Gaston et al. (2012) som det så langt mest effektive alternativet for å redusere effekter av lysforurensning. Dette vil imidlertid ofte komme i konflikt med andre samfunnsmessige behov. Ved å begrense lysets varighet kan også utgiftene ved bruk av lys reduseres. Det er imidlertid lite sannsynlig at dette vil begrense effektene på nattaktive og skumringsaktive dyr, ettersom de viktigste periodene for belysning ofte er de samme som de dyrene er mest aktive i. Ved å redusere belysning av områder utenfor de man ønsker å belyse, kan man opprettholde en heterogenitet i ellers godt opplyste områder, som mange mobile dyr kan utnytte. Redusert lysintensitet kan redusere lysskjæret og arealet av områder med sterk og direkte belysning. En endring mot "hvitere" lys kan potensielt øke omfanget av økologiske effekter, ettersom områder blir belyst av lys med et videre spekter av bølgelengder,

Den kunstige nattbelysningen og det lysmiljøet den skaper vil endres i de kommende tiår med søken etter mer kostnadseffektive løsninger for gatebelysning, og med en økning i arealer med kunstig belysning. Å utvikle løsninger som kan redusere alvorlige økologiske effekter og balansere disse mot våre behov for lys, som for komfort og sikkerhet, estetiske ønsker, energiforbruk og karbonutslipp, er en betydelig utfordring i årene som kommer. Likevel, etter som både teknologi og kunnskap om økologiske effekter utvikles, er det potensielt mulig å identifisere adaptive løsninger som kan redusere disse konfliktene.

Lysforurensning nattetid kommer fra en rekke ulike lyskilder, inkludert gate- og veibelysning, reklameskilt, bygninger og kjøretøyer, og oljeplattformer og båter om en skal inkludere det marine områder. Av disse har gatebelysningen fått mest oppmerksomhet, ettersom den utgjør den mest varige, konsentrerte og intense belysningen i urbane områder (Gaston et al. 2012). Gate-lys alene bruker om lag 114 TWh globalt (International Energy Agency 2006). Likevel kan andre lyskilder, som de nevnt over, være lokalt viktige og ha en uforholdsmessig stor effekt på miljøet når de sender ut lys horisontalt.

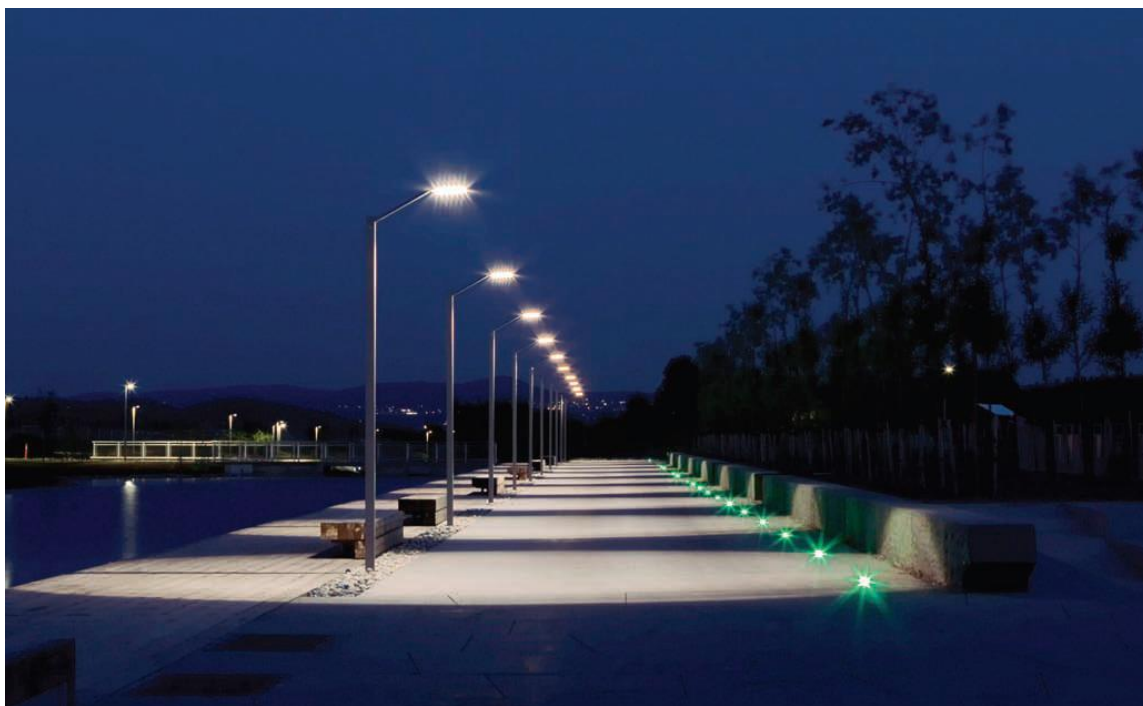
Gaston et al. (2012) har framsatt fem mulige forvaltningsmessige tiltak for å redusere lysforurensning nattetid:

- Beskytte områder fra å bli kunstig belyst
- Begrense varigheten av kunstig lys
- Begrense belysning av nærliggende områder som ikke er ment å bli belyst
- Endre lysintensiteten
- Endre fargesammensetningen av lyset

6.1.1 Beskytte områder fra å bli kunstig belyst

De enkleste måtene å redusere omfanget av nattlig lysforurensning på, er å unngå at nye områder blir belyst, begrense bruken av lyskilder, og/eller fjerne lyskilder der disse allerede er til stede. Dette er viktige tiltak å vurdere i forhold til vernede områder, som tross i at de skal beskyttes mot menneskelige aktiviteter og inngrep, likevel kan være utsatt for til dels omfattende lysforurensning (Aubrecht, Jaiteh & de Sherbinin 2010). Dette er også tilfelle for lysskjær, som kan påvirke naturmiljøet flere titall kilometer unna urbane områder (se Gaston et al. 2012). Det er av den grunn igangsatt flere overvåkingsprogrammer i nasjonalparker i USA for å undersøke omfanget og betydningen av problemet (f.eks. National Park Service 2007).

En mulighet for å begrense lyssetting av uønskede områder, er å endre designet på lyskildene slik at de ikke sprer lyset i uønsket retning (figur 6.1), der det kan skape problemer for arter med spesielle forvaltningsbehov (e.g. Reed, Sincok & Hailman 1985, Le Corre et al. 2002, Raine et al. 2007). Å begrense lysstrålene er også foreslått som et potensielt viktig tiltak for å redusere fuglekollisjoner ved fyrlykter (Jones & Francis 2003).



Figur 6.1. *Lyspunkter plassert på rekke, og på samme side av veien, gir brukeren et visuelt bilde av hvor veien går. Dette er også et eksempel på skjerming av lyset slik at det ikke gir direkte belysning av nærliggende vegetasjon (illustrasjon fra Samferdselsdepartementet m.fl. 2012, foto: Bjørbekk og Lindheim).*

6.1.2 Begrense varigheten av kunstig lys

I mange områder vil det hverken være praktisk eller ønskelig å fjerne lyskilder helt eller delvis (The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Innen økologisk forvaltning vil det derfor være bedre å vurdere om og hvordan en kan endre den nattlige lysforurensningen for å redusere dens (potensielle) innflytelse på det biologiske mangfoldet. Den enkleste løsningen er ifølge Gaston et al (2012) å forandre perioden med kunstig belysning. I økonomisk velutviklede regioner synes lysene ofte å stå på kontinuerlig mellom skumring og daggry. I andre regioner kan lyset ofte bli slått av på grunn av feil på strømmettet, på sen natt/tidlig morgen, og/eller ved mangelfull tilgang på elektrisitet, også der en er avhengig av lokale generatorer. De økologiske konsekvensene av å endre varigheten av belysningen nattetid er lite forstått, og utgjør et

fremtidig viktig forskningsområde. Likevel, med dagens kunnskap kunne lys ha blitt slått av eller dimmet i kritiske perioder hvor den biologiske aktiviteten er særlig stor eller viktig, som når mange arter beiter, hekker, sprer seg eller trekker. Slike perioder kan være sesongvise eller enkelte deler av natten.

Et problem ved en slik strategi, er at mange nattaktive dyr er mest aktive rundt skumringstidene morgen og kveld (f.eks. Weiss & Weissling 1994, Svensson, Rydell & Brown 1999, Jetz, Steffen & Linsenmair 2003, Moser et al. 2004), da behovet for lys er størst for mennesker. Redusert varighet av belysning utenom disse periodene har derfor mest sannsynlig bare en svak positiv eller nøytral effekt (se videre diskusjon av dette i Gaston et al. 2012).

Krav om mer energiøkonomisk belysning kan likevel medføre endringer i belysningen nattetid. I Devon (UK) vil mange byer ikke ha lys på mellom 00:30 og 05:30 (Devon County Council 2011), og slike endringer synes å bli mer og mer utbredt (Lockwood 2011). På samme vis blir lyset slått av på et stadig økende antall veier i UK (Highways Agency 2011). Slike mørkeperioder blir innført med forsiktighet og nøye vurdert, ut fra hensyn til økende kriminalitet og trafikk-sikkerhet. Flere steder diskuterer en også om en skal innføre "adaptiv" belysning, der lysnivået bestemmes som respons på bevegelser av folk og/eller biler (f.eks. E-Street 2007). Dette kan være aktuelt også for Norge, med mulighetene en i dag har for å aktivt styre lyset, slik at lysnivået økes når det er trafikk, ta i bruk teknologi for følgelys, hvor vegen f.eks. kan lyses opp f.eks. 200 meter foran bilen og 50 meter bak bilen og 50 meter foran en syklist/fotgjenger og 20 meter bak, og retningsstyre lyset dit hvor vi trenger det.

I Norge skiller vi oss fra mange land som har tatt opp problemene med lysforurensning, ved at vi i nord kan ha mindre behov for slike tiltak sommerstid med midnattssol, og ved at vi har en årstid som preges av snø og is som vil reflektere lyset til omgivelsene på en helt annen måte enn barmark.

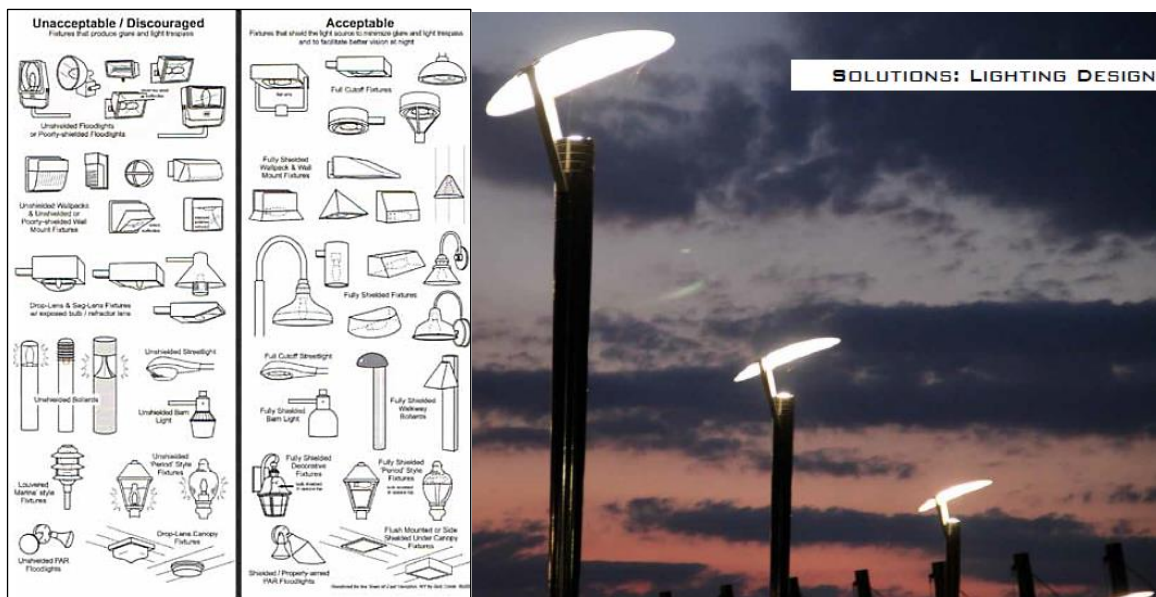
6.1.3 Begrense belysning av nærliggende områder som ikke er ment å bli belyst

Den nattlige lysforurensningen kan økes som følge av dårlig design på lyskildene (lampene), feil installering eller dårlig vedlikehold, som medfører belysning av områder utenfor området en ønsker å belyse. Dette medfører belysning i unødvendige og uønskede retninger. Gatebelysning skal som regel lyse opp veiens overflate, men dårlig utforming av belysningen kan medføre at en betydelig del av lyset går oppover eller horisontalt. Kommersiell belysning (som belyste reklameskilt) og lys på bygninger kan designes slik at en unngår horisontalt eller vertikalt lys, og dette gjelder også for det meste av lys fra kjøretøyer.

Andre muligheter for å redusere uønsket belysning av omgivelsene, er bygging av vegger eller andre strukturer eller beplantninger for å beskytte sensitive områder mot lys, og å bytte ut reflekterende flater med lysabsorberende materialer. Av andre muligheter som refereres av Gaston et al. (2012), kan nevnes større bruk, og mer effektive utforminger/design, av reflektorer som kan fokusere lyset og sende det dit det trengs.

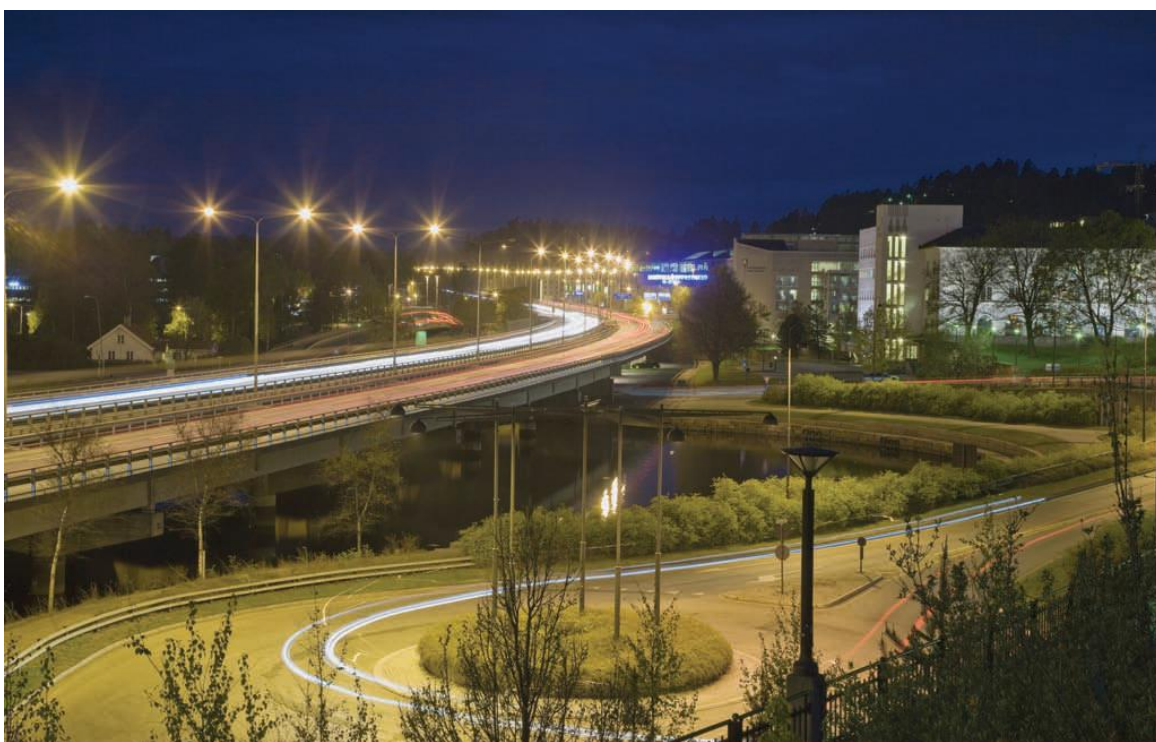
For å unngå uønsket belysning av strender, er det foreslått å bygge voller (Salmon et al. 1995) og lamper som er lagt ned i veilegemet (Bertolotti & Salmon 2005). Dette kan motvirke at eggleggende skilpaddehunner og senere de nyklekte ungene orienterer feil i nærheten av gatebelysning.

Det forventes en stadig økning i mange land av kunstig belysning, og dermed også en økning i belysning av både tidligere (svakt) belyste områder og områder uten slik belysning. Men, for begge områder synes det nå å være en økende oppmerksomhet om at dette er et kostbart tap av lys inn i områder der det ikke er ønsket. Dette vil sannsynligvis avstedkomme endringer i designet av lamper som kan bidra til å fordele, rette og spre belysningen. Ulike design kan variere svært mye med tanke på dette (International Energy Agency 2006). Se også figur 6.2.



Figur 6.2. Eksempler på gode og dårlige løsninger for ulike lampetyper (fra Sheppard 2011, etter DarkSkySociety.org).

I en økologisk sammenheng har endringer i lyskildene særlig vært favorisert i situasjoner der utilsiktet belysning har medført problemer for gitte arter eller av bevaringshensyn (f.eks. Reed, Sincoc & Hailman 1985, Le Corre et al. 2002, Raine et al. 2007).



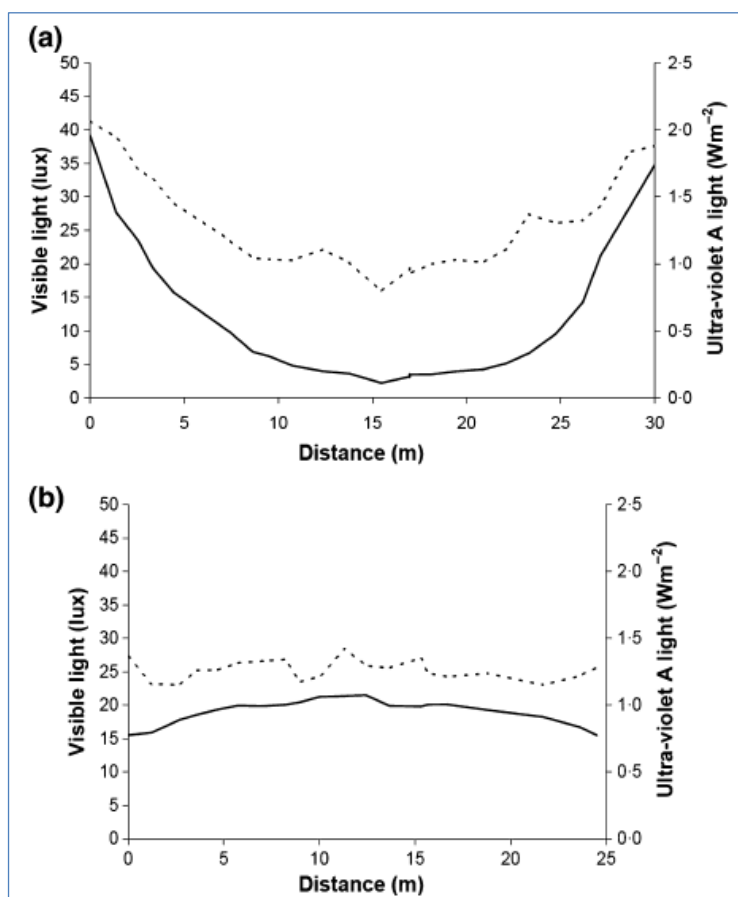
Figur 6.3. Illustrasjonsfoto av Sandvika (i Samferdselsdepartementet m.fl. 2012, foto: Halvor Gudim). Belysningen gir en visuell opplevelse av landskapet og bedre trafikksikkerhet, men det er neppe gjort undersøkelser av hvordan dette påvirker plante- og dyrelivet i de ulike habitattene i nærheten av veien. Her er det ingen skjerming mot uønsket belysning av nærliggende habitater.

6.1.4 Endre lysintensiteten

Nattlamper er designet for å tilfredsstille våre egne behov, vanligvis uten å ta hensyn til andre effekter (og ofte er de heller ikke optimalisert for vår bruk). Det er derfor et stort potensiale for å modifisere lyset de produserer for å finne bedre kompromisser. Den enkleste måten å gjøre dette på, er å redusere lysintensiteten.

Uten kunstig lys gir fullmåne med klar nattehimmel en lysstyrke på ca. 0,1-0,3 lux (Rich & Longcore 2006). Typisk gatebelysning gir en lysstyrke på gatenivå på mellom 10 og 60 lux, der intensiteten avtar bratt med avstanden til lyskilden (Figur 6.3 a).

Dette gir et svært heterogent lysmiljø, der veikanten karakteriseres av bratte gradienter i lysintensitet. Med god planlegging, kan utvikling av retningsbestemte LED lys gi et mye mer ensartet lysnivå (figur 6.3 b). Men, dette medfører også tap av mørke refugier mellom gatelysene (figur 6.3). Den potensielle betydningen av slike mørke flekker mellom lys, som f.eks. at de kan la lysskye dyr krysse belyste strekninger som veier eller stier, er lite studert. Kunstig nattbelysning er vist å ha økologiske effekter ved en rekke forskjellige lysintensiteter. Blomstring kan f.eks. bli både forsinket og fremskyndet, og vegetativ vekst kan øke for en lang rekke ornamentale plantearter ved ca. 10 lux (Cathey & Campbell 1975a,b). Det kan også initiere en tidligere start på sangaktiviteter hos fugler om morgenen, som hos vandretrøst (*Turdus migratorius*) ved <4 lux (Miller 2006). Nyttan av å redusere lysintensiteten for dyr i nærmiljøet vil i stor grad avhenge av dyrenes sensitivitet for lys (og tilsvarende for arter de lever sammen med). Dette henger nøye sammen med hvordan øyet er designet og dets størrelse. Insekter som har fasettøyne av superposisjonstypen, der flere fasetter utgjør en pupille, kan generelt se bedre i svakt lys enn de med fasettøyne av apposisjonstypen der hver fasett fasettene er optisk isolert (se tabell 2 i Gaston et al. 2012).



Figur 6.4. Variasjon i synlig (lux, hel linje) og ultra-fiolett (UVA, prikket linje) lys målt i horisontalplanet på bakkenivå i gravevokste veikanter som blir belyst av lamper med forskjellig design: (a) Metall halid lamper (8 m høye stolper og 30 m mellom lampene) og (b) retningsbestemte LED lamper (10 m høye og 25 m mellom lampene). Etter Gaston et al. (2012).

Menneskets syn er mye mindre sensitivt enn for mange andre arter rundt oss. Det er det minst sensitive (men mest nøyaktige) som er kjent blant dyr (Land & Nilsson 2002). I motsetning til dette har mange nattaktive dyr et synssystem utviklet for å fungere ved lave lysintensiteter. Primater har større andel tapper enn andre pattedyr, og fugler har enda større tetthet av tapper. Men selv disse er langt mindre effektive sammenliknet med mange arter som er aktive under lave lysintensiteter (se tabell 2 i Gaston et al. 2012). Som eksempler på dette, kan stor snabelsvermer (*Deiliphila elpenor*) skille mellom farger, inkludert UV, ved lysnivåer tilsvarende stjernelys, og en nattaktiv gekko (*Tarentola chezialiae*) kan skille farger ved lysnivåer tilsvarende svakt måneskinn (Kelber & Roth 2006). Så det å dempe kunstig lys innenfor de nivåene hvor vi fortsatt har tilstrekkelig synsevne, vil neppe eliminere noen effekter for synsevnen hos nattaktive dyr. Likevel kan demping av lys være positivt, fordi det vil begrense hvor langt lyset vil trenge utenfor det området det er ment å skulle belyse, og dermed øke størrelsen på mørke refugier. Det vil også redusere virkningen av gatelys på lysskjær.

Muligheten for å dempe lyset i noen områder (som langs veikanter) som er mindre brukt av mennesker, er diskutert og også implementert i noen planer (f.eks. Gloucestershire County Council 2011, Leicester County Council 2011). Men, dette kan ofte kreve en endring i lysteknologien som benyttes (International Energy Agency 2006). LPS lys, som er relativt energieffektive, er mest effektive når de lyser med høy intensitet gjennom hele mørkeperioden (The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Å redusere lysintensiteten og samtidig beholde gode forhold for det menneskelige øyet, kan bare være mulig der det er skiftet til LED eller andre dioder (solid-state lighting).

6.1.5 Endre fargesammensetningen av lyset

Lysstyrke eller intensitet er bare en viktig komponent av nattlig lysforurensning, en annen er fargesammensetningen av lyset. Forskjellige lyskilder kan gi kunstige lysmiljøer med svært ulik spektral sammensetning. Lamper som produserer lys gjennom varme (f.eks. hvitglødende, kvarts halogen) gir lys med topper nær infrarødt og høyere i det røde enn i det grønne og blå. Rødt og infrarødt er mest problematisk for planter. Gas discharge lamps (fluorescent, metal halide, high- and LPS) gir lys i en serie av smale bånd, mens LED lys har en eller flere topper på lyskurven, der toppene varierer mye mellom modeller (se Figur 3 i Gaston et al. 2012, etter Elvidge et al. 2010). Ved å endre lyskildene kan dermed fargesammensetningen i den nattlige lysforurensningen endres og med den dens økologiske effekter. Fargesammensetningen kan også endres ved å bruke innebygde filter i lampene.

Ulike arter kan skille seg vesentlig fra hverandre ved hvilke bølgelengder (farger) de er mest sensitive og responsive (Peitsch et al. 1992, Briscoe & Chittka 2001), og organismenes atferd kan avhenge av tilstedeværelsen av bestemte bølgelengder (Brunton & Majerus 1995, Hunt et al. 2001, Paul & Gwynn-Jones 2003, Lim & Li 2006a,b). Endringer i belysningens spektrale egenskaper kan derfor potensielt ha viktige følgevirkninger for organismenes atferd, artsinteraksjoner og følgelig også samfunnsstrukturen (Gaston et al. 2012). For eksempler på hvordan lysets sammensetning kan matche eller ikke matche ulike arters følsomhet for ulike farger, se figur 3 i Gaston et al. 2012).

Betydningen av fargesammensetningens effekter på det biologiske mangfoldet de neste årene, vil i stor grad kunne avhenge av videre utvikling av lyskildene. Metall halid lamper skiller ut mer UV lys enn LED, noe som gir dem et større potensiale til å påvirke insekter og fugler, evt. også amfidier og reptiler, som utnytter denne delen av fargeskalaen. Dagens LED teknologi for gatebelysning bruker en gul fosfor-coating for å endre monokromatisk blått lys til et bredspektralt lys, men det er potensiale for videre utvikling av LED lys som kan skape hvitt lys med god fargegjengivelse ved å blande farget lys fra tre eller flere monokromatiske LED kilder (Schubert & Kim 2005). Konklusjon så langt er at det er vanskelig å velge ut et spekter når artene reagerer så ulikt. Men trolig er oransje og gule farger best. Dette kan og bør undersøkes nærmere ved kontrollerte eksperimenter.

Lyytimäki et al. (2011) ser både på omfattende omlegging av hele transportsystemet i Finland, som omlegging av frakt fra vei til sjø eller jernbane, men også på enkle tiltak som kan redusere lysmengden. Det kan innebære å slå av unødvendige lamper og nøye styre lyset dit det skal for å få en ønsket effekt. Slike endringer innebærer ifølge Lyytimäki et al. (2011) mer en annen måte å tenke på enn store teknologiske endringer. Falchi et al. (2011) nevner tiltak som å justere eller tilpasse veibelysningen til trafikkmengde og værforhold, i stedet for å ha en konstant belysning, eller å justere lyset ut fra daglengden. Lysets fargesammensetning kan også være en viktig faktor for lysforurensing, som f.eks. ved i større grad å benytte natrium lamper som produserer mindre forstyrrende kortbølget (blått) lys.

Varsler fugler med UV-lys

I et pilotprosjekt på Smøla i 2014 skal forskere undersøke om ultrafiolett lys (UV-lys) kan redusere faren for at fugler kolliderer med vindturbiner i skumringen eller nattestid. Det kan være nye løsninger for å redusere faren for kollisjon ikke bare mellom fugler og vindturbiner, men også bygninger og andre konstruksjoner. Fugler ser et bredere fargespektrum enn mennesker, og oppfatter også UV-lys, som vi ikke gjør. Nå undersøkes i hvilken grad de endrer atferd og flygemønster. Dersom de styrer unna, kan det tolkes som et tegn på at tiltaket virker. Om UV-lysene har ønsket effekt, kan det være et aktuelt tiltak for å redusere fuglekollisjoner i vindparker. Neste steg kan da bli å konstruere et slags «UV-stengsel» som kan gjerde inn vindturbiner og installasjoner som representerer en fare for fugler (<http://www.statkraft.no/media/Nyheter/2014/Kan-UV-lys-redde-fuglene/>)

6.2 Helsemessige effekter

Det er publisert mye om helsemessige effekter av kunstig nattbelysning. Dette kan synes lite relevante for økologiske effekter, men gjennom studier av oss selv kan vi også bli oppmerksomme på effekter som kan gjelde i naturen - og vice versa.

Det foreligger en rekke studier av hvordan kunstig belysning kan ha helsemessige effekter både for oss selv og for andre organismer (Health Council of the Netherlands 2000). Forekomst av kreft settes således i sammenheng med både nattarbeid og kunstig nattbelysning, og kobles bl.a. mot endringer i melatonin syntesen (Megdal et al. 2005, Reiter et al. 2007, Stevens et al. 2009). Blinkende lys (flimring) er vist å ha uheldige effekter for mennesker (bl.a. hodepine og epilepsi, Wilkins al. 1989, Binnie et al. 1979 og Sandström et al. 1997).

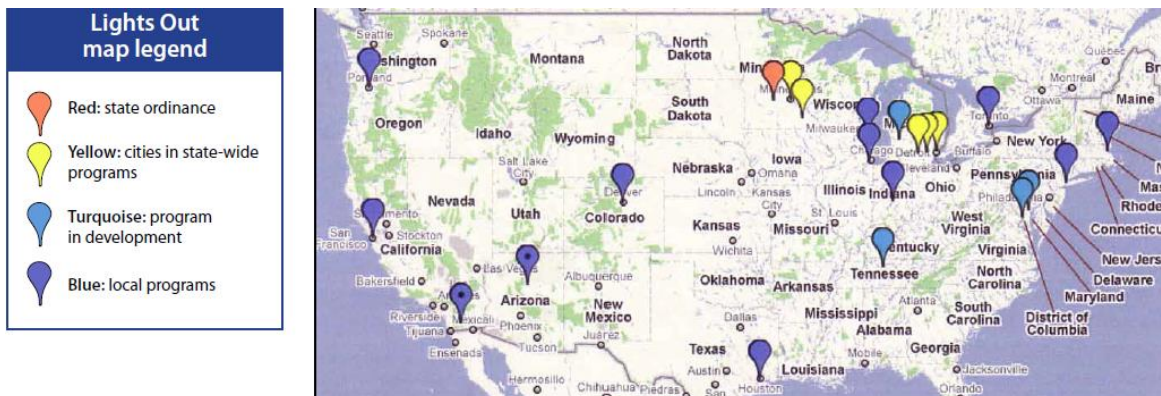
Det har ikke vært anledning til å gå nærmere inn på dette fagfeltet i denne utredningen, men det vil utvilsomt være en faktor som må vektlegges sammen med effekter på det biologiske mangfoldet, bl.a. som en følge av en stadig økning i forekomsten av kunstig nattbelysning og en stadig utvikling av nye lyskilder. Det kan ta tid før vi får kunnskap om hvilke effekter de vil ha for det biologiske mangfoldet, et mangfold som vi på mange måter er avhengige av, enten gjennom produksjon av mat, andre økosystemtjenester som rekreasjon m.m.

6.3 Lover og regler, lokale planer, veiledere

Skal en kunne gjøre noe med lysforurensningen, er det nødvendig med gjennomtenkte løsninger på problemet, som kan inkludere protokoller som kan redusere eller fjerne konsekvensene av kunstig lys på naturen (se Perry et al. 2008). Dette kan innebære at en slår av unødvendige lys, reduserer styrken på lyset, skjerner eller senker lamper, eller skaper naturlige lysbarrierer, som sanddyner eller beplantninger med trær, mellom lyskildene og viltområdene (Witherington & Martin 1996).

Et problem tilknyttet dette, er at mennesker ofte betrakter belyste områder som mer behagelig eller trygge (se Perry et al. 2008). Lys langs veier eller i parkområder blir ofte sett på som nødvendige av sikkerhetshensyn både for kjøretøyer og fotgjengere. Det kan derfor være en viss motstand eller motvilje mot å redusere lysmengden i urbane områder. Det er rom for mye

forskning på denne menneskelige dimensjonen av problemet, der slikt arbeid forhåpentligvis kan identifisere teknologiske løsninger som er fordelaktige for naturen og kan ha en bred aksept i befolkningen.



Figur 6.5. Fordeling av "Lights Out Programs" i Nord-Amerika (fra Sheppard 2011).

I en rekke land og stater i USA (figur 6.5) er det nå innført enten nye lover (bl.a. Frankrike og Tsjekkia), egne programmer, eller utarbeidet bøker/rapporter/veiledere for å redusere negative effekter av lysforurensning. Noen eksempler på dette er vist i figur 6.6. Dette er litteratur som ikke er gjennomgått i denne rapporten, men som kan være nyttig lesning når en skal utarbeide lysplaner for norske forhold. Dette gjelder ikke bare for gate- og veibelysning, men også for valg av asfalttype fir å unngå negative effekter av polarisert lys.



Figur 6.6. Eksempler på litteratur som indikerer at problemet med lysforurensning blir tatt svært alvorlig i mange land. Disse er ikke referert i denne rapporten. Departemental veileder i utendørs belysning

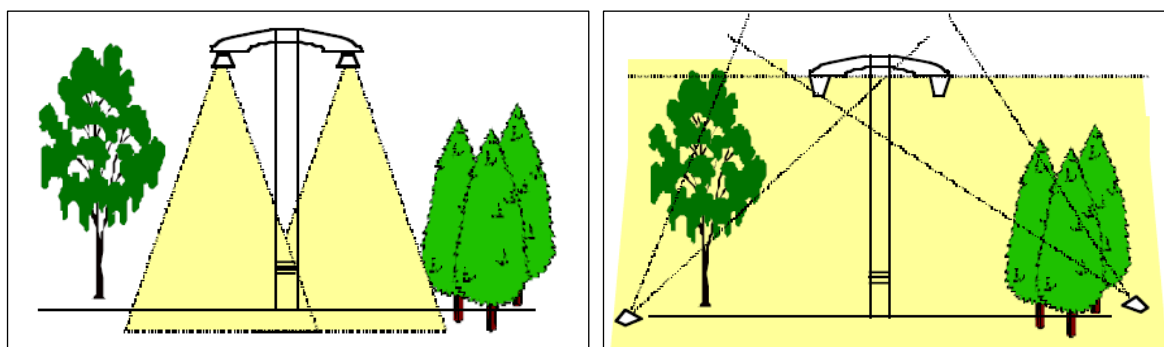


Tre departementer (Samferdselsdepartementet, Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet) har i fellesskap utgitt en veileder " Lys på stedet. Utendørsbelysning i byer og tettsteder" (Samferdselsdepartementet m.fl. 2012).

Målet for deres veileder har vært å vekke interesse for bruk av utendørsbelysning i utvikling av norske byer og tettsteder, og i energi- og klimaarbeid. Samtidig ønsker departementene å inspirere kommunene til å lage gode lysplaner og gjennomføre konkrete prosjekter. Gjennom helhetlig lysplanlegging vil kommunene kunne oppnå tre store gevinster: mer attraktive og trygge steder, redusert energiforbruk og klimautslipp, samt økonomiske besparelser.

En stor mangel ved denne veilederen, sett fra en biologs synsvinkel, er det er nesten fri for tanker om at slik utendørsbelysning kan ha betydelige effekter på biomangfoldet. Og da kan noen råd lett bli feil i forhold til anbefalinger fra biologisk ekspertise. Et eksempel på dette:

Chaney (2002) gir i figur 6.7 følgende skisser på hvordan belysning nær trær bør utformes:



Figur 6.7. T.v.: Beste lysdesign som med riktig lampetype vil gi nattbelysning med minimalt lysforurensning og effekter for trær. T.h.: Dårlig lysdesign der det benyttes uskjærmede lamper og oppover retta spot-lys. Selv ved nøye valg av lampetype for å minimalisere direkte effekter på trærne, vil de utsettes for unødvendig lysforurensning (Chaney 2002).

I en omtale i veilederen av belysning av rekreasjonsområder, er hensynet til naturen bare så vidt nevnt. Rekreasjonsområder er et vidt begrep som blant annet omfatter parker, lekeområder, løkker, naturområder, lysløyper, turstier og sportsarenaer. Lyssetting av slike uteområder er, ifølge veilederen, alltid en utfordring på grunn av balansen mellom tilrettelegging på den ene siden og naturopplevelser, bevaring av naturlandskapet og hensynet til dyre- og insektlivet på den andre. For eksempel vil overdreven lysbruk kunne føre til at det ikke er mulig å se stjernehimmelen. Utformingen av lysanlegget skal heller ikke være skjemmende for omgivelsene og for opplevelsen av naturen rundt.

Her vektlegger veilederen med andre ord at lysforurensning ikke skal virke skjemmende for oss eller begrense våre opplevelsesmuligheter av naturen rundt oss.

I veilederen (Samferdselsdepartementet m.fl. 2012) gis det således råd om lysdesign ut fra at vi skal føle oss trygge når vi beveger oss gjennom en park, se **figur 6.8** og **6.9**. Dette er det stikk motsatte av hva Chaney (2002) anbefaler.



Figur 6.8. En konvensjonell belyst park med stolpearmaturer kun langs gangveien inviterer ikke til videre bruk og den mørke vegetasjonen oppleves truende (fra Samferdselsdepartementet m.fl. 2012).



Figur 6.9. Trær og busker er romskapende elementer på dagtid, men på kveldstid er det viktig at disse er riktig belyst for å unngå å skape mørke og utrygge soner. Effektbelysning av trær er med på å stimulere og øke synbarheten. Spesielt ved inn- og utganger til parken er dette med på å skape økt orienteringsmulighet (fra Samferdselsdepartementet m.fl. 2012).

Egen veileder/håndbok om lysforurensning for norske forhold

International Dark-Sky Association (2014) påpeker at den generelle antakelsen at mer lys betyr bedre sikkerhet, er en myte. Alt som trengs er riktig mengde på rett sted til rett tid. Mer lys betyr bare bortkastet lys og energi.

Det kan dermed være betimelig å spørre om det bør utarbeides en tilsvarende norsk veileder, der man vektlegger hensynet til det biologiske mangfoldet ut fra våre forhold. Et godt argument for dette vil være at andre land ikke - så langt vi har sett til nå - har vurdert effekter eller avbøtende tiltak under vinterforhold med is og snødekke.

Veilederen som er omtalt over, anbefaler bl.a. at det utarbeides en prosjektskisse når et belyningsprosjekt skal planlegges, organiseres og gjennomføres. Dette kan gjøres på mange måter, men uansett valg av fremgangsmåte er det behov for bl.a. en tydelig rolle- og ansvarsfordeling samt tverrfaglig kompetanse. Veilederen gir også et forslag til en prosessbeskrivelse, med korte kommentarer til de forskjellige delprosessene.

I en slik prosess er det også viktig med god biologisk kompetanse og et godt faglig fundament som kan bidra til en utforming av nye belyningsprosjekter som på en god måte kan ivareta også hensyn til det biologiske mangfoldet. I mange tilfeller vil det sannsynligvis ikke være vanskelig å finne løsninger som ivaretar hensynet både til oss selv og naturen rundt oss, hvis dette kan gjøres på en tidlig fase i prosjektarbeidet.

6.4 Videre forskning på lysforurensning

Gaston et al. (2012) har i sin litteraturstudie trukket fram flere mulige avbøtende tiltak som kan anvendes av planleggere og lysingeniører for å unngå større økologiske effekter av kunstig nattbelysning, tiltak som ofte har klare fordeler også i forhold til energiforbruk, karbonutslipp og av estetiske hensyn. Fra både et estetisk og økologisk utgangspunkt vil det å opprettholde og øke naturlig ikke-belyste områder sannsynligvis være det mest effektive tiltaket. Selv om det vil være flere konflikter ved dette knyttet til andre menneskelige behov, og det ikke alltid har særlig stor effekt for mange dyr, kan begrensninger i belysning av områder skape en mørk ressurs som mobile dyr kan utnytte.

I Nederland er det nylig satt i gang flere kontrollerte feltforsøk for å studere effekter av lys med ulike spektra, som synes svært relevante for eventuelle oppfølgende studier i Norge (Spoelstra & Visser 2014^{*)}).

*) Denne er ikke lest, fra boka «Avian Urban Ecology».

Videre teknologisk utvikling av LED i form av både bølgelengder de sender ut, timing og intensitet, kan bety potensielt meget gode muligheter for å unngå skadelige effekter, når teknologien kobles mot en bedre forståelse av økologiske konsekvenser av lysforurensning.

For videre forskning på konsekvenser av kunstig lys, forslår Gaston et al. (2012) tre prioriterte oppgaver:

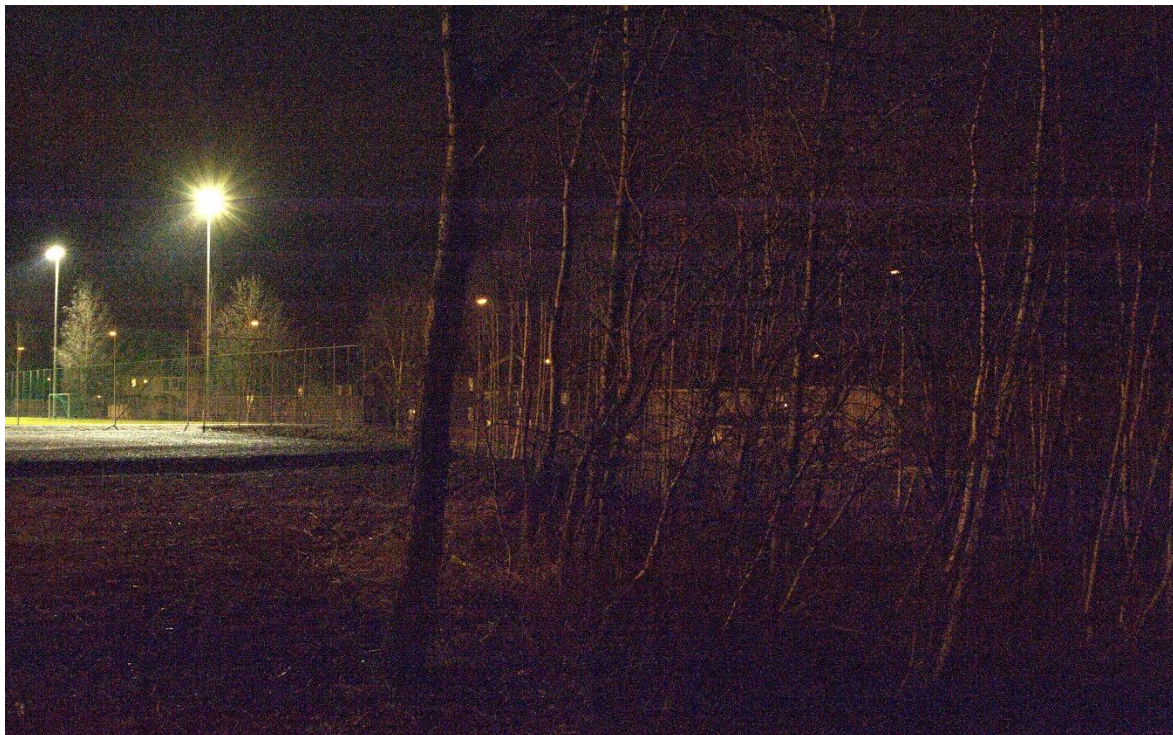
- Utvikling av metodikk for konsekvensanalyser av kunstig belysning. For å kunne gjøre dette, trenger vi en bedre forståelse av lysintensitet, spektra/fargesammensetning og periodisitet av kunstig lys, sammen med verktøy som lar oss modellere valg av belysning.
- Like viktig er at vi trenger mer systematisk økologisk forskning som kan forklare betydningen av en potensiell stor variasjon i belyningsmuligheter på organismer. Der det er mulig, bør studier av økologiske effekter av lysforurensning prøve å identifisere kritiske bølgelengder, grenseverdier i form av timing og varighet (sesong og tid på døgnet) og romlig utbredelse, som kan medføre effekter.
- Vi trenger også metoder og verktøy for bedre å kunne forstå våre sosiale og økonomiske behov for kunstig nattbelysning, slik at disse kan utvikles til en lavest mulig kostnad.

Vi vil igjen understreke betydningen av å gjøre undersøkelser under norske forhold. Dette gjelder særlig om vinteren med snø og is, som kan reflektere lys til omgivelsene på en helt annen måte enn ellers (Figur 6.10).

Gaston et al. (2012) peker også på at videre studier på økologiske effekter av lysforurensning må ta tak i viktige spørsmål, som

- I hvilken grad inngripen i naturlige lysregimer påvirker populasjons- og økosystemprosesser som dødelighet, fekunditet, artssammensetning og trofiske strukturer

- Hva er terskelverdiene for lysintensitet og varighet ved forskjellige bølgelengder for når kunstig belysning har en klar økologisk betydning, og
- Hvor store "mørkerefugier", der lysintensitet og varighet er under disse terskelverdiene, trenger vi for å kunne ivareta naturlige økologiske prosesser?



Figur 6.10. Lyskastere som ikke har skejring mot omgivelsene, kan belyse nærliggende områder. Utenfor vekstsesongen, etter at bladene er felt, kan lyset nå langt inn i skogbunnen. Med snø på bakken som vil reflektere lyset, kan belysningen bli sterkere. På kveldstid, etter at det er mørkt ellers, kan mange kråefugler være aktive på matsøk i dette området. Foto: O.Reitan.

6.5 Føre-var-prinsippet

Vi har sett hvordan lysforurensning kan påvirke en rekke organismer, særlig i urbane områder med flere forskjellige lyskilder, hvorav noen lyser hele døgnet. Det er rapportert om betydelig tilbakegang for mange arter, og det er grunn til å spørre seg om vi i dag over tid har fått utviklet egne bynære økosystemer med en overvekt av organismer som har evnet å tilpasse seg kunstig belysning. Hvis så, må vi ta hensyn til dette når nye lysplanen skal utarbeides, slik at nødvendige hensyn til naturen rundt oss kan bli ivaretatt på en best mulig måte.

En del studier har begynt å identifisere potensielle løsninger på problemet med kunstig belysningen, og problemer knyttet til dem, som forhåpentligvis vil være effektive og kunne innarbeides i standard praksis. Perry et al. (2012) anbefaler at forvaltere bruker føre-var-prinsippet og prøver å redusere konsekvensene uten å vente på at forskere skal bekrefte betydningen av dem for spesielle arter eller habitater. Det synes klart at den beste tilnærmingen for å ta vare på stedlige arter som blir berørt, er å tilbakeføre habitater så godt som det kan la seg gjøre til deres naturlige lysforhold, først og fremst ved å fjerne unødvendig lys og sørge for en god avskjerming av belysning som er nødvendig. Det er verdt å merke seg at flere virksomheter som har eksperimentert med å redusere belysningen, har spart inn igjen kostnadene ved lavere strømgninger (f.eks. International Dark Sky Association 2006: www.darksky.org/infoshts/pdf/is191.pdf).

Perry et al. (2012) bemerker at det er for tidlig til å dra omfattende konklusjoner og foreslå omfattende forvaltningsmessige anbefalinger, utenom å peke på et stort behov for ytterligere informasjon. Vi kan likevel framheve lysforurensning som et så potensielt alvorlig problem at den bør vurderes som en del av videre planlegging og forvaltningsbeslutninger som kan sikre bevaring av urbane områder. Perry et al. (2012) har hatt fokus på amfibier eller reptiler, men dette vil gjelde generelt, for alle organismer.

6.6 Lokale tiltak i Åkersvika

For Åkersvika vurderer Statens vegvesen tre alternativer for belysning av E6, enten standard belysning med lyktestolper, LED eller ingen belysning. Statens vegvesen har med denne rapporten ønsket å få et faglig grunnlag for kunne vurdere om valg av lys-alternativ har miljømessige konsekvenser, og hvilket alternativ som eventuelt er å foretrekke.

Denne rapporten viser at lysforurensning kan påvirke det biologiske mangfoldet på svært mange måter, men at det generelle kunnskapsgrunnlaget fortsatt er meget mangelfullt når det gjelder hvilke mekanismer som gjelder og effektene dette kan få for ulike arter og økologiske samfunn. Det har vist seg å være langt mer vitenskapelig dokumentasjon på effekter av lysforurensning enn forventet da arbeidet med rapporten startet. Det samme gjelder også bøker, rapporter og veiledninger som omtaler forvaltningsmessige aspekter ved problemet, inkludert forslag til avbøtende tiltak. Vurderingene av forslag til belysning for den nye E6 over Åkersvika må sees i lys av dette, og det som er beskrevet av naturverdier i Åkersvika naturreservat. Med sin status som Ramsar-område er det naturlig at fuglelivet tillegges vekt, men det skal på ingen måte utelukkes at andre organismer kan påvirkes i minst like stor grad av både veibelysning og lys fra biltrafikken. Utredningen av fiskefaunaen i Åkersvika har konkludert med at dette er et nøkkelhabitat for mange fiskearter i Mjøsa og våtmarksområdet brukes både til gyting og fødesøk. Generelt vurderes akvatiske systemer som spesielt sårbare for negative konsekvenser av kunstig lys.

I tråd med anbefalinger fra bl.a. Gaston et al. (2012), vil i utgangspunktet alternativet med ingen belysning være å foretrekke når veier krysser våtmarksområder. Dette vil ikke medføre konstant kunstig belysning for tiliggende områder, men dette alternativet må avveies mot trafikk-sikkerheten på veien. Alternativer kan være å dimme eller slå av lyset i perioder med lite trafikk, slik at dyr som bare vil krysse veien i nattemørke (evt. nærmer seg underganger som noen arter kan passere gjennom), kan få en mulighet for det. Her kan det være mulig å utvikle løsninger som innebærer at bare noe gatelys kan dimmes eller slukkes, der dette er mulig. Det er utviklet tekniske løsninger som gjør dette mulig.

Avskjerming av lys fra både belysning og trafikk kan gjøres ved å bygge skjermer langs veien. Det kan være mulig å kombinere dette med støyskjermer, men her må en nøye vurdere materialvalg og utforming for at de skal bli effektive også for lysforurensning. Det anbefales ikke å bruke glass eller hardplast i veggene uten at overflatene behandles eller gis en struktur som hindrer polarisering av lyset, eller som kan medføre kollisjoner med fugler som vil krysse veien i lav høyde og tror de har fri passasje. Kompakte vegger eller glass/plast med en ru overflate vil begrense utsikten for de som benytter seg av veien, men dette bør være en lav "kostnad" sammenliknet med nytteverdien for plante- og dyrelivet i området. Et alternativ kan være å bruke glass/plast langs deler av veien der dette kan være mulig ut fra naturhensyn. Faren med kollisjoner med fugler kan trolig reduseres ved å påføre flatene striper som gjør dem synlige for fugl, men er så smale at folk likevel vil oppleve naturen i Åkersvika, eller ved å belyse dem med UV-lys (jfr. forsøkene med UV-belysning av vindmøller på Smøla) for å gjøre dem synlige for fugler, men ikke for folk.

Det er også mulig å bygge lave skjermer og bruke lyskilder som er innbakt enten i vei/veikant eller i skjermene (jfr. tiltak for å begrense effekter av lysforurensning på strender for havskilpadder). Dette kan gi tilstrekkelig belysning av veien. Skilt m.m. kan gjerne få ekstra belysning, dersom den designes for å spre minst mulig lys til omgivelsene.

Skjermer kan utgjøre viktige barrierer for dyr som beveger seg langs bakken (f.eks. amfibier og reptiler, smågnagere), og det bør derfor vurderes om skjermene bør ha noe luft mot bakken. Det er mulig at dette ikke er en aktuell løsning for Åkersvika, der det alternativt kan bygges passasjer (rør) under veien (hvis dette er teknisk mulig nå), men det kan kanskje vurderes i andre sammenhenger.

Dersom insekter samles rundt lyskildene, kan dette utgjøre en god matkilde for flere dyr, bl.a. frosker og padder, fugler og små pattedyr. Dette kan medføre økt dødelighet for insektene og økt kollisjonsfrekvens for dyrene som tiltrekkes veien for å finne mat. En løsning for å redusere problemet med insektene som samles rundt gatelys, kan være å slå noen lys av og på med passende mellomrom (jfr. erfaringene med dette på oljeplattformer, der korte perioder med mørke får fugleflokkene som kretser rundt plattformen, til å løse seg opp og trekke videre), slik at insektene kan slippe fri fra lyskilden. Hvordan dette best kan gjøres i praksis, i forhold til hvor mange lamper som må monteres (for å opprettholde tilstrekkelig veibelysning når noen slås av) og hvilke frekvenser det bør være mellom på/av, bør prøves ut. Kanskje kan det være en mulighet for dette på deler av den nye E6.

Alternativet med standard belysning med lyktestolper vurderes å være det mest uheldige i forhold til effekter på biologisk mangfold, ettersom det kan være vanskelig å skjerme lyset tilstrekkelig mot omgivelsene. Et problem her vil være å fastslå hva som vil være "tilstrekkelig". En skal likevel ikke se bort fra at en viss belysning av omgivelsene kan være nyttig for noen fuglearter, som vadere og ender, som kan få bedre muligheter for å beite på de åpne områdene i en større del av døgnet. Dette kan imidlertid endre fordelingsmønsteret av fuglene i området, noe som kan bety at de både kan beite på mindre optimale områder og beite ned byttedyrene i disse områdene i større grad enn de ellers ville ha gjort.

Det er vanskelig på nåværende tidspunkt å gi klare råd i forhold til valg av lystype. Det har ikke vært tid til å gå gjennom og sammenstille de mange veilederne og bøkene som er skrevet med bla, forslag til avbøtende tiltak. En viktig årsak til dette er at ulike organismer er følsomme for lysforurensning i forskjellige deler av fargespekteret, slik at det må nøye vurderes hvilken lystype som vil være den optimale løsningen ut fra forholdene lokalt.

For å unngå negative effekter av lys som blir polarisert når det reflekteres fra både tørr og våt asfalt, særlig for å unngå at insekter "fanges" i en økologisk felle når de skal krysse veien, bør en nøye vurdere farge og struktur på asfalten som skal benyttes på den nye veien.

En klar anbefaling for fremtidige planer eller prosjekter som vurderer ulike former for lyssetting, enten det dreier seg om gater/veier, bygninger eller andre konstruksjoner, er å involvere biologisk ekspertise i prosjektgruppene, slik at hensynet til det biologiske mangfoldet kan ivaretas på en best mulig måte.

7 Litteratur

- Aarestrup, K., Nielsen, C. & Koed, A. 2002. Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. - *Hydrobiologia* 483: 95-102.
- Able, K.P. & Able, M.A. 1995. Interactions in the flexible orientation system of a migratory bird. - *Nature* 375: 230-232.
- Able, K.P. 1980. Mechanisms of orientation, navigation and homing. - In: *Animal Migration, Orientation and Navigation* (Ed. by S. Gauthreaux), pp. 283-373. New York: Academic Press.
- Alerstam, T. & Pettersson, S.-G. 1991. Orientation along great circles by migrating birds using a sun compass. *Journal of Theoretical Biology* 152: 191-202.
- Ali, M.A. & Klyne, M.A. 1985. *Vision in Vertebrates*. - New York, Plenum Press.
- Ali, M.A. 1959. The ocular structure, retinomotor and photo-behavioral responses of juvenile Pacific salmon. - *Canadian Journal of Zoology* 37: 965-996.
- Ashmore, M. R. 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. - *Plant, Cell and Environment* 28: 949-964.
- Aubrecht, C., Jaiteh, M. & de Sherbinin, A. 2010. Global Assessment of the Light Pollution Impact on Protected Areas. - www.ciesin.columbia.edu/publications.html.
- Audubon Minnesota 2010. *Bird-Safe Building Guidelines*. - 40 s.
- Autrum, H. 1950. Die Belichtungspotentiale und das Salen der Insekten. - *Z. Vergleich. Physiol.* 32: 176-227.
- Avery, D.H., Eder, D.N., Bolte, M.A., Hellekson, C.J., Dunner, D.L., Vitiello, M.V. & Prinz, P.N. 2001. Dawn simulation and bright light in the treatment of SAD: a controlled study. - *Biological Psychiatry* 50: 205-216.
- Baker, B.J. & Richardson, J.M.L. 2006. The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*. - *Can. J. Zool.* 84: 1528-1532. doi:10.1139/Z06-142.
- Bartness, T.J. & Goldman, B.D. 1989. Mammalian pineal melatonin: a clock for all seasons. - *Experientia* 45: 939-945.
- Bass, J. & Turek, F.W. 2005. Sleepless in America: a pathway to obesity and the metabolic syndrome? - *Arch. Intern. Med.* 165: 15-16.
- Battin, J. 2004. When good animals love bad habitats: Ecological traps and the conservation of animal populations. - *Conservation Biology* 18: 1482-1491.
- Bedrosian, T.A., Galan, A., Vaughn, C.A., Weil, Z.M. & Nelson, R.J. 2013. Light at night alters daily patterns of cortisol and clock proteins in female siberian hamsters. - *J. Endocrinol.* 25: 590-596.
- Beier, P. & McCullough, D.R. 1990. Factors influencing white-tailed deer activity patterns and habitat use. *Wildlife Monographs* 109: 1-51.
- Beier, P. 2006. Effects of artificial night lighting on terrestrial mammals. - In: Rich, C. & Longcore, T. 2006. *Ecological consequences of artificial night lighting*. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5.
- Ben-Yami, M., 1976. Fishing with light. - In: *FAO of the United Nations. Fishing News Books, Oxford*.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Kamouflering av kraftledning-er. Evaluering av økologiske og tekniske implikasjoner - NINA Rapport 878. 46 s.

- Binnie, C.D., de Korte, R.A. & Wisman, T. 1979. Fluorescent lighting and epilepsy. -*Epilepsia* 20: 725-727.
- Bird, B.L., Branch, L.C. & Miller, D.L. 2004. Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice. - *Conserv. Biol.* 18: 1435-1439.
- Black, A. 2005. Light induced seabird mortality on vessels operating in the Southern Ocean: incidents and mitigation measures. - *Antarctic Science* 17: 67-68.
- Boldogh, S., Dobrosi, D. & Samu, P. 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. - *Acta Chiropterologica* 9: 527-534.
- Bolshakov, C.V., Bulyuk, V.N., Sinelschikova, A.Y. & Vorotkov, M.V. 2013. Influence of the vertical light beam on numbers and flight trajectories of night-migrating songbirds. - *Avian Ecol. Behav.* 24: 35-49
- Bolund, P. & Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. - *Ecological Economics* 29: 293-301.
- Brandstätter, R. 2003. Encoding time of day and time of year by the avian circadian system. - *J. Neuroendocrinol* 15: 398-404.
- Bremset, G., Helland I.P. & Uglem, I. 2009. Konsekvenser av gruvevirksomhet i Engebøfjellet for laksefisk i Nausta, Grytelve og Stølselva. Temarapport i KU-program knyttet til planer om rutilutvinning ved Førdefjorden - NINA Rapport 416, 69 s
- Briggs, W.R. 2006. Physiology of plant responses to artificial lighting. I: Rich, C. & Longcore, T. 2006. *Ecological consequences of artificial night lighting*. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5.
- Briscoe, A.D. & Chittka, L. 2001. The evolution of color vision in insects. - *Annual Review of Entomology* 46: 471-510.
- Bruce-White, C. & Shardlow, M. 2011. *A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates*. - Buglife, Peterborough.
- Brunton, C.F.A. & Majerus, M.E.N. 1995. Ultraviolet colours in butterflies: intra- or inter-specific communication? - *Proceedings of the Royal Society B* 260: 199-204.
- Buchanan, B.W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. - *Anim. Behav.* 45: 893-899.
- Buchanan, B.W. 2006. Observed and potential effect of artificial night lighting on anuran amphibians. - In Rich, C. & Longcore, T. (eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Pp. 192-220. Island Press, Washington, DC.
- Byrne, M., Dacke, M., Nordström, P., Scholtz, C. & Warrant, E. 2003. Visual cues used by ball-rolling dung beetles for orientation. - *J. Comp. Physiol. A Neuroethol. Sens. Neural Behav. Physiol.* 189: 411-418.
- Case, T.J., D.T. Bolger & K. Petren. 1994. Invasions and competitive displacement among house geckos in the tropical Pacific. *Ecology* 75: 464-477.
- Cathey, H.M. & Campbell, L.E. 1975a. Effectiveness of five visionlighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 100: 65-71.
- Cathey, H.M. & Campbell, L.E. 1975b. Security lighting and its impact on the landscape. - *Journal of Arboriculture* 1: 181-187.
- Chamberlain, D.E., Cannon, A.R., Toms, M.P., Leech, D.I., Hatchwell, B.J. & Gaston, K.J. 2009. Avian productivity in urban landscapes: a review and meta-analysis. - *Ibis* 151: 1-18.
- Chaney, W.R. 2002. Does Night Lighting Harm Trees? - *Forestry and Natural Resources*, FNR-FAQ-17. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-faq-17.pdf>

- Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., 2001. The first World Atlas of the artificial night sky brightness. - *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 328: 689-707.
- Clark, C.W. & Levy, D.A. 1988. Diel vertical migrations by juvenile sockeye salmon and the antipredation window. - *American Naturalist* 131: 271-290.
- Cornelius, J.M., Boswell, T., Jenni-Eiermann, S. Breuner, C.W. & Ramenofsky, M. 2013. Contributions of endocrinology to the migration life history of birds. - *Gen. Comp. Endocrinol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.03.027>
- Cornell, E.A. & Hailman, J.P. 1984. Pupillary responses of two *Rana pipiens*-complex anuran species. - *Herpetologica* 40: 356-366.
- Dacke, M., Baird, E., Byrne, M., Scholtz, C.H. & Warrant, E.J. 2013. Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation. - *Current Biology* 23: 298-300.
- Dacke, M., Byrne, M.J., Baird, E., Scholtz, C.H. & Warrant, E.J. 2011. How dim is dim? Precision of the celestial compass in moonlight and sunlight. - *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 366: 697-702.
- Dacke, M., Byrne, M.J., Scholtz, C.H. & Warrant, E.J. 2004. Lunar orientation in a beetle. - *Proc. Biol. Sci.* 271: 361-365.
- Dacke, M., Nilsson, D.-E., Scholtz, C.H., Byrne, M. & Warrant, E.J. 2003. Animal behaviour: Insect orientation to polarized moonlight. - *Nature* 424: 33.
- Daly, M., Behrends, P.R., Wilson, M.I. & Jacobs, L.F. 1992. Behavioural modulation of predation risk: moonlight avoidance and crepuscular compensation in a nocturnal desert rodent, *Dipodomys merriami*. - *Animal Behaviour* 44: 1-9.
- Davidson, J., Svenning, M.A., Orell, P., Yoccoz, N., Dempson, J.B., Niemela, E., Klemetsen, A., Lamberg, A. & Erkinaro, J. 2005. Spatial and temporal migration of wild Atlantic salmon smolts determined from a video camera array in the sub-Arctic River Tana. - *Fisheries Research* 74: 210-222.
- Davidson, J.G., Plantalech Manel-la, N., Økland, F., Diserud, O.H., Thorstad, E.B., Finstad, B., Sivertsgård, R., McKinley, R.S. & Rikardsen, A.H. 2008. Changes in swimming depths of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts relative to light intensity.- *Journal of Fish Biology* 73: 1065-1074.
- Davies, T.W., Bennie, J. & Gaston, K.J. 2012. Street lighting changes the composition of invertebrate communities. - *Biology Letters* 8: 764-767.
- Davies, T.W., Bennie, J., Inger, R., de Ibarra, N.H. & Gaston, K.J. 2013. Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions? - *Global Change Biology* 19: 1417-1423.
- Davies, T.W., Duffy, J.P., Bennie, J. & Gaston, K.J. 2014. The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. - *Front Ecol. Environ.* 12: 347-355.
- Dawson, A., King, V.M., Bentley, G.E & Ball, G.F. 2001. Photoperiodic control of seasonality in birds. - *J. Biol. Rhythms* 16: 365-380.
- De Coensel, B., De Muer, T., Yperman, I. & Botteldooren, D. 2005. The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes. - *Appl. Acoust.* 66: 175-194.
- Derrickson, K.C. 1988. Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. - *Condor* 90: 592-606.
- Dominoni, D.M., Goymann, W., Helm, B. & Partecke, J. 2013b. Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): implications of city life for biological time-keeping of songbirds. - *Frontiers in Zoology* 10: 1-10.
- Dominoni, D.M., Quetting, M. & Partecke, J. 2013a. Artificial light at night advances avian reproductive physiology. - *Proc. Biol. Sci.* 280: 20123017.

- Downs NC, Beaton V, Guest J, Polanski J, Robinson SL, Racey PA (2003) The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. - *Biological Conservation*, 111, 247-252.
- Eisenbeis, G. & Hassel, F. 2000. Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen: eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens [Attraction of nocturnal insects to street lights: a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany)]. - *Natur und Landschaft* 75(4): 145-156.
- Eisenbeis, G. 2006. Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. I: Rich, C. & Longcore, T. 2006. Ecological consequences of artificial night lighting. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5.
- Ekenberg, L. 2002. Nedsläckning av bron skonar flyttfåglar. - Öresunds-fonden december 2002, http://www.oresundsfonden.m.se/under_ytan/UYdec02.pdf.
- Elvidge, C.D., Keith, D.M., Tuttle, B.T. & Baugh, K.E. 2010. Spectral identification of lighting type and character. - *Sensors* 10, 3961-3988.
- Emlen, S.T. 1970. Celestial rotation: its importance in the development of migratory orientation. - *Science* 170: 1198-1201.
- Emlen, S.T. 1975. Migration: orientation and navigation. - In: *Avian Biology*. Vol. 5 (Ed. by D. S. Farner & J. R. King), pp. 129-219. New York: Academic Press.
- Emmons, L. H., Sherman, P., Bolster, D., Goldizen, A. & Terborgh, J. 1989. Ocelot behavior in moonlight. - Pages 233-242 in K. H. Redford & J. F. Eisenberg (eds.), *Advances in neotropical mammalogy*. Sandhill Crane Press, Gainesville, Florida.
- Endler, J.A. 1987. Predation, light intensity and courtship behaviour in *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae). - *Animal Behaviour* 35: 1376-1385.
- Evans, D.M. 1994. Observations on the spawning behaviour of male and female adult sea trout, *Salmo trutta* L., using radio-telemetry. - *Fisheries Management and Ecology* 1: 91-105.
- Evans, J.A., Elliott, J.A. & Gorman, M.R. 2007a. Circadian effects of light no brighter than moonlight. - *Journal of Biological Rhythms* 22: 356-367.
- Evans, K.L., Gaston, K.J., Frantz, A.C., Simeoni, M., Sharp, S.P., McGowan, A., Dawson, D.A., Walasz, K., Partecke, J., Burke, T. et al. 2009. Independent colonization of multiple urban centres by a formerly forest specialist bird species. - *Proc. Biol. Sci.* 276: 2403-2410.
- Evans, W.R., Akashi, Y., Altman, N.S. & Manville, A.M. 2007. Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. - *North American Birds* 60: 476-488.
- Fain, G.L., Matthews, H.R., Cornwall, M.C. & Koutalos, Y. 2001. Adaptation in vertebrate photoreceptors. - *Physiol. Rev.* 81: 117-151. PMID:11152756.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C.D., Keith, D.M. & Haim, A. 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. - *J. Environ. Manage.* 92: 2714-2722.
- Ferguson, D.E., Landreth, H.F. & Turnipseed, M.R. 1965. Astronomical orientation of the southern cricket frog, *Acris gryllus*. - *Copeia* 1: 58-66.
- FinnRA 2006. Tievalaistuksen Toimintalinjat. - Tiehallinto, Helsinki, 12 pp.
- Folkehelseinstituttet 2003. "Algegifter" i ferskvann. - <http://www.fhi.no/artikler/?id=27904>
- Follestad, A. 2012. Innspill til forvaltningsplaner for Lista- og Jærstrendene: Kunnskapsoversikt over effekter av forstyrrelser på fugler - NINA Rapport 851. 45 s.
- Follestad, A., Aarrestad, P.A., Myklebost, H. & Reitan, O. 2013. Naturtypekartlegging og forekomst av fugler i Brekstadfjæra, Innstrandfjæra og Neslandfjæra i Ørland og Bjugn kommuner. - NINA Rapport 1004. 71 s.

- Formann, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T. & Winter, T.C. 2002. *Road Ecology: Science and Solutions*. – Island Press, Washington. 481 s
- Foster, R.G. & Kreitzmann, L. 2004. *Rhythms of Life: The Biological Clocks That Control the Daily Lives of Every Living Thing*. - New Haven, CT, USA, Yale University Press.
- Foster, R.G. & Provencio, I. 1999. The regulation of vertebrate biological clocks by light. - Pages 223-243 in Archer, S.N., Djamgoz, M.B.A., Loew, E.R., Partridge, J.C. & Vallerga, S. (eds.), *Adaptive mechanisms in the ecology of vision*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Fox, R. 2013. The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes. - *Insect Conservation and Diversity* 6: 5-19.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H. & Gaston, K.J. 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. - *Biology letters* 3: 390-394.
- Fuller, R.A., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2007. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. - *Biol. Lett.* 3: 368-370.
- Gaddy, J.R., Rollag, M.D. & Brainard, G.C. 1993. Pupil size regulation of threshold of light-induced melatonin suppression. - *J Clin Endocrine Metab*, 77: 1398-1401.
- Gal, G., Loew, E.R., Rudstam, L.G. & Mohammadian, A.M. 1999. Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 311-322.
- Gallaway, T, Olsen, R.N. & Mitchell, D.M. 2010. The economics of global light pollution. - *Ecological Economics* 69: 658-665.
- Gaston, K.J., Bennie, J., Davies, T.W. & Hopkins, J. 2013. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. - *Biol. Rev.* 88: 912-927.
- 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.
- Gauthreaux, S.A. Jr. & Belser, C.G. 2006. Effects of artificial night lighting on migrating birds. In: Rich, C. & Longcore, T. (eds.) *Ecological consequences of artificial night lighting*. - Island Press, Washington, Covelo, London: 67-93.
- Gehring, J., Kerlinger, P. & Manville, A.M. 2009. Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. - *Ecol. Appl.* 19: 505-514.
- Gerrish, G.A., Morin, J.G., Rivers, T.J. & Patrawala, Z. 2009. Darkness as an ecological resource: the role of light in partitioning the nocturnal niche. *Oecologia* 160: 525-536.
- Gjølme, N., Krogh, T. & Utkilen, H. 2010. Cyanobakterier (blågrønnalger). Oppblomstring og toksinproduksjon. - Rapport 2010-4. 58 s., Nasjonalt folkehelseinstitutt.
- Goretti, E., Coletti, X., Di Veroli, A., Di Giulio, A.M. & Gaino, E. 2011. Artificial light device for attracting pestiferous chironomids (Diptera): a case study at Lake Trasimeno (Central Italy). - *Italian Journal of Zoology* 78: 336-342.
- Greives, T.J., Kingma, S.A., Beltrami, G. & Hau, M. 2012. Melatonin delays clutch initiation in a wild songbird. - *Biol. Lett.* 8: 330-332.
- Hageberg, H. 2014. *Naturområder i byen - påvirkning fra tilgrensende boligområder*. - Masteroppgave ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for naturforvaltning.
- Halle, S. & Stenseth, N. C. (eds.). 2000. *Activity patterns in small mammals: an ecological approach*. - *Ecological Studies*, 141. Springer, Berlin.
- Hansen, L.P. & Jonsson, B. 1985. Downstream migration of hatchery-reared smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the river Imsa, Norway. - *Aquaculture* 45: 237-248.

- Hardiman, J.M., Johnson, B.M. & Martinez, P.J. 2004. Predators influence distribution of young-of-year kokanee in a Colorado reservoir. - *Transactions of the American Fisheries Society* 133: 1366-1378.
- Hartstack, A.W. Jr., Hollingsworth, J.P. & Lindquist, D.A. 1968. A technique for measuring trapping efficiency of electric insect traps. - *Journal of Economic Entomology* 61: 546-552.
- Haymes, G.T., Patrick, P.H. & Onisto, L.J. 1984. Attraction of fish to mercury vapour light and its application in a generating station forebay. - *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 69: 867-876.
- Health Council of the Netherlands 2000. Impact of Outdoor Lighting on Man and Nature. - Publication No. 2000/25E. Health Council of the Netherlands, The Hague.
- Heiling, A.M. 1999. Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light? - *Behav. Ecol. Sociobiol.* 46: 43-49.
- Helm, B. 2009. Geographically distinct reproductive schedules in a changing world: costly implications in captive Stonechats. *Integrative and Comparative Biology*, 49, 563-579.
- Helm, B., Ben-Shlomo, R., Sheriff, M.J., Hut, R.A., Foster, R., Barnes, B.M. & Dominoni, D.M. 2013. Annual rhythms that underlie phenology: biological time-keeping meets environmental change. - *Proc. Biol. Sci.* 280: 20130016.
- Helm, B., Gwinner, E., Koolhaas, A., Battley, P., Schwabl, I., Dekinga, A. & Piersma, T. 2012. Avian migration: temporal multitasking and a case study of melatonin cycles in waders. - *Prog Brain Res.* 199: 457-79. doi: 10.1016/B978-0-444-59427-3.00026-5.
- Helm, B., Schwabl, I. & Gwinner, E. 2009. Circannual basis of geographically distinct bird schedules. *Journal of Experimental Biology*, 212, 1259-1269.
- Hoar, W.S. 1958. The evolution of migratory behaviour among juvenile salmon of the genus *Oncorhynchus*. - *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 15: 391-428.
- Horváth, G., Kriska, G., Malik, P. & Robertson, B. 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. - *Front Ecol. Environ.* 7: 317-325.
- Howell, J.C., Laskey, A.R. & Tanner, J.T. 1954. Bird mortality at airport ceilometers. - *Wilson Bulletin* 66: 207-215.
- Hunt, S., Cuthill, I.C., Bennett, A.T.D. & Griffiths, R. 1999. Preferences for ultraviolet partners in the blue tit. - *Animal Behaviour* 58: 809-815.
- Huseynov, R. 2010. Noise and light pollution. - Report to the Committee on the Environment, Agricultural and Local and Regional Affairs, Council of Europe, Strasbourg.
- Hölker, F., Moss, T., Griefahn, B., Kloas, W., Voigt, C.C., Henckel, D., Hänel, A., Kappeler, P.M., Völker, S., Schwöpe, A., Franke, S., Uhrlandt, D., Fischer, J., Klenke, R., Wolter, C. & Tockner, K. 2010a. The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. - *Ecol. Soc.* 15: 13, Available on: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art13/> (last access 10/06/2011).
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E.K., Tockner, K. 2010b. Light pollution as a biodiversity threat. - *Trends Ecol. Evol.* 25: 681-682.
- Inger, R., Bennie, J., Davies, T.W. & Gaston, K.J. 2014. Potential biological and ecological effects of flickering artificial light. - *PLoS ONE* 9(5): 1-11. e98631. doi:10.1371/journal.pone.0098631.
- International Dark-Sky Association 2010. Visibility, Environmental and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting. - <http://docs.darksky.org/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper.pdf>. Sjekk denne!

- International Dark-Sky Association 2014. Simple Guidelines for Lighting Regulations for Small Communities, Urban Neighborhoods, and Subdivisions. - <http://www.darksky.org/lighting-codes/simple-guidelines-to-lighting-regulations>.
- International Energy Agency 2006. Light's Labour's Lost: Policies for Energy-Efficient Lighting. - International Energy Agency, Paris
- Jenssen, M.P. 2014. Effektene av ulik lysintensitet og nitratkonsentrasjon på vekst og microcystinkonsentrasjon hos *Microcystis aeruginosa*. - Masteroppgave ved Høgskolen i Telemark, Institutt for natur-, helse- og miljøvern, 33 s.
- Jetz, W., Steffen, J. & Linsenmair, K.E. 2003. Effects of light and prey availability on nocturnal, lunar and seasonal activity of tropical nightjars. - *Oikos* 103: 627-639.
- Jones, G. & Rydell, J. 1994. Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. - *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 346: 445-455.
- Jones, J. & Francis, C.M. 2003. The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. - *J. Avian Biol.* 34: 328-333.
- Jonsson, D.K., Johansson, J., 2006. Indirect effects to include in strategic environmental assessments of transport infrastructure investments. - *Transp. Rev.* 26: 151-166.
- Kantermann, T., Juda, M., Vetter, C. & Roenneberg, T. 2010. Shift-work research: Where do we stand, where should we go? - *Sleep Biol. Rhythms* 8: 95-105.
- Kelber, A. & Roth, L.S.V. 2006. Nocturnal colour vision - not as rare as we might think. - *Journal of Experimental Biology* 209: 761-788.
- Kempenaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E. & Valcu, M. 2010. Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. - *Curr. Biol.* 20: 1735-1739.
- Kobervig, C.P. 2009. Zooplankton of the Fringing Reef: Substrate Preference of Demersal Zooplankton. - *Non Demersal Zooplankton in the Fringing Reef Environment, and the Effects of the Lunar Cycle on Zooplankton Abundance*, Student Research Papers, UCB Moorea Class: Biology and Geomorphology of Tropical Islands, Berkeley Natural History Museum, UC Berkeley.
- Kolligs, D. 2000. Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera) [Ecological effects of artificial light sources on nocturnally active insects, in particular on moths (Lepidoptera)]. - *Faunistisch-Ökologische Mitteilungen Supplement* 28: 1-136.
- Kotler, B.P. 1984. Effects of illumination on the rate of resource harvesting in a community of desert rodents. - *American Midland Naturalist* 111: 383-389.
- Krames, M.R., Shchekin, O.B., Mueller-Mach, R., Mueller, G.O., Zhou, L., Harbers, H. & Craford, M.G. 2007. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. - *IEEE/OSA Journal of Display Technology* 3: 160-175.
- Lambert, W. 1989. The Adaptive Significance of Diel Vertical Migration of Zooplankton. - *Functional Ecology* 3: 21-27.
- Land, M.F. & Nilsson, D.-E. 2002. *Animal Eyes*. - Oxford University Press, Oxford.
- Land, M.F. 1969. Structure of the retinae of the principal eyes of jumping spiders Salticidae: Dendryphantinae in relation to visual optics. - *Journal of Experimental Biology* 51: 443-470.
- Larinier, M. & Boyer-Bernard, S. 1991a. Downstream migration of smolts and effectiveness of a fish bypass structure at Halsou hydroelectric powerhouse on the Nive River. - *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 321: 2-92.

- Larinier, M. & Boyer-Bernard, S. 1991b. Smolts downstream migration at Poutès Dam on the Allier River: use of mercury lights to increase the efficiency of a fish bypass structure. - *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 323: 129-148.
- Le Corre, M., Ollivier, A., Ribes, S. & Jouventin, P. 2002. Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Reunion Island (Indian Ocean). - *Biol. Conserv* 105: 93-102.
- Le Tallec, T., M. Perret & M. Théry 2013. Light pollution modifies the expression of daily rhythms and behavior patterns in a nocturnal primate. - *PLoS ONE* 8:e79250.
- Lewanzik, D. & Voigt, C.C. 2014. Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. - *Journal of Applied Ecology* 51: 388-394.
- Lim, M. & Li, D. 2006a. Behavioural evidence of UV sensitivity in jumping spiders Araneae: Salticidae. - *Journal of Comparative Physiology A* 192: 871-878.
- Lim, M.L.M. & Li, D. 2006b. Extreme ultraviolet sexual dimorphism in jumping spiders Araneae: Salticidae. - *Biological Journal of the Linnean Society* 89: 397-406.
- Lockwood, R. 2011. A Review of Local Authority Road Lighting Initiatives Aimed at Reducing Costs, Carbon Emissions and Light Pollution. - Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
- Long, K.D. & Rosenqvist, G. 1998. Changes in male guppy courting distance in response to a fluctuating light environment. - *Behavioral Ecology and Sociobiology* 44: 77-83.
- Longcore, T. & Rich, C. 2004. Ecological light pollution. - *Front. Ecol. Environ.* 2: 191-198.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux, S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville, A.M., Travis, E.R. & Drake, D. 2012. An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada. - *PLoS One*. 7(4): e34025. doi: 10.1371/journal.pone.0034025.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux, S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville, A.M., Travis, E.R. & Drake, D. 2013. Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? - *Biol. Conserv.* 158: 410-419.
- Lorentsen, S.-H. & Follestad, A. 2014. Effekter av forstyrrelse på kolonihekkende fugl og effekter av avbøtende tiltak - en litteraturstudie. - NINA Rapport 1033. 37 s.
- Lorne, J. K. & Salmon, M. 2007. Effects of exposure to artificial lighting on orientation of hatchling sea turtles on the beach and in the ocean. - *Endangered Species Research* 3: 23-30.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2012. Direct human-caused mortality of birds: improving quantification of magnitude and assessment of population impact. - *Front. Ecol. Environ.* 10: 357-364.
- Lythgoe, J.N., 1979. *The Ecology of Vision*. - Clarendon Press, Oxford.
- Lyytimäki, J. 2013. Nature's nocturnal services: Light pollution as a non-recognised challenge for ecosystem services research and management. - *Ecosystem Services* 3: e44-e48
- Lyytimäki, J., Tapiob, P. & Assmutha, T. 2011. Unawareness in environmental protection: The case of light pollution from traffic. - *Land Use Policy* 29: 598-604.
- MacLellan, R. 2011. Gypsy moth surveillance in New Zealand. - *Surveillance* 38: 49-50.
- Malik, P., Hegedüs, R., Kriska, G., Åkesson, S., Robertson, B. & Horváth, G. 2010. Asphalt Surfaces as Ecological Traps for Water-Seeking Polarotactic Insects: How can the Polarized Light Pollution of Asphalt Surfaces be Reduced? - Eötvös University, Budapest, Hungary.
- Marchesan, M., Spoto, M., Verginella, L. & Ferrero, E.A. 2005. Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. - *Fisheries Research* 73: 171-185.

- Marquenie, J. M. & Van de Laar, F. 2004. Protecting migrating birds from offshore production. Shell E&P Newsletter, January 2004.
- Mauck, B., Gläser, N., Schlosser, W. & Dehnhardt, G. 2008. Harbour seals (*Phoca vitulina*) can steer by the stars. - *Anim. Cogn.* 11: 715-718.
- Mazur, M.M. & Beauchamp, D.A. 2006. Linking piscivory to spatial-temporal distributions of pelagic prey fishes with a visual foraging model. - *Journal of Fish Biology* 69: 151-175.
- McComb, D.M., Tamara, D.M., Frank, T.M., Hueter, R.E. & Kajiura, S.M. 2010. Temporal resolution and spectral sensitivity of the visual system of three coastal shark species from different light environments. - *Physio Biochem Zool* 83: 299-307.
- McFarlane, R.W. 1963. Disorientation of loggerhead hatchlings by artificial road lighting. - *Copeia* 1963, 153.
- Megdal, S.P., Kroenke, C.H., Laden, F., Pukkala, E. & Schernhammer, E.S. 2005. Night work and breast cancer risk: a systematic review and meta-analysis. - *European Journal of Cancer* 41: 2023-2032.
- Meyer, L.A., Sullivan, S. & Mazeika, P. 2013. Bright lights, big city: influences of ecological light pollution on reciprocal stream-riparian invertebrate fluxes. - *Ecological applications* 23: 1322-1330.
- Miljøverndepartementet 2013. Hamar kommune - Innsigelse til kommunedelplan for firefelts E6 gjennom Åkersvika naturreservat. - Brev til Fylkesmannen i Hedmark, datert 11. april 2013, 31 s. http://www.regjeringen.no/upload/MD/2013/Hamar_kommune-nnsigelse_til_kommunedelplan.pdf
- Miller, M.W. 2006. Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. - *Condor* 108: 130-139.
- Montevecchi, W. A. 2006. Influences of artificial light on marine birds. - In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (eds C. Rich and T. Longcore), pp. 94-113. Island Press, Washington.
- Moore, F.R. 1980. Solar cues in the migratory orientation of the savannah sparrow, *Passerculus sandwichensis*. *Animal Behaviour* 28: 684-704.
- Moore, F.R. 1987. Sunset and the orientation behaviour of migrating birds. - *Biological Reviews* 62: 65-86.
- Moore, M.V., Pierce, S.M., Walsh, H.M., Kvalvik, S.K. & Lim, J.D. 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. - *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 779-782.
- Moser, J.C., Reeve, J.D., Bento, J.M.S., Lucia, T.M.C.D., Cameron, R.S. & Heck, N.M. 2004. The size and behaviour of day- and night-flying leafcutting ant alates. - *Journal of Zoology* 264: 69-75.
- Mouritsen, H. & Larsen, O.N. 2001. Migrating songbirds tested in computer-controlled Emlen funnels use stellar cues for a time-independent compass. - *J. Exp. Biol.* 204: 3855-3865.
- National Park Service 2007. Natural Lightscapes. Monitoring and Data. <http://www.nature.nps.gov/air/lightscapes/monitorData/index.cfm>.
- Navara, K. J. & Nelson, R. J. 2007. The dark side of light at night: physiological, epidemiological and ecological consequences. - *Journal of Pineal Research* 34: 215-224.
- Negro, J.J., Bustamante, J., Melguizo, C., Ruiz, J.L. & Grande, J.M. 2000. Nocturnal activity of lesser kestrels under artificial lighting conditions in Seville, Spain. - *J. Raptor Res.* 34: 327-329.
- Nemeth, E. & Brumm, H. 2009. Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? - *Anim. Behav.* 78: 637-641.

- Nightingale, B., Longcore, T. & Simenstad, C.A. 2006. Artificial Night Lighting and Fishes. - I: Rich, C. & Longcore, T. 2006. Ecological consequences of artificial night lighting. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5
- Norberg, U.M., Rayner JMV (1987) Ecological morphology and flight in bats (Mammalia: Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. - Philosophical Transactions of the Royal Society B, 316: 335-427.
- Norsk Ornitologisk Forening 2011. Valg av trasé for E6 ved Åkersvika naturreservat, innspill fra Norsk Ornitologisk Forening. - Brev til Miljøverndepartementet, datert 06.10.2011. 2 s.
- Nørgaard, T. 2005. Nocturnal navigation in *Leucorchestris Arenicola* (Araneae, Sparassidae). - The Journal of Arachnology 33: 533-540.
- Partecke, J., Van't Hof, T.J. & Gwinner, E. 2005. Underlying physiological control of reproduction in urban and forest-dwelling European blackbirds *Turdus merula*. - J. Avian. Biol. 36: 295-305.
- Patiri, V.J.A. & Palmeira, A.M.D. in press. Light Pollution Mitigation - A Proposal Methodology. - 32ND Annual Conference International Association for Impact Assessment, IAIA, Porto, Portugal, 2012.
- Patiri, V.J.A., Palmeira, A.M.D, da Fonseca, S.F., de Sousa, W.S. & Bernardo, A.L. 2012. Port of Açú, Brazil light pollution mitigation. - IAIA12 Conference Proceedings, Energy Future The Role of Impact Assessment. 32nd Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment 27 May- 1 June 2012, Centro de Congresso da Alfândega, Porto.
- Paul, N.D. & Gwynn-Jones, D. 2003. Ecological roles of solar UV radiation: towards an integrated approach. - Trends in Ecology & Evolution 18: 48-55.
- Pawson, S.M. & Bader, M.K-F. 2014. LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. - Ecological Applications 24: 1561-1568.
- Pawson, S.M., Watt, M.S. & Brockerhoff, E.G. 2009. Using differential responses to light spectra as a monitoring and control tool for *Arhopalus fesus* (Coleoptera: Cerambycidae) and other exotic wood boring pests. - Journal of Economic Entomology 102: 79-85.
- Peitsch, D., Fietz, A., Hertel, H., Souza, J., Ventura, D.F. & Menzel, R. 1992. The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision. - Journal of Comparative Physiology A 170: 23-40.
- Perkin, E.K., Hölker, F., Richardson, J.S., Sadler, J.P., Wolter, C. & Tockner, K. 2011. The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. - Ecosphere 2: 122.
- Perkin, E.K., F. Hölker & K. Tockner. 2014. The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. - Freshwater Biology 59: 368-377.
- Perry, G., Buchanan, B.W., Fisher, R.N., Salmon, M. & Wise, S.E. 2008. Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. - Herpetological Conservation 3: 239-256.
- Peters, A. & Verhoeven, K. J. F. 1994. Impact of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles. - Journal of Herpetology 28: 112-114.
- Phillips, J.B. & Moore, F.R. 1992. Calibration of the sun compass by sunset polarized light patterns in a migratory bird. - Behavioral Ecology and Sociobiology 31: 189-193.
- Picchi, M.S., Avolio, L., Azzani, L., Brombin, O. & Camerini, G. 2013. Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin. - J Insect Conserv. 17: 797-805.
- Pitcher, T.J., Parrish, J.K., 1993. Functions of shoaling behaviour in teleosts. - In: Pitcher, T.J. (Ed.), Behaviour of Teleost fishes, 2nd ed. Chapman & Hall, London, pp. 363-439.

- Poot, H., Marquenie, J.M., Donners, M.A.H., Ens, B.J., de Vries, H. & Wernand, M.R. 2007. Green light for Nocturnally migrating birds. *Ecol. & Soc.* submitted
- Pritchard, D. & Salathé, T. 2010. Ramsar Advisory Missions - No. 64: Åkersvika, Norway
- Raine, H., Borg, J.J., Raine, A., Bairner, S. & Cardona, M.B. 2007. Light Pollution and its Effect on Yelkouan Shearwaters in Malta, Causes and Solutions. - EU Life et al., www.birdlifemalta.org/photos/otherfiles/370.pdf.
- Reed, D.F. 1995. Efficacy of methods advocated to reduce cervid-vehicle accidents: research and rationale in North America. Presented at "Wildlife-Traffic Collisions," January 23-28, Sapporo, Japan [Proceedings in Japanese, updated from presentation at Colloque International "Route et Faune Sauvage," Strasbourg, Conseil de l'Europe, June 5-7, 1985].
- Reed, D.F. & Woodard, T.N. 1981. Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents. - *Journal of Wildlife Management* 45: 721-726.
- Reed, J.R., Sincok, J.L. & Hailman, J.P. 1985. Light attraction in endangered procellariiform birds: reduction by shielding upward radiation. - *The Auk* 102: 377-383.
- Reiter, R.J., Tan, D.-X., Korkmaz, A., Erren, T.C., Piekarski, C., Tamura, H. & Manchester, L.C. 2007. Light at night, chronodisruption, melatonin suppression, and cancer risk: a review. - *Critical Reviews in Oncogenesis* 13: 303-328.
- Rich, C. & Longcore, T. 2006. Ecological consequences of artificial night lighting. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5.
- Robertson, B.A. & Hutto, R.L. 2006. A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. - *Ecology* 87: 1075-1085.
- Robin, M., Matheau-Police, A. & Couty, C., 2007. Development of a scale of perceived environmental annoyances in urban settings. - *J. Environ. Psychol.* 27: 55-68.
- Robinson, H.S. & Robinson, P.J.M. 1950. Some notes on the observed behaviour of Lepidoptera in flight in the vicinity of light-sources together with a description of a light-trap designed to take entomological samples. - *Entomologist's Gazette* 1: 3-20.
- Rodriguez, A., Rodriguez, B., Curbelo, Á.J., Pérez, A., Marrero, S., et al. 2012. Factors affecting mortality of shearwaters stranded by light pollution. - *Anim. Conserv.* 15: 519-526.
- Rowan, W. 1938. London starlings and seasonal reproduction in birds. - *Proc. Zool. Soc. London* A108: 51-78.
- Rozenberg, G.V. 1966. *Twilight. A Study in Atmospheric Optics.* - New York: Plenum.
- Rydell, J. 1991. Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. - *Holarct. Ecol.* 14: 203-207
- Rydell, J. 1992. Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. - *Functional Ecology* 6: 744-750.
- Rydell, J. 2006. Bats and their insect prey at streetlights. - In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (eds C. Rich and T. Longcore), pp. 43-60. Island Press, Washington.
- Røv, N., Eide, S. & Hangård, A. 2005. Betydningen av trafikkstøy for fuglelivet i Ilene og Presterdødkilen naturreservater. - Notat, 10 pp. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim.
- Salmon, M., Tolbert, M. G., Painter, D. P., Goff, M. & Reiners, R. 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. - *Journal of Herpetology* 29: 568-576.
- Samferdselsdepartementet, Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet 2012. Lys på stedet. Utendørsbelysning i byer og tettsteder. - Veileder T-1512, ISBN 978-82-457-0459-4.

- Sandström, M., Lyskov, E., Berglund, A., Medvedev, S. & Mild K.H. 1997. Neurophysiological effects of flickering light in patients with perceived electrical hypersensitivity. - *J. Occup. Environ. Med.* 39: 15-22.
- Santos, C.D., Miranda, A.C., Granadeiro, J.P, Lourenço, P.M., Saraiva, S. & Palmeirim, J.M. 2010. Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. - *Acta Oecologica* 36: 166-172.
- Scheuerell, M.D. & Schindler, D.E. 2003. Diel vertical migration by juvenile sockeye salmon: empirical evidence for the antipredation window. - *Ecology* 84: 1713-1720.
- Schubert, E.F. & Kim, J.K. 2005. Solid-state light sources getting smart. - *Science* 308: 1274-1278.
- Sharov, A.A., Leonard, D., Liebhold, A.M., Roberts, E.A & Dickerson, W. 2002. "Slow the Spread": a national program to contain the gypsy moth. - *Journal of Forestry* 100: 30-35.
- Sheppard, C. 2011. Bird-Friendly Building Design. - American Bird Conservancy, The Plains, VA, 58p.
- Solomon, D.J. 1982. Smolt migration in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta* L.). - In *Salmon and Trout Migratory Behaviour Symposium* (Brannon, E. L. & Salo, E. O., eds.), pp. 196-203. Seattle: University of Washington.
- Spellerberg, I., 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. - *Global Ecol. Biogeogr.* 7: 317-333. Bør sjekkes!!
- Stevens, R.G. 2009. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. - *International Journal of Epidemiology* 38: 963-970.
- Stone, E. L., Jones, G. & Harris, S. 2009. Street lighting disturbs commuting bats. - *Current Biology* 19: 1123-1127.
- Stone, E.L., Jones, G. & Harris, S. 2012. Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. - *Global Change Biology* 18:2458–2465.
- Stracey, C.M., Wynn, B. & Robinson, S.K. 2014. Light Pollution Allows the Northern Mockingbird (*Mimus polyglottos*) to Feed Nestlings After Dark. - *Wilson Journal of Ornithology* 126: 366-369.
- Svarstad, H., Petersen, L.K., Rothman, D., Siepel, H. & Wätzold, F. 2008. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. - *Land Use Policy* 25: 116-125.
- Svensson, A.M. & Rydell, J. 1998. Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths *Operophtera* spp., *Geometridae*. - *Animal Behavior* 55: 223-226.
- Tabor, R., Brown, G., Hird, A. & Hager, S. 2001. The effect of light intensity on predation of sockeye salmon fry by cottids in the Cedar River. - U.S. Fish and Wildlife Service, Western Washington Office, Fisheries and Watershed Assessment Division, Lacey, Washington.
- The Royal Astronomical Society of Canada 2012. Environmental Impact of Light Pollution and its Abatement. - Special Report of the Journal of The Royal Astronomical Society of Canada.
- The Royal Commission on Environmental Pollution 2009. Artificial Light in the Environment. - TSO, London.
- Thorpe, J.E. & Morgan, R.I.G. 1978. Periodicity in Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolt migration. - *Journal of Fish Biology* 12: 541-548.
- Tin, T., Fleming, Z. L., Hughes, K.A., Ainley, D.G., Convey, P., Moreno, C.A., Pfeiffer, S., Scott, J. & Snape, I. 2009. Impacts of local human activities on the Antarctic environment. - *Antarctic Science* 21: 3-33.
- Titulaer, M., Spoelstra, K., Lange, C.Y.M.J.G. & Visser, M.E. 2012. Activity patterns during food provisioning are affected by artificial light in free living great tits (*Parus major*). - *PLoS One*, 7:e37377.

- Tombre, I., Tømmervik, M., Gullestad, H. N. & Madsen, J. 2010. Spring staging in the Svalbard-breeding Pink-footed Goose *Anser brachyrhynchus* population: site-use changes caused by declining agricultural management? - *Wildfowl* 60: 3-19.
- Troy, J.R., Holmes, N.D. & Green, M.C. 2011. Modeling artificial light viewed by fledgling seabirds. - *Ecosphere* 2 (10): Article Number UNSP 109.
- Tuxbury, S.M. & Salmon, M. 2005. Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles. - *Biol. Conserv.* 121: 311-316.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J. & James, P. 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. - *Landscape and Urban Planning* 81: 167-178.
- U.S. Army Corps of engineers 2012. Light Attenuating Dyes, Available from <http://glmris-anl.gov/documents/docs/anscontrol/LightAttenuatingDyes.pdf>
- Utkilen, H. & Gjølme, N. 1992. Toxin production by *Microcystis aeruginosa* as a function of light in continuous cultures and its ecological significance. - *Applied and environmental microbiology* 58: 1321-1325.
- Valberg, A. 1998. *Lys syn farge*. - Tapir forlag, Trondheim. 280 s.
- van Bohemen, H., 2002. Infrastructure, ecology and art. - *Landscape Urban Plann.* 59: 187-201.
- Van de Laar, F. 2007. Green light to birds. Investigation into the effect of bird-friendly lighting. - NAM LOCATIE L15-FA-1. http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Energie/pdf/green_light_to_birdsNAM.pdf.
- Van Gils, J.A., Spaans, B., Dekinga, A. & Piersma, T. 2006. Foraging in a tidally structured environment by red Knots (*calidris canutus*): ideal, but not free. - *Ecology* 87: 1189-1202.
- van Langevelde, F., Ettema, J.A., Donners, M., Wallis- DeVries, M.F. & Groenendijk, D. 2011. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. - *Biological Conservation* 144: 2274-2281.
- Vásquez, R.A. 1994. Assessment of predation risk via illumination level: facultative central place foraging in the cricetid rodent *Phyllotis darwini*. - *Behavioral Ecology and Sociobiology* 34: 375-381.
- Verheijen, F.J. 1958. The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources on animals. - *Archives Neerlandaises de Zoologie* 13: 1-107.
- Verheijen, F.J. 1985. Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causations, remedies. - *Experimental Biology* 1985, 1-18.
- Vollsnes, A.V., Eriksen, A.B., Otterholt, E., Kvaal, K., Oxaal, U. & Futsaether, C.M. 2009. Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum*. - *Journal of Experimental Botany* 60: 3677-3686.
- Wagner, D.L. & Van Driesche, R.G. 2010. Threats posed to rare or endangered insects by invasions of nonnative species. - *Annual Review of Entomology* 55: 547-568.
- Walls, G. L. 1942. The vertebrate eye and its adaptive radiation. - *Cranbrook Institute of Science Bulletin* No. 19, Bloomfield Hills, Michigan.
- Warrant, E. & Dacke, M. 2010. Visual orientation and navigation in nocturnal arthropods. - *Brain Behav. Evol.* 75: 156-173.
- Warrant, E.J. 1999. Seeing better at night: life style, eye design and the optimum strategy of spatial and temporal summation. *Vision Research* 39: 1611-1630.
- Weindler, P., Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1996. Magnetic information affects the stellar orientation of young bird migrants. *Nature* 383: 158-160.

Weldon, A.J. & Haddad, N.M. 2005. The effects of patch shape on Indigo Buntings: Evidence for an ecological trap. - *Ecology* 86: 1422-1431.

Whitton B.A. & Potts M., 2000, The ecology of cyanobacteria, their diversity in time and space, kap. 1, s. 1-12, Kluwer academic Publishers.

Wiedner, C., Visser, P., Fastner, J., Metcalf, J.S., Codd, G.A. & Mur, L., 2003. Effects of light on the microcystin content of *Microcystis* Strain PCC 7806. - *Applied and environmental microbiology* 69: 1475-1481.

Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. & Bedocs, L. 1989. Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. - *Lighting Res. Technol.* 21: 11-18.

Wiltschko, R. & Wiltschko, W. 1995. *Magnetic Orientation in Animals*. - Heidelberg: Springer-Verlag.

Wiltschko, R., Wiltschko, W. & Munro, U. 1997. Migratory orientation in birds: the effects and after-effects of exposure to conflicting celestial and magnetic cues. - *Proceedings of the Royal Institute of Navigation* 6: 1-14.

Wise, S.E & Buchanan, B.W. 2006. Influence of Artificial Illumination on the Nocturnal Behavior and Physiology of Salamanders. - I: Rich, C. & Longcore, T. 2006. *Ecological consequences of artificial night lighting*. - Island Press, Washington, DC 200909, 458 pp. ISBN-1-55963-129-5

Witherington, B.E. & Bjorndal, K.A. 1991. Influences of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*. - *Biological Conservation* 55: 139-149.

Witherington, B.E. & Martin, R.E. 1996. Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches. - Florida Marine Research Institute Technical Report TR-2, Florida Marine Research Institute, St. Petersburg, FL. 73 pp.

Worth, C.B. & Muller, J. 1979. Captures of large moths by an ultraviolet light trap. - *Journal of the Lepidopterists' Society* 33: 261-264.

Youngson, A.F., Buck, R.J.G., Simpson, T.H. & Hay, D.W. 1983. The autumn and spring emigrations of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., from the Girnock Burn, Aberdeenshire, Scotland: Environmental release of migration. - *Journal of Fish Biology* 23: 625-639.

Ødegaard, F., Hanssen, O. & Sverdrup-Thygeson, A. 2011. Dyremøkk - et hotspot-habitat. Sluttrapport under ARKO-prosjektets periode II. - NINA Rapport 715, 42 s.

Åkesson, S. & Bäckman, J. 1999. Orientation in pied flycatchers: the relative importance of magnetic and visual information at dusk. - *Animal Behaviour* 57: 819-828.

Åkesson, S., Alerstam, T. & Hedenström, A. 1996. Flight initiation of nocturnal passerine migrants in relation to celestial orientation conditions at twilight. - *Journal of Avian Biology* 27: 95-102.

Vedlegg 1. Definisjoner

Dette kapittelet inneholder definisjoner av noen begreper og faguttrykk som brukes i denne rapporten. Mer utfyllende kunnskap om belysningslære er gitt i "Lyskulturs" mange publikasjoner og normer, www.lyskultur.no, men se også Valberg (1998).

Avskjerming: Sier noe om hvor godt armaturen fører lyset dit du trenger det. Avskjermingen hindrer uønsket lys som blander og lysforurensere.

Belysningsstyrke: Angir hvor mye lys som faller på en flate, enhet: lux (lx).

Blending: Hvis det i synsfeltet opptrer spesielt lyse flater eller punkter, eller det er store kontraster, oppstår muligheten for blending. Det er vanlig å skille mellom to typer blending, synsnedsettende blending og ubehagsblending. Begge former for blending påvirkes av lysheten i omgivelsene. Jo mørkere omgivelser, jo større potensielle blendingsproblemer vil vi kunne ha.

- **Synsnedsettende blending:** Dette er blending som fører til reduserte synsbetingelser fordi kontrasten blir større enn det øyet kan følge med på. En møtende bil i mørket med fjernlys er et vanlig eksempel på synsnedsettende blending. Dette kan også oppstå som følge av feil bruk av fastmontert belysningsutstyr.
- **Ubehagsblending:** Denne form for blending gir en følelse av ubehag, og kan virke distraherende og trettende, men er mindre alvorlig enn synsnedsettende blending. Eksempel på dette er strølys fra flomlysanlegg eller veibelysning som uønsket flommer inn i boliger.

Fargegjengivelse: Angir lyskildens evne til å gjengi farger korrekt. Indeksen (Ra) angir fargegjengivelsen i forhold til dagslyset. Ra skalaen går fra 1 - 100, der Ra 100 gir best fargegjengivelse. Sollyset har en Ra på 100. Fargegjengivelsen er viktig for følelsen av velbehag, trygghet og sikkerhet ved at omgivelsene, og spesielt mennesker, blir gjengitt med sin egentlige farge. Lyskilder som benyttes utendørs, og særlig hvor mennesker ferdes, bør ha en Ra > 80.

Fargetemperatur: Angir lyskildens farge, og oppgis i grader Kelvin (K). Høyere tall, for eksempel >3300 K, beskriver en kald farge (mye blått). Et lavt tall, for eksempel <3000 K angir en varm farge (mye rødt). Dette vil si at jo høyere tall desto kaldere farge. Vanlig glødelampe har fargetemperatur 2700 K.

Lysfluks: Angir hvor mye lys som sendes ut fra en lyskilde til en mottaker, nevnes som lumen (lm).

Lysforurensing: Uavskjermert lys som sendes opp i atmosfæren og synliggjør støv, fuktighet, ispartikler med mer. Når lyset treffer det forurensede luftlaget, for eksempel over store byer, vil skylaget bli opplyst og være synlig på store avstander. Lysforurensing forårsaker også liten eller ingen sikt til stjernehimmelen.

Lyssetting: Øyet tiltrekkes av lyset. Vår oppmerksomhet ledes mot den lyseste delen av synsfeltet. Et belyst objekt vil derfor oppfattes som det viktigste i våre omgivelser. Lyse overflater trer sterkere frem ved belysning, mens mørke overflater er mindre fremtredende når de blir belyst.

Lysstyrke: Viser hvordan lysfluksen fra en lyskilde fordeler seg i rommet, betegnelse candela (cd) Lysstyrke er det mest anvendte begrepet for å beskrive ulike former for økologisk lysforurensing, men ikke det eneste som er relevant for dette. Lyset varierer i styrke (antall fotoner pr areal) og fargesammensetning (uttrykt gjennom bølgelengde).

Lysets modellerende evne: Siden mennesket er utstyrt med to øyne, har vi dybdesyn og kan oppfatte tredimensjonale objekter og rom. Skyggevirkninger og perspektiv bidrar også til at gjenstander oppfattes som tredimensjonale. Hardt lys kan brukes til å skape skygger bl.a. for å fremheve overflatestrukturer, mens et mykt lys vil viske ut skyggene og øke romfølelsen. Lyskildens form og størrelse påvirker også skyggevirkningene. Lysets modellerende evne gjør det også lettere å bedømme avstand og hastighet.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2700-1

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger