



NIBIO
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



Universitetet
i Sørøst-Norge



Statens vegvesen

På vei mot bærekraftig veily

Effekter på insekter, avbøtende tiltak og
konsekvenser for trafikanter

NIBIO RAPPORT | VOL. 12 | NR. 133 | 2026



Rapport

TITTEL:	På vei mot bærekraftig veilys - Effekter på insekter, avbøtende tiltak og konsekvenser for trafikanter		
DATO:	26.10.2026	REVIDERT DATO:	-
ANTALL SIDER:	152	ANTALL VEDLEGG:	2

FORFATTER(E):	
NAVN:	DIVISJON/ STASJON/ANNET:
Ulrike Bayr	Kart og Statistikk, NIBIO
Nina Svae Johansen	Bioteknologi og plantehelse, NIBIO
Helga Iselin Wåseth	Institutt for optometri, radiografi og lysdesign, USN
Terje Christensen	Institutt for optometri, radiografi og lysdesign, USN
Veronika Zaikina	Institutt for optometri, radiografi og lysdesign, USN
Mohammad Alsbirij	Bioteknologi og plantehelse, NIBIO
Henrik Antzée-Hyllseth	Bioteknologi og plantehelse, NIBIO
Erik Lysøe	Bioteknologi og plantehelse, NIBIO
Ruben Alexander Pettersen	Miljø og naturressurser, NIBIO
Dorukalp Durmus	Institute of Computational and Data Sciences, Pennsylvania State University
KONTAKTPERSON NIBIO: Ulrike Bayr, ulrike.bayr@nibio.no	

RAPPORTNUMMER: 12/133/2026	PROSJEKTNUMMER: 52837	ARKIVNUMMER: 26/00316
TILGJENGELIGHET: Åpen	ISBN: 978-82-17-04084-2	ISSN: 2464-1162

OPPDRAAGSGIVER: Statens vegvesen	OPPDRAAGSGIVERS KONTAKTPERSON: Erling Fjeldaas
---	---

PROSJEKTLEDER: Ulrike Bayr	KVALITETSSIKRET/GODKJENT: Ingeborg Klingen
--------------------------------------	--

STIKKORD: insekter, lysforurensing, veilys, økologi, trafiksikkerhet	FAGOMRÅDE: Økologi, entomologi, lysdesign
---	--

SAMMENDRAG: Rapporten oppsummerer resultater fra forskningsprosjektet «Lysmiljø: veilysets effekter på insekter», gjennomført i perioden 2023–2025 i samarbeid mellom Statens vegvesen, NIBIO og USN. Formålet med prosjektet har vært å øke kunnskapen om hvordan veilys påvirker flygende insekter under nordiske forhold, samt å belyse hvordan slik kunnskap kan bidra til mer kunnskapsbaserte vurderinger av tiltak og praksis innen veilys.
--

Rapportens referanse: Bayr, U., Johansen, N. S., Wåseth, H. I., Christensen, T., Zaikina, V., Alsbirij, M., Antzée-Hyllseth, H., Lysøe, E., Pettersen, R. A., Durmus, D. (2026). *På vei mot bærekraftig veilys - Effekter på insekter, avbøtende tiltak og konsekvenser for trafikanter*. (NIBIO RAPPORT, 12/133). Norsk institutt for biøkonomi.

Sammendrag

Kunstig lys om natten blir stadig mer utbredt og påvirker både organismer og økosystemer. Samtidig er veilys et viktig tiltak for trafikksikkerhet i Norge og andre nordiske land. Dette skaper et behov for mer kunnskap om hvordan kunstig lys påvirker naturen under nordiske forhold.

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra forskningsprosjektet «Lysmiljø: veilysets effekter på insekter», som ble gjennomført i perioden 2023–2025 i et samarbeid mellom Statens vegvesen, NIBIO og Universitetet i Sørøst-Norge (USN). Formålet med prosjektet har vært å øke kunnskapen om hvordan veilys påvirker flygende insekter under nordiske forhold, samt å belyse hvordan slik kunnskap kan bidra til mer kunnskapsbaserte vurderinger av tiltak og praksis innen veilys.

I studien undersøkte vi forekomst og artsmangfold av flygende insekter i et belyst veimiljø og et nærliggende mørkt referanseområde langs Fylkesvei 325 ved Tønsberg. Studien ble gjennomført over tre år (2023–2025) og omfattet fangst av flygende insekter ved hjelp av såkalte vindusfeller. De fangede insektene ble deretter identifisert ved hjelp av DNA-basert artsidentifikasjon (metastrekkoding).

Totalt ble det fanget 16 555 individer fordelt på 13 insektordener, og DNA-analysene identifiserte 629 arter. Resultatene viste at den samlede insektfangsten var nær 50 % lavere i det belyste feltet enn i det mørke referansefeltet. Forskjellen var relativt konsistent mellom år og sesonger. Samtidig viste analysene tydelige forskjeller mellom insektgrupper og mellom felleplasseringer. Enkelte insektgrupper, særlig nebbmunner og veps, ble fanget i betydelig høyere antall ved lysmastene enn i feller plassert lenger unna, noe som kan antyde en lokal tiltrekningseffekt av belysningen. Artsrikdommen var relativt lik mellom feltene, men artssammensetningen skilte seg tydelig. Over 100 arter ble utelukkende registrert ved lysmastene.

Studien viser at insektsamfunn i og rundt belyste veimiljøer kan skille seg fra dem i mørkere områder like i nærheten, selv når områdene utgjør relativt like leveområder i form av vegetasjon o.a. ressurser som insektene bruker. Studien viser også at responser som ser ut til å kunne knyttes til veilys varierer i stor grad mellom insektgrupper og gjennom den tidsperioden der insektene er aktive. Siden studien er gjennomført i kun ett studieområde, er det ikke mulig å skille effekten av veilyset fra andre miljøfaktorer knyttet til veimiljøet på generell basis. Resultatene bidrar likevel med viktig ny kunnskap fra nordiske forhold og styrker kunnskapsgrunnlaget for videre undersøkelser og vurderinger av hvordan veilys kan tilpasses hensynet til både trafikksikkerhet og biologisk mangfold.

Forord

Denne rapporten er resultatet av forskningsprosjektet «Lysmiljø: veilysets effekter på insekter», som ble gjennomført i perioden 2023–2025. Prosjektet har vært et samarbeid mellom Statens vegvesen, Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) og Universitetet i Sørøst Norge (USN).

Formålet med prosjektet har vært å øke kunnskapen om hvordan veily påvirker flygende insekter under nordiske forhold, samt å belyse hvordan slik kunnskap kan bidra til mer kunnskapsbaserte vurderinger av tiltak og praksis innen veily.

Prosjektet ble finansiert av Statens vegvesen, med et supplerende bidrag fra Regionale Forskningsfond Vestfold og Telemark i 2023 gjennom kvalifiseringsprosjektet «Effekter av eksisterende veily på insekter og tiltak mot lysforurensing i Vestfold og Telemark».

Arbeidet med insekter som presenteres i del I av rapporten, ble ledet av NIBIO, mens lysmålingene ble gjennomført av USN. Undersøkelsene som er beskrevet i del II, ble ledet og gjennomført av USN. I del III har NIBIO og USN sammenstilt erfaringene fra de to delene og presenterer en samlet vurdering av aktuelle tiltak og sentrale kunnskapsbehov i lys av prosjektets resultater.

Vi ønsker å rette en generell takk til alle som har bidratt til gjennomføringen av prosjektet. En særlig takk går til Erling Fjeldaas i Statens vegvesen for faglig støtte og et godt samarbeid gjennom hele prosjektet. Videre takker vi de ansatte i Vestfold fylkeskommune, Mesta, Laugstol AS og Tønsberg kommune for praktisk og teknisk tilrettelegging av belysningen i forsøksområdet. Vi vil også takke Jarlsberg Hovedgård for velvillig tillatelse til bruk av hogstfeltene i forsøksområdet.

Vi retter også en takk til Monica Skogen og May Bente Brurberg (NIBIO) for gjennomføring av DNA-analysene og Torfinn Torp og Ritter Atoundem Guimapi (NIBIO) for planlegging av forsøksopplegget og kvalitetssikring av de statistiske analysene. Takk også til Carl Emil Øyri for verdifull innsats i forbindelse med feltarbeidet. Vi takker også USN-studentene Viktor Faanes, Lasse Mjelde og Sofie Hume for deres bistand med lysmålinger utført sent på kvelden og nattestid. Til slutt takker vi Ingeborg Klingen (NIBIO) for verdifulle innspill og intern kvalitetssikring av insektanalysene i den endelige versjonen av rapporten.

Ås, 20. oktober 2026

Ulrike Bayr

Innhold

Sammendrag	3
Forord	4
Innledning.....	8
Del I: Insekter i et belyst veimiljø	11
1 Lysets effekter på insekter	11
1.1 Kunstig lys fra veien	11
1.2 Insektenes oppfatning og respons på lys.....	12
1.3 Hvordan kunstig lys påvirker insekter.....	14
1.3.1 Generelle effekter av lys.....	14
1.3.2 Insektgrupper som er spesielt utsatte for kunstig lys	17
1.4 Forsknings spørsmål	18
2 Metoder.....	20
2.1 Studieområdet og forsøksfeltene	20
2.2 Insektregistreringer.....	22
2.2.1 Konstruksjon og montering av insektfeller	22
2.2.2 Registrering av insekter gjennom vekstsesongen	25
2.2.3 Manuell sortering og opptelling	27
2.2.4 Metastrekkoding	28
2.3 Lysmålinger	29
2.3.1 Praktisk gjennomføring i felt	29
2.3.2 Lysetting og analyser av lysmålinger	30
2.4 Måling av utvalgte miljøfaktorer	32
2.4.1 Meteorologiske målinger	32
2.4.2 Vegetasjon	32
2.4.3 Predasjon av flaggermus	33
2.5 Statistiske analyser	35
2.5.1 Forberedelse av datasettet	35
2.5.2 Modellering av insektmengde.....	35
2.5.3 Sensitivitetsanalyse	36
3 Resultater	37
3.1 Total fangst av insekter.....	37
3.2 Insektenes respons i et belyst veimiljø	39
3.2.1 Alle insekter	39
3.2.2 Insektordener	42
3.2.3 Artsmangfold	46
3.3 Lysrespons hos utvalgte arter påvist i DNA-analysen.....	50
3.3.1 Lysmålinger.....	53
3.4 Utvalgte miljøfaktorer.....	57
3.4.1 Temperatur, luftfuktighet og nedbør	57
4 Diskusjon.....	61
4.1 Generelt om insektmengder og artsmangfold	61
4.2 Insekters respons i belyst og mørkt felt.....	62

4.2.1 Forskjeller mellom mørk og belyst felt.....	62
4.2.2 Forskjeller mellom de fire felleplasseringene	64
4.2.3 Respons hos utvalgte arter og grupper	65
4.3 Betydningen av værforhold og vegetasjon	67
4.4 Lysnivå og lysforhold.....	68
4.5 Metodiske begrensninger	69
5 Konklusjon	73
Del II: Bærekraftig veilys – balansert veilys for fotgjengere, bilførere og økosystem.....	75
1 Prosjektkontekst og problemstilling.....	75
1.1 Norsk kontekst og brukerbehov	75
1.2 Bærekraftig veilys.....	76
1.3 Prosjektets mål og delstudier	77
2 Sentrale begreper og vurderingsparametere for bærekraftig veilys	78
3 Delstudier	81
3.1 Delstudie 1: Effekter av naturtiltak i veilysset (svakere, varmere og bedre avskjermet lys) på ansiktssynlighet	81
3.1.1 Innledning.....	81
3.1.2 Metode	84
3.1.3 Analyse.....	90
3.1.4 Resultater	91
3.1.5 Diskusjon.....	95
3.2 Delstudie 2: Fotometrisk sammenligning av konvensjonell og alternativ veilys på kjørebane og gang- og sykkelvei	96
3.2.1 Innledning.....	96
3.2.2 Metode	96
3.2.3 Resultater	97
3.2.4 Diskusjon.....	101
3.3 Delstudie 3: Effekter av naturtiltak (svakere, varmere og mer skjermet belysning) på lysets spredning og synlighet i terrenget.....	103
3.3.1 Innledning.....	103
3.3.2 Metode	103
3.3.3 Resultater	105
3.3.4 Diskusjon.....	110
3.4 Delstudie 4: Effekter av naturtiltaket (amber-LED) på gjenstanders synlighet i kjørebane og gjenkjennelse av ansikter på gang- og sykkelveien	112
3.4.1 Innledning.....	112
3.4.2 Metode	116
3.4.3 Analyse.....	121
3.4.4 Resultater	122
3.4.5 Diskusjon.....	124
Del III: Anbefalte tiltak og videre kunnskapsbehov	126
1 Tiltak som ivaretar både naturmangfold og trafiksikkerhet.....	126
1.1 Tiltak for å redusere påvirkningen på insekter	126

1.2 Belysningstiltak for balansert synlighet, opplevd trygghet, trafikksikkerhet og økologiske hensyn.....	129
1.3 Oppsummert: Mot et mer bærekraftig veilys	131
2 Videre kunnskapsbehov	132
2.1 Kunnskap om lysforurensning generelt	132
2.2 Insekter og miljø	133
2.3 Trafikanter, sikkerhet og belysningstiltak.....	134
Referanser	136
Vedlegg.....	146
Vedlegg A. Arter som bare ble påvist i fellene på lysmastene B1	146
Vedlegg B. Arter som ble påvist alle de tre forsøksårene	149

Innledning

Kunstig lys brukes i stadig større grad og ofte døgnet rundt. Dette gjelder særlig i Norden der den naturlige daglengden varierer mye gjennom året. I kombinasjon med historisk lave energipriser over lang tid og energieffektivt LED lys har dette bidratt til at kunstig belysning har blitt en selvfølgelig del av hverdagen. For oss mennesker gir den kunstige forlengelsen av dagen mange fordeler i form av økt produktivitet, sikkerhet og komfort. Samtidig medfører den omfattende bruken av kunstig lys en påvirkning på naturen, ettersom mange økologiske prosesser reguleres av abiotiske faktorer som temperatur og lys.

Lysforurensning kan defineres som overdreven, feilrettet eller unødvendig bruk av kunstig lys som endrer naturlige lysforhold i tid, rom eller spektral sammensetning (Christensen mfl. 2025). Fenomenet har tradisjonelt vært knyttet til astronomisk lysforurensning, særlig i form av himmelglød (engl. «skyglow») som reduserer synligheten av nattehimmelen. I de senere år har imidlertid begrepet fått et bredere innhold gjennom økt oppmerksomhet rundt økologisk lysforurensning, som omfatter kunstig lys sin påvirkning på levende organismer og økosystemer. Økologisk lysforurensning inkluderer effekter av både direkte og indirekte belysning på atferd, fysiologi, fenologi og artsinteraksjoner, og kan oppstå selv ved relativt lave lysnivåer (Figur 1).



Figur 1: Veilys belyser ikke bare selve veien, men kan også spres til omkringliggende områder, enten direkte på grunn av manglende avskjerming eller indirekte via refleksjon fra veibanen (venstre) eller skyer (til høyre). Foto: Ulrike Bayr

Kunstig lys om natten har konsekvenser for både økosystemer og enkeltorganismer, der insekter er blant de mest sårbare gruppene (Jägerbrand og Spoelstra 2023). Forskning har vist at lysforurensning er en viktig, men hittil undervurdert faktor som setter insektbestander under sterk press (Linares Arroyo mfl. 2024, Owens mfl. 2020, Grubisic mfl. 2018). Samtidig virker ikke kunstig lys bare isolert, men i samspill med en rekke andre faktorer som arealendringer, intensivering i landbruket, sykdommer, fremmede arter og klimaendringer (Outhwaite mfl. 2022; Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019; Wagner 2021).

Ikke bare naturen, men også mennesker blir påvirket - selv om vi sjelden legger merke til det selv. Kunstig lys om natten kan påvirke menneskers helse, særlig ved å forstyrre kroppens naturlige døgnrytme. Christensen mfl. (2025, 2026) har gjort en grundig gjennomgang av den tilgjengelige kunnskapen om hvordan kunstig lys påvirker menneskers helse. For en nærmere omtale av dette temaet viser vi derfor til disse publikasjonene.

Globalt er lysforurensning særlig knyttet til de mest folkerike og tettbygde regionene. Også i Norge har lysforurensningen økt markant de siste 10–15 årene, særlig i og rundt byer og langs større transportkorridorer. Satellittdata viser at lysintensiteten i flere områder har mer enn doblet seg siden 2012, samtidig som arealer med svært lite kunstig lys er blitt betydelig redusert (Christensen mfl. 2026; 2025). Særlig bekymringsfullt er at dette også skjer i mørke områder som tidligere i liten grad har vært eksponert for kunstig belysning. En del av denne utviklingen kan knyttes til overgangen til LED-belysning, som har gitt høyere energieffektivitet. Både satellittdata og gjennomgangen i Christensen mfl. (2025) viser at lavere kostnader per lysenhet og større teknologisk fleksibilitet har bidratt til mer omfattende bruk av kunstig lys og høyere lysnivåer, noe som samlet sett har forsterket lysforurensningen snarere enn redusert den.

Norges beliggenhet langt i nord innebærer store sesongvariasjoner i naturlige lysforhold. Sammen med en omfattende bruk av utendørsbelysning, særlig i vinterhalvåret, gjør dette at lysforurensningen kan være mer omfattende sammenlignet med der det er ved lavere breddegrader. Til tross for dette har lysforurensning historisk sett vært lite regulert og i begrenset grad anerkjent som et problem, verken i lovverk eller forvaltning. Dette er i ferd med å endre seg: i 2024 ble lysforurensning for første gang inkludert i regjeringens Nasjonal handlingsplan for naturmangfold – «Bærekraftig bruk og bevaring av natur» (Meld. St. 35 (2023–2024)). I handlingsplanen løftes det frem som et viktig nasjonalt mål å «øke den tverrfaglige kunnskapen om lysforurensningens virkninger på natur og helse, og iverksette tiltak for å redusere uønskede effekter».

Planen anerkjenner samtidig at lysforurensning har fått begrenset oppmerksomhet som miljøproblem tidligere, og understreker at effektive løsninger for å redusere lysforurensningen forutsetter en koordinert og økt innsats på tvers av ulike samfunnssektorer.

Veieiere har et særlig ansvar fordi veilys er den dominerende kilden til kunstig lys utenfor tettsteder. Veilys etableres ofte i ellers mørke landskap og kan derfor i særlig grad påvirke sårbare og lite fragmenterte og dermed gode leveområder for mange organismer. Samtidig er veilys i stor grad regulert gjennom definerte krav, utviklet over mange år på grunn av trafiksikkerhet. Veilyskravene står i veinormalen N100 (Statens vegvesen 2023). Normen gjelder i nye veianlegg, noe som kan gjøre det uklart hva som er kravene på eldre veier (Statens vegvesen 2025b).

Veilys kan øke trygghet og redusere ulykkesrisiko for trafikanter, samtidig som omfattende og kontinuerlig belysning kan ha negative effekter på insekter og andre organismer som er sårbare for lysforurensning. Veilys illustrerer dermed en grunnleggende målkonflikt, der hensynet til trafiksikkerhet må balanseres mot behovet for å begrense økologisk lysforurensning.

Målet med prosjektet «Lysmiljø» er først og fremst å øke kunnskapen om hvordan et belyst veimiljø påvirker insekter under nordiske forhold. For å undersøke dette gjennomførte vi et feltforsøk i to forsøksfelt langs Hortensveien (fv 325) nord for Tønsberg. Studien omfattet insektregistreringer ved hjelp av 24 såkalte vindusfeller over tre sesonger (2023–2025), samt lysmålinger ved hver enkelt felle. Insektene som ble fanget ble manuell sortert etter insektorden og deretter artsbestemt med metastrekkoding (DNA-analyse).

Ved siden av dette hovedprosjektet ble det gjennomført fire delstudier i samme område. I disse delstudiene var fokuset å se på hvordan mer bærekraftige belysningsløsninger påvirker

belysningen på fortau, vei og i terrenget ved veien. I to av prosjektene vurderte deltakere i studien synlighet, fargeoppfattelse og komfort på vei og fortau. I et av prosjektene ble veilyset målt og vurdert, og i et siste prosjekt ble strølys (dvs. uønsket lys utenfor det området som er ment å belyses) i terreng målt og sammenlignet for to ulike armaturtyper og under ulike værforhold. Formålet med disse fire delstudiene var å undersøke hvordan tiltak for å redusere lysforurensning oppleves av brukere og for å finne svar på hvordan hensynet til naturmiljøet kan balanseres mot trafikantenes behov for trygghet og sikkerhet. Disse studiene er beskrevet i del II av rapporten.

Rapporten består av tre deler:

Del I omhandler hovedprosjektet og beskriver bakgrunn, metoder og resultater fra insektregistreringer gjennomført i to forsøksfelt langs Hortensveien nord for Tønsberg.

Del II gir en kort oversikt over supplerende forsøk utført i samme forsøksområde, med hovedfokus på menneskers oppfatning av ulike typer lysarmaturer.

Del III setter resultatene fra de to delene i sammenheng og diskuterer ulike avbøtende tiltak. Målet er å identifisere løsninger som kan redusere de negative effektene av kunstig belysning, samtidig som hensynet til trygghet og trafiksikkerhet ivaretas. Rapporten avslutter med en oversikt over videre kunnskapsbehov i forbindelse med lysets effekter på natur, trafikanter og sikkerhet.

Del I: Insekter i et belyst veimiljø



1 Lysets effekter på insekter

Insektbestandene står under press fra en rekke påvirkningsfaktorer. Arealbruksendringer og tap av leveområder, økt intensivering i landbruket, forurensning og klimaendringer er blant de viktigste driverne (Outhwaite mfl. 2022; Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019; Wagner 2021, Goulson 2019). Disse faktorene virker ikke enkeltvis, men virker i et komplekst samspill. Kunstig lys om natten (ALAN, eng. artificial light at night) har vist seg å være en pådriver på nedgangen i insektsbestander og er forbundet med en rekke negative effekter på insekter (Owens mfl. 2020, Grubisic mfl. 2018).

Dette innledende kapittelet gir en kort oversikt over dagens kunnskapsstatus om hvordan insekter oppfatter lys og hvordan kunstig lys påvirker dem. Vi har tidligere utarbeidet mer omfattende sammenstillinger av denne tematikken, blant annet i rapporten «Effekter av vegbelysning på insekter og deres leveområder langs europa-, riks- og fylkesveiene» (Bayr mfl. 2022). Nedenfor følger derfor kun en oppsummert versjon av hovedfunnene fra denne rapporten, supplert med nyere forskning publisert siden dette arbeidet ble gjennomført.

1.1 Kunstig lys fra veien

Veilys utgjør en betydelig kilde til kunstig lys langs norske veier. Dette gjelder særlig utenfor tettsteder, der veilys ofte er den dominerende lyskilden i landskapet (Jägerbrand mfl. 2018). Variasjoner i spektrum, intensitet, fargetemperatur, skjerming og dimming gjør at påvirkningen på insekter kan variere mellom ulike veistrekninger. Samtidig er det relativt få studier som har undersøkt effekten av veilys spesielt, særlig under natur- og klimaforhold som likner de norske (Jägerbrand mfl. 2018).

Veilys bidrar til både astronomisk og økologisk lysforurensning (Longcore & Rich 2004). Astronomisk lysforurensning oppstår når lys fra tettsteder og infrastruktur spres og himmellegemer blir mindre synlige, mens økologisk lysforurensning også handler om lys som trenger inn i terrestriske og akvatiske leveområder fra lyskilder, for eksempel fra lysmaster

langs veien (Owens & Lewis 2018). Begge typer lysforurensning kan ha negative effekter på insekters atferd, fysiologi og overlevelse (Owens mfl. 2020).

I dagens veilys brukes først og fremst høytrykks-natriumdamplamper (NaH) og lysdioder (eng. *light-emitting diodes*, LED). NaH-lamper avgir hovedsakelig lys i det gul-oransje spekteret, men også mindre mengder kortbølget lys, har lav fargegjengivelse og avgir en del strålingsvarme som enkelte insekter kan registrere. LED finnes i mange ulike utforminger og typer med til dels helt forskjellige spektrale egenskaper. I denne rapporten refererer vi primært til den typen LED-belysning som benyttes mest langs veinettet i dag, nærmere bestemt hvite LED-armaturer med fargetemperatur på 3000 eller 4000 K. Slike LED-løsninger har som regel bedre fargegjengivelse og større fleksibilitet enn NaH, særlig når det gjelder dimming og skjerming, men kan samtidig inneholde en større andel kortbølget (blått) lys (Johansen 2012; van der Kooi mfl. 2018). Blått lys spres særlig effektivt i atmosfæren, og dårlig skjermede LED kan dermed forsterke den astronomiske lysforurensningen (Jägerbrand mfl. 2018).

Mange insektarter, både dag- og nattaktive, reagerer spesielt sterkt på korte bølgelengder fra UVA til grønt (Jägerbrand mfl. 2018; Owens mfl. 2018). Selv om UV-stråling ikke er vanlig i dagens LED brukt i veilys, er mange insekter fortsatt svært følsomme for korte bølgelengder i den blå delen av lysspekteret. Blant annet nattaktive sommerfugler, biller, tovinger og veps trekkes særlig mot slikt lys (Follestad 2014, Jägerbrand mfl. 2018). Den høyere andelen blått lys i LED antas å kunne tiltrekke flere fototaktiske insekter (dvs. insekter som tiltrekkes av lys), noe som gjør den mer forstyrrende for lyssensitive arter enn de tidligere NaH-lampene.

Fargegjengivelsen kan også påvirke insekters evne til å identifisere ressurser i omgivelsene. Studier fra veksthus viser imidlertid at enkelte insekter fortsatt finner vertsplantene sine under NaH-lys, som har lavere fargegjengivelse enn LED, trolig ved hjelp av en kombinasjon av lys- og luktstimuli samt strålingsvarme (Johansen 2012; Johansen mfl. 2018).

Amber-LED er nyere typer LED der andelen blått lys er sterk redusert og har antakeligvis mindre effekt på insekter. Del II i denne rapporten undersøker nærmere hvordan slike løsninger påvirker belysningsforhold og opplevelsen hos veibrukerne.

Veilys utgjør en sterk visuell kontrast i et ellers mørkt nattlandskap. Dette gjør lyskildene svært synlige for mange insekter og kan bidra til å forklare den såkalte «støvsugereffekten», som er nærmere beskrevet i kapittel 1.3.

1.2 Insektenes oppfatning og respons på lys

Insekter følger ulike døgnrytmer og naturlige variasjoner i lysforhold – både mellom dag og natt og gjennom året. Veilys endrer de naturlige lysforholdene, noe som kan forstyrre signalene insektene bruker til å styre atferd og livssyklus (Figur 2). Insekter bruker både visuelle fotoreseptorer, det vil si sanseceller i øynene som registrerer lys, og andre ikke-visuelle lysreseptorer (f.eks. plassert i hjernen) til å registrere bølgelengde, lysintensitet, polarisering og fordelingen av lys og mørke gjennom døgnet (Figur 3). Slike signaler styrer viktig atferd som orientering, næringssøk og atferd knyttet til å unngå predatorer, parring og valg av eggleggingsplasser (Warrant & Nilsson 2006; Johansen mfl. 2011; Follestad 2014). Daglengde og særlig blå bølgelengder spiller en sentral rolle i reguleringen av døgn- og årstidsrytmer, inkludert diapause og migrasjon (Saunders 2002; Johansen mfl. 2011; Jägerbrand mfl. 2018).

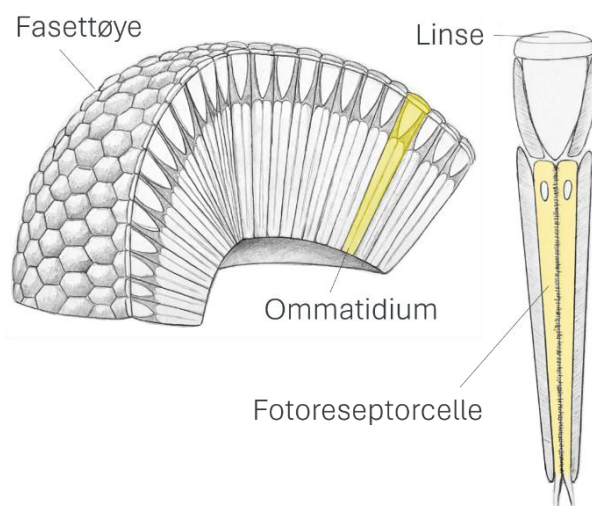


Figur 2: Insekter er en svært mangfoldig artsgruppe med ulik døgnrytme. De fleste arter er dagaktive eller nattaktive, mens noen arter er mest aktive i skumringen. Til felles har insektene at naturlige endringer i lysforholdene regulerer når det er tid for hvile og aktivitet. Foto: Ulrike Bayr (v) og Erling Fløistad (h), NIBIO.

Insektenes syn har utviklet seg under forutsigbare naturlige lysforhold over lang tid, og arters respons på lys er tett knyttet til deres leveområde og aktivitetsmønster (Follestad 2014; Jägerbrand mfl. 2018). Det finnes derfor stor variasjon i lysfølsomheten. Natt- og skumringsaktive arter har høy lysfølsomhet, men kun få fotoreseptorer. Dagaktive arter som bier og øyenstikkere har derimot flere fotoreseptorer og bedre fargesyn (Owens & Lewis 2018, van der Kooi mfl. 2021).

De fleste arter er trikromatiske, det vil si at de har tre typer fargesensitive fotoreseptorer med følsomhet for ulike bølgelengder. Hos insekter innebærer dette vanligvis høy følsomhet for ultrafiolett lys (UV, omtrent 345–380 nm: UVA), blått lys (ca. 420–480 nm) og grønt lys (ca. 500–560 nm). Noen arter, særlig dagaktive sommerfugler, kan i tillegg registrere lengre bølgelengder inn i den røde delen av spekteret (van der Kooi mfl. 2021). Det er imidlertid særlig UV og blått lys som utløser en sterk fototaktisk respons hos mange arter, og UV brukes blant annet bevisst i lysfeller for å fange bl.a. nattaktive sommerfugler (Brehm mfl. 2021; van Grunsven mfl. 2014; 2019; 2020). Strengt tatt er det kun det for oss mennesker synlige lyset vi vanligvis omtaler som «lys» (ca. 400-750 nm). Men siden mange insekter også kan oppfatte UVA, vil vi i denne rapporten derfor inkludere UV i begrepet “lys”.

Fototaktisk respons og navigasjon krever ikke nødvendigvis høy temporær oppløsning i fotoreseptorene, det vil si evnen til å registrere raske endringer i lys over tid. Derimot er gjenkjenning av objekter, som vertsplanter eller byttedyr, en mer kompleks oppgave, og evnen til dette varierer betydelig mellom ulike artsgrupper. Fargesyn finnes både hos dag- og nattaktive insekter, men er mest utviklet hos dagaktive grupper som øyenstikkere og sommerfugler (van der Kooi mfl. 2021). Mer detaljerte beskrivelser av synssystemer, døgnrytmer og lysrespons finnes hos Saunders (2002), Warrant & Nilsson (2006), Jägerbrand mfl. (2018), Owens & Lewis (2018), Owens mfl. (2020) og van der Kooi mfl. (2021).



Figur 3: Insekters øyne inneholder fotoreseptorer som er følsomme for ulike deler av lysets spektrum. De fleste nattaktive sommerfugler er trikromatiske, med følsomhet for UVA, blått og grønt lys, noe som er sentralt for fototaktisk respons og orientering i mørke omgivelser. Formen og oppbyggingen av fotoreseptorene er svært forskjellige fra art til art og figuren illustrerer dermed kun ett eksempel. Foto og illustrasjon: Ulrike Bayr

1.3 Hvordan kunstig lys påvirker insekter

1.3.1 Generelle effekter av lys

Insektaktivitet kan påvirkes allerede ved svært lave lysnivåer. Mange lysfølsomme arter er i stand til å oppfatte lysstyrker på nivå med måneskinn (omtrent 0,01–0,3 lux), nivåer som i litteraturen ofte angis i fotometriske enheter og normalt refererer til hvit-aktig lys. Enkelte nattaktive pollinatorer har dessuten fargesyn ved lysintensiteter helt ned mot 0,0001 cd/m² (Jägerbrand mfl. 2018). Kommunikasjon hos lysbiller kan forstyrres allerede ved 0,05 lux, og hos Sankthansorm (*Lampyris noctiluca*) ble signaleringen betydelig redusert ved 1,3–0,28 lux og fullstendig hemmet ved 10 lux (Owens & Lewis 2018).

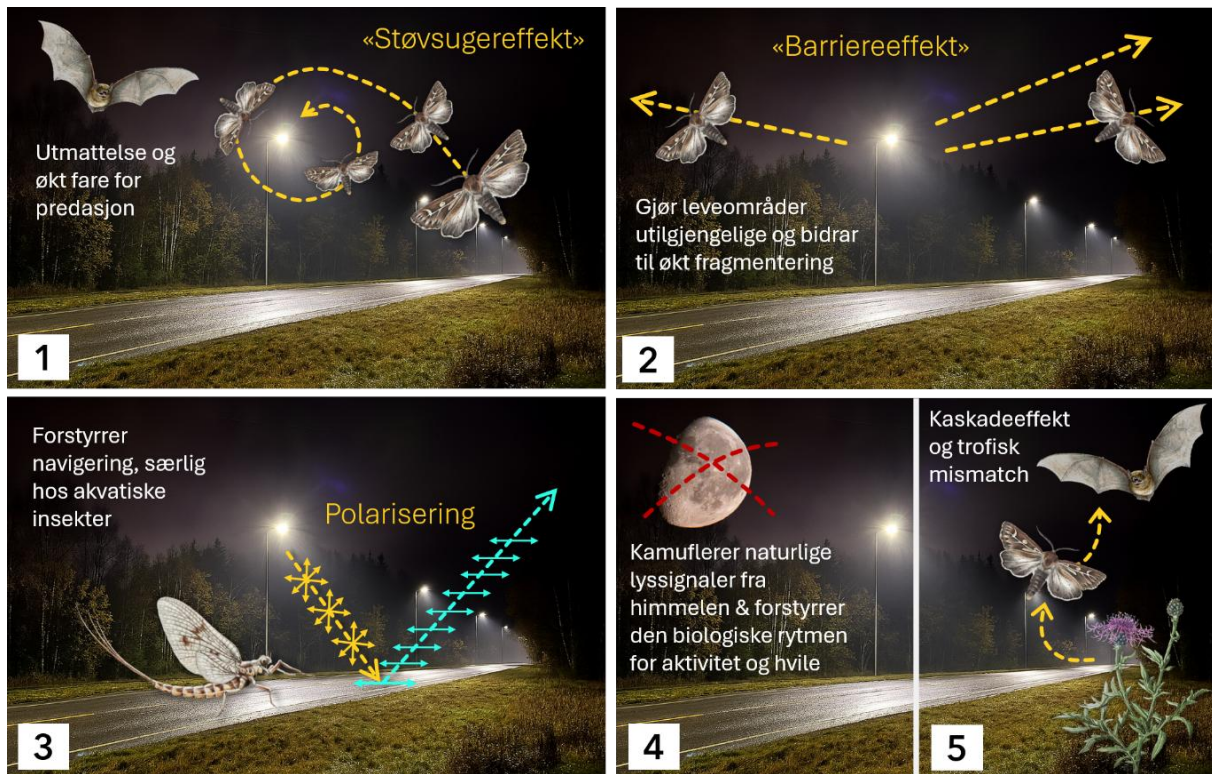
Kunstig lys kan påvirke insekters levedyktighet og biologisk mangfold på mange måter (Ljungentorp 2021, Owens & Lewis 2018). Forstyrrelser som følge av kunstig lys kan svekke insektenes evne til å tolke naturlige lys- og mørkesignaler, noe som igjen påvirker orientering, kommunikasjon og døgn- og årstidsrytmer. Dette kan redusere viktige aktiviteter som migrasjon, næringssøk, parring, å finne skjulesteder og velge eggleggingssteder, samt øke risikoen for predasjon. Forstyrrelser i fenologisk timing kan også oppstå, for eksempel mellom planteetende insekter og vertplantene deres, eller mellom pollinatorer og blomstrende planter. Kunstig lys kan dessuten hemme diapauseinduksjon, det vil si den hormonelt styrte prosessen der insekter går inn i en hvile- eller utviklingspause for å overleve ugunstige forhold som vinterkulde. Dette kan igjen redusere vinteroverlevelsen. Over tid kan slike effekter gi lavere reproduksjon og redusert pollineringsuksess og dermed bidra til redusert artsmangfold (Knop mfl. 2017; Grubisic mfl. 2018; Owens mfl. 2020; Ljungentorp 2021; Macgregor mfl. 2017). Jägerbrand og Bouroussis (2021) påpeker også at konsekvensene kan slå ut på flere nivåer, fra enkeltpopulasjoner til økosystemnivå.

Owens mfl. (2020) viser i en gjennomgang av 229 studier at kunstig lys har negative effekter i en rekke terrestriske og akvatiske insektordener, inkludert biller, tovinger, nebbmunner, veps, sommerfugler og rettvinger. En av de mest kjente og best dokumenterte effektene er den

såkalte «støvsugereffekten», som beskriver hvordan insekter fra omkringliggende områder trekkes mot lyskilder og blir fanget i lyskretsen (Figur 4-1). Denne adferden kalles også for fototaktisk tiltrekning eller positiv fototaxis. Hvor langt unna insekter kan reagere på lys varierer etter art, lysstyrke og bakgrunnslys, men enkelte arter kan registrere og fly mot lys fra flere hundre meters avstand (Jägerbrand mfl. 2018). Lys nær vann kan dessuten være særlig attraktivt og villedende for vårfluer, døgnfluer og andre vannlevende insekter. Dersom denne prosessen pågår over tid, kan den bidra til lokal utarming av insektbestander og føre til endringer i artssammensetningen i belyste områder. Det er vist at insekter som blir fanget i lyset har økt dødelighet som følge av utmattelse eller fordi de blir et lett bytte for predatorer. Det er for eksempel godt dokumentert at enkelte flaggermusarter utnytter dette ved å jakte rundt lysmaster, der insekter rundt lyskilden blir et lett tilgjengelig bytte (Voigt mfl. 2021, Bolliger mfl. 2020; Zeale mfl. 2018). Dette gjelder særlig rasktflygende og mer lystolerante flaggermusarter, som i større grad kan ta risikoen ved å oppholde seg i belyste områder uten selv å bli et bytte for rovfugler (Rowse mfl. 2015).

En annen godt dokumentert effekt er den såkalte «barriereeffekten» (Figur 4-2). For eksempel viser Degen mfl. (2024) ved bruk av avansert radarsporing (Harmonic radar tracking) at nattsommerfugler i familien Ekte spinnere (*Lasiocampidae*) opplever veilys som en «usynlig vei» de ikke kan krysse. I netter der månen var synlig og fungerte som et sterkt orienteringssignal, klarte flere individer å komme seg bort fra det belyste området, mens de forble ved lyskilden når månen ikke var synlig. I tillegg hadde de undersøkte nattsommerfuglene et langt mer uregelmessige flygemønster, noe som tyder på forstyrret orientering (Degen mfl. 2024, Fabian mfl. 2024). En slik barriereeffekt kan også referere til lysskye insektarter som unngår lys og dermed fordrives fra mulige leveområder når disse blir opplyst. Lange sammenhengende rekker av veilys kan på denne måten også fungere som en barriere i landskapet som hindrer forflytning av lysskye arter mellom leveområder. Denne unnvikelsesatferden hos insekter omtales også ofte som negativ fototaxis (bevegelse vekk fra lyskilden) i motsetning til positiv fototaxis, der organismen beveger seg mot lyskilden (Eisenbeis 2006, Owens mfl. 2020, Farnworth mfl. 2018).

Ved siden av disse to hovedeffektene, kan kunstig lys videre forstyrre orientering på andre måter for eksempel gjennom polarisering av lys (Figur 4-3) eller ved å kamuflere naturlige lyssignaler (Figur 4-4). Kunstig lys kan dessuten påvirke fenologien, noe som igjen kan forstyrre samspillet mellom insekter og vegetasjon (Figur 4-5).



Figur 4: Noen av de viktigste effektene kunstig belysning kan ha på insekter: 1) tiltrekning til lyskilden, 2) lysfølsomme arter som skyr lys fordrives fra sine leveområder og kan oppleve det belyste området som en barriere, 3) polarisert lys fra harde, glatte overflater som asfalt kan imitere vannoverflater og vilde insekter som bruker polarisert lys til navigering, 4) kamuflering av naturlige lyssignaler og forstyrrer de insektene som navigerer etter himmellegemer, forstyrrelse av døgnrytme samt 5) endringer i fenologien og forstyrrelse av synkroniteten mellom arter i næringskjeden (effektene er oppsummert i Owens mfl. 2020). Foto og illustrasjon: Ulrike Bayr

De fleste insekter er inaktive ved temperaturer under 0 °C, og korrekt tidspunkt for induksjon og avslutning av diapause er avgjørende for overlevelse gjennom vinteren. Diapause styres vanligvis av endringer i daglengde og temperatur. Den kritiske daglengden og temperaturen er evolusjonært tilpasset artenes geografiske utbredelse, levevis og ressursgrunnlag, og varierer både mellom arter og mellom populasjoner av samme art. Et eksempel er overvintrende insekttagg på trær som klekkes synkront med knoppsprett for å sikre god tilgang til føde.

Kunstig lys om natten kan påvirke insekters døgn- og årstidsrytmer, blant annet ved å forstyrre signalene i det naturlige lyset som bestemmer når insektene skal hvile og være aktive i løpet av døgnet, og som regulerer diapause (Saunders 2002; Jägerbrand mfl. 2018; Owens mfl. 2020). Reproductiv diapause er for eksempel vist å bli hemmet hos rovtegen *Orius insidiosus* når daglengden forlenges med fiolett-blått lys (Johansen mfl. 2011). Også andre bølgelengder, som gult lys fra lavtryksnatriumlamper og UV-stråling, kan påvirke insekters biologiske klokke og døgnrytmer (Owens og Lewis 2018).

Laboratoriestudier viser at kontinuerlig kunstig belysning kan redusere reproduksjon og fitness hos både nattaktive og dagaktive insekter, blant annet gjennom redusert feromonproduksjon, sterilitet og redusert egglegging (Johansen 2009; Owens og Lewis 2018). Samtidig er det usikkert i hvilken grad slike effekter kan overføres til naturlige forhold der kunstig lys sjelden eliminerer dag–natt-syklusen fullstendig (Owens og Lewis 2018). Flimring

kan oppfattes av insekter med høy temporal synsoppløsning og kan redusere tiltrekning til lys, men kunnskapen på dette er fortsatt begrenset (Jägerbrand mfl. 2018).

Effekter av veilyd på insekter om vinteren antas generelt å være små, men enkelte overvintringsstadier, som egg lagt på belyste trær, kan likevel være eksponert for lys. Det mangler imidlertid studier som belyser hvilken betydning slik eksponering kan ha for tidspunktet for viktige livshendelser som utvikling eller klekking.

1.3.2 Insektgrupper som er spesielt utsatte for kunstig lys

Det er ikke alle insekter som påvirkes av lys om natten i like stor grad. Basert på dagens kunnskap er det noen grupper insekter som skiller seg ut som spesielt utsatte for lysforurensning: akvatiske insekter, pollinatorsamfunn og nattaktive sommerfugler (Bayr og Johansen 2022). Samtidig vil vi understreke at disse gruppene også er blant de mest undersøkte. Vi kan dermed ikke utelukke at også andre, mindre studerte grupper er utsatt for negative effekter av kunstig lys.

Hos akvatiske insekter er det særlig det flygende voksenstadiet der negative effekter er godt dokumentert. Spesielt i flygetiden, når de voksne individene av f.eks. døgnfluer eller vårfluer kommer opp fra vannet, kan kunstig lys i nærheten av klekkeområdene tiltrekke seg insektene og dermed utløse den tidligere omtalte «støvsugereffekten» (Perkin mfl. 2014; Bolliger mfl. 2020b; Mészáros mfl. 2021; Schroer mfl. 2021; Manfrin mfl. 2025). Mange akvatiske insekter kan oppfatte polarisert lys, som oppstår når lyset treffer og reflekteres på harde, glatte overflater. Det polariserte lyset hjelper vanligvis insektene til å finne frem til vannoverflater der de legger eggene sine. Polarisering skjer også når lyset treffer andre blanke overflater som asfalt, biler eller bygninger, og kan dermed forlede insektene til å legge eggene sine på feil sted (Horváth mfl. 2009, Mészáros mfl. 2021).

Pollinerende insekter er avgjørende for frøproduksjon, biologisk mangfold og leveranse av viktige økosystemtjenester i både naturlige økosystemer og i jordbrukslandskapet (Totland mfl. 2013; Knop mfl. 2017; Regjeringen 2018). I Norge omfatter pollinatorgruppen et bredt spekter av insektordener, der bier og humler regnes som de viktigste, men også tovinger, sommerfugler, biller og enkelte planteveps bidrar vesentlig til pollinering (Artsdatabanken 2021a). Det foreligger ingen samlet oversikt over hvor stor andel av de norske pollinerende insektene som er nattaktive. Ettersom rundt 95 % av de norske sommerfuglartene er helt eller delvis nattaktive (Aarvik og Elven 2014), er det rimelig å anta at nattaktive pollinatorer utgjør en betydelig del av det totale pollinatorsamfunnet. Nattaktive sommerfugler, både generalister og høyt spesialiserte arter, står for en stor andel av pollentransporten om natten og er viktige pollinatorer for mange plantearter. (Devoto mfl. 2011; Totland mfl. 2013; MacGregor mfl. 2017). Betydningen av dette understrekes også av en omfattende metastudie publisert i 2025, som basert på 135 internasjonale studier konkluderer med at nattaktive pollinatorer bidrar nesten like mye til plantenes reproduksjonssuksess som de dagaktive artene (Kendall & Nichol森 2025).

Det er godt dokumentert at lyskilder med høy andel kortbølget lys (UV og blått), tiltrekker nattaktive sommerfugler og kan føre til såkalt støvsugereffekt, der individer trekkes bort fra vegetasjonen og konsentreres rundt lyskildene (MacGregor mfl. 2015; 2017; van Grunsven mfl. 2014; 2019; 2020; Brehm mfl. 2021). Over tid kan dette føre til lokal uttømming av bestander og redusert pollinering i belyste områder, effekter som ikke nødvendigvis blir synlige før etter flere år (van Grunsven mfl. 2020).

Som også nevnt i forrige kapittel kan veilys fungere som en barriere som hemmer forflytning mellom habitat, og dermed bidra til habitatfragmentering (Degen mfl. 2016; 2024). Andre studier indikerer at eksponering for kunstig lys også kan påvirke nattaktive sommerfuglers reproduksjon, parring, næringssøk og visuelle kapasitet, med potensielt vidtrekkende konsekvenser for både insektpopulasjoner og plante–pollinator-interaksjoner (MacGregor mfl. 2015; van Grunsven mfl. 2019; Cieraad mfl. 2022). Effektene av lys påvirkes ikke bare av spektralsammensetning, men også av lysstyrke, lysdistribusjon, avstand mellom lyskilder, bakgrunnsbelysning, værforhold, månefase og arts-spesifikke forskjeller i insektenes visuelle følsomhet og fysiologiske og atferdsmessige lysrespons (Wakefield mfl. 2017; van Grunsven mfl. 2014; 2020; van der Kooi mfl. 2021; Brehm mfl. 2021).

Studier som har sett på hele pollinatornettverk viser at nattlig belysning kan redusere både artsrikdom og aktivitet hos nattaktive pollinatorer, og at dette kan få indirekte konsekvenser også for dagaktive pollinatorer gjennom redusert frøsetting og endret plantefenologi (Knop mfl. 2017; Owens mfl. 2020). Slike indirekte effekter kan være særlig kritiske for spesialiserte pollinatorer og understreker at effektene av veilys ikke bare rammer enkeltarter, men at de kan få konsekvenser på et høyere økosystemnivå.

Til tross for et økende internasjonalt kunnskapsgrunnlag, er det stor usikkerhet knyttet til hvordan disse effektene vil gi utslag under nordiske forhold, der lysforhold, klima, geografisk variasjon og sammensetningen av pollinator- og plantesamfunn skiller seg fra mange av områdene der tidligere studier er gjennomført. Også kunnskapen om pollinerende arter og deres samspill med planter i Norge er fortsatt begrenset (Totland mfl. 2013), og det er behov for studier som kombinerer registrering av artsmangfold med analyser av plante-pollinator-interaksjoner for å kunne vurdere effektene av veilys på pollinatorsamfunn langs norske veier.

1.4 Forskningsspørsmål

Formålet med dette prosjektet var å øke kunnskapen om hvordan forekomst, artsmangfold- og artssammensetning av flygende insekter blir påvirket av veilys på nordlige breddegrader.

Til tross for en raskt voksende forskningslitteratur om lysforurensning, mangler vi fremdeles kunnskap om hvordan kunstig belysning påvirker insekter under norske og nordiske lys- og klimaforhold. Særlig er det behov for bedre kunnskap om hvordan eventuelle forskjeller varierer mellom insektgrupper, gjennom sesongen og på ulike romlige skalaer. Slike mønstre kan bidra til å belyse hvilke forhold som er viktigst for insekter i veinære miljøer, og gi et bedre grunnlag for å vurdere mulige tiltak knyttet til belysning langs vei. For å undersøke disse forholdene, anla vi to nærliggende forsøksfelt langs Fylkesvei 325 ved Tønsberg, et med veilys og et uten (Figur 5).

Konkret ønsket vi å belyse følgende problemstillinger:

1. Finner vi tydelige forskjeller i antall fangede insekter mellom det belyste og det mørke feltet?
2. Finnes det tydelige forskjeller innenfor feltene, dvs. mellom fellene rett ved lysmastene og på avstand?
3. Hvordan varierer fangsten og sammensetningen av insekter gjennom sesongen?
4. Finnes det forskjeller i hvordan ulike insektordener påvirkes av veilys?
5. Er artssammensetningen forskjellig i området med og uten veilys?

6. Hvilke andre påvirkningsfaktorer (temperatur, luftfuktighet, nedbør, vegetasjonsstruktur og lysnivå) ser ut til å viktigst til å forklare variasjonen i insektfangsten?



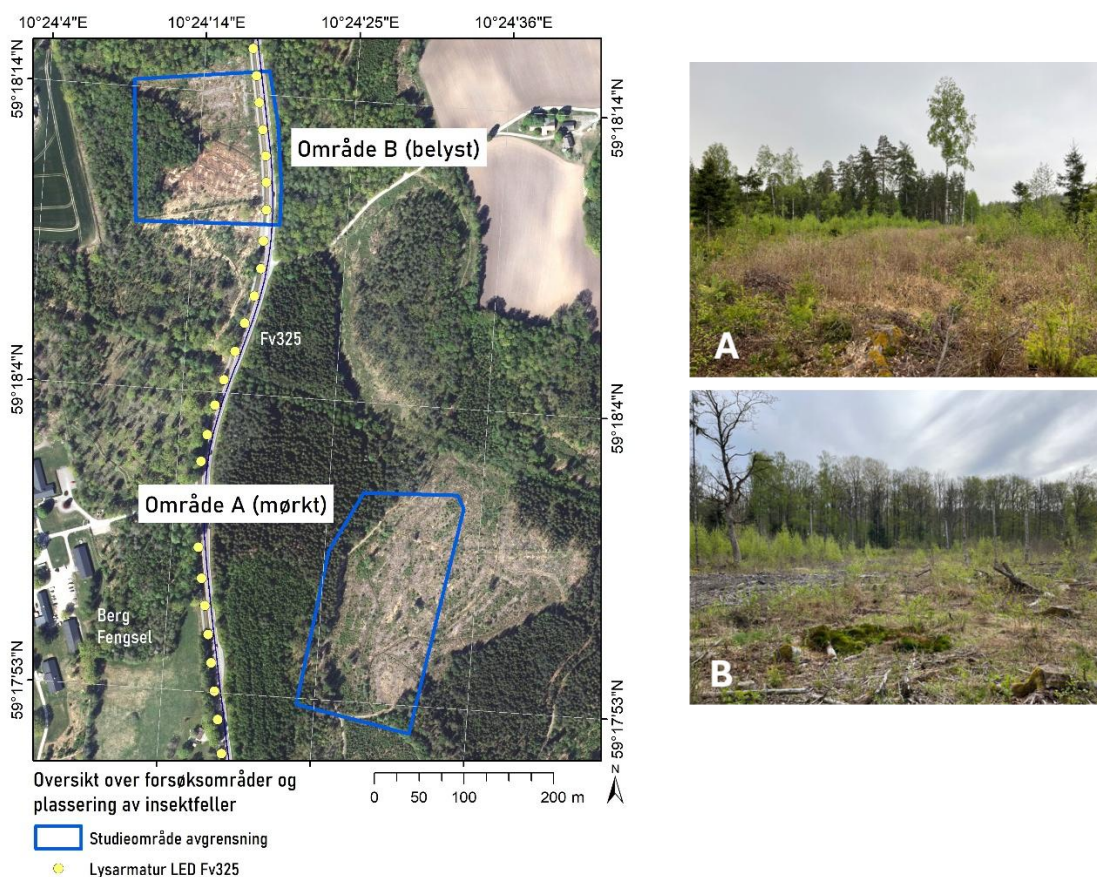
Figur 5: Hortensveien (Fv 325) nord for Tønsberg er godt belyst om natten. Foto: Erling Fjeldaas, Statens vegvesen.

2 Metoder

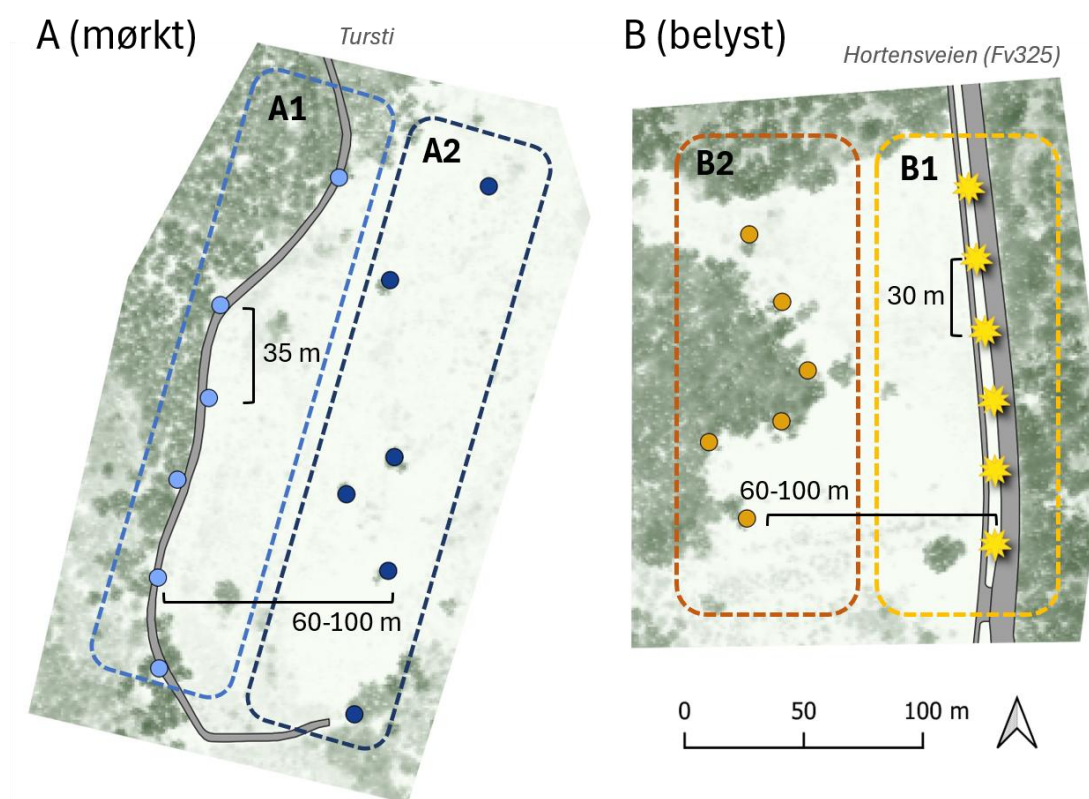
2.1 Studieområdet og forsøksfeltene

Forsøket ble gjennomført i et område langs Hortensveien (Fv325, 10,40538°Ø, 59,30299°N) ved Søndre Berg i Tønsberg kommune (Figur 6). Her ble det etablert to forsøksfelt: et belyst felt langs Fv325 (forsøksfelt B), der veilys er plassert mellom gang- og sykkelveien og kjørebanen, og et mørkt kontrollfelt (forsøksfelt A) langs en lysløypesti der lampene var slått av om natten. Avstanden mellom de to feltene er omtrent 400 meter. Forsøksfeltene er henholdsvis 34 dekar (A) og 26 dekar (B) i størrelse. Lysløypa gjennom felt A slås normalt automatisk av kl. 23. I samråd med Tønsberg kommune ble lysene slått av helt i periodene der insektregistreringen foregikk.

I det belyste forsøksfeltet (B) ble seks feller plassert på lysmastene (felleplassering B1) og seks feller ble plassert på trær 60-100 meter innover i terrenget (felleplassering B2) (Figur 7). I det mørke kontrollfeltet (A) ble seks feller plassert på lysstolper langs lysløypa der lampene var skrudd av (felleplassering A1) og seks feller plassert på trær 60-100 meter innover i terrenget (felleplassering A2).



Figur 6: Plassering av de to forsøksfeltene langs Hortensveien i Tønsberg kommune. Bildene til høyre viser de to høstfeltene A (mørkt) og B (belyst).



Figur 7: Plassering av insektfeller og målepunkter i det mørke (A) og belyste feltet (B). Insektfellene er videre delt opp i fire felleplasseringer B1 (gult), B2 (oransje), A1 (lyseblå) og A2 (mørkeblå). Stjernene i B1 representerer lysmastene langs fylkesveien. Bakgrunnskartet viser vegetasjonshøyder beregnet fra Nasjonal detaljert høydemodell (NDH) med 1 m oppløsning.

Langs Fv325 inngår seks lysmaster i forsøket og som representerer felleplassering B1. Mastene er av tre, 8 meter høye, og plassert 2 meter fra veikanten, med 30 meters avstand mellom mastene. Lysarmaturene er montert på en utligger og er dermed rundt en meter høyere enn selve lysmasten (9 meter). Armaturene er utstyrt med LED med et lysutbytte på cirka 14 000 lm og 135 W effekt. Fargetemperaturen er oppgitt med 4000 K, men ble målt til 3700K med spektroradiometer ved forsøksstart. Armaturen er av typen Schreder Ampera.

Terrenget rundt feltene er hovedsakelig flatt og preget av blandingsskog. Selve forsøksfeltene er eldre hogstflater med foryngelse bestående av både naturlig etablert vegetasjon og plantet gjenvekst av blandingsskog. Satellittdata viser at hogsten i det belyste feltet ble gjennomført i 2017 (nordre del) og 2022 (søndre del), mens hogsten i det mørke feltet fant sted i 2018.

Ved valg av felt ble det lagt vekt på at områdene skulle være mest mulig like med hensyn til naturtype, vegetasjonssammensetning, alder, struktur og høyde. Det var også viktig at det mørke kontrollfeltet var skjermet fra veilyset. Dessverre ble deler av skogen mellom felt A og Fv325 uventet avvirket i juni 2023. Dette gjorde at fire av de tolv fellene på det mørke feltet (A11, A21, A31, A41) fikk en direkte siktlinje mot veien. Siden kontrollfeltet fortsatt hadde et relativt stort antall feller og betydelig avstand til veien, vurderes effekten på fangstmengdene likevel som minimal.

Området ble ellers valgt fordi feltene er godt skjermet fra annen type belysning, som fra boliger eller næringsbygg, og fordi hogstflatene hadde noen spredte stammer eller grenset til skogkanter der fellene kunne festes. Lett tilgjengelighet og relativt ensartet vegetasjon var også viktige kriterier.

Før forsøket ble satt i gang, undersøkte vi i Artskart om det foreligger tidligere registreringer av rødlistearter i nærheten av de to områdene. Antall registreringer var generelt svært få og ingen av de insektartene som var registrert i Artskart er rødlistet.

I eikehagen ved Søndre Berg er det i flere år blitt satt ut eremitt (*Osmoderma eremita*). Dette er en billeart i familien skarabider (Scarabaeidae) som lever i gamle, hule trær. Eremitt er vurdert som sterkt truet (CR) og er fredet under «Forskrift om eremitt (*Osmoderma eremita*) som prioritert art» med hjemmel i Naturmangfoldsloven. En tiltaksplan for å ivareta eremitten er satt i gang og arten overvåkes av NINA (Endrestøl mfl. 2022). Ødegaard mfl. (24.11.2021) skriver at «de voksne billene er nattaktive, svært lite aktive og relativt kortlevde, og er derfor vanskelig å påvise og har et svært dårlig spredningspotensial. Undersøkelser har vist at under 20 % av billene forlater vertstreet, og gjennomsnittlig spredningsavstand er på bare 30 meter, og sjelden lengre enn et par hundre meter». De nærmeste fellene våre henger høyt og rundt 150 meter fra eikehagen ved Søndre Berg. Forsøksfeltene er i tillegg avgrenset fra eikehagen gjennom et cirka 90 meter bredt område av yngre skog. I tillegg unngikk vi å gjennomføre insektregistreringer i artens svermingstid som er i juli/august. I ingen av prøvene våre ble det påvist eremitt.

For å ivareta sikkerheten og oppfylle kravene til arbeid langs vei, gjennomførte alle prosjektmedarbeidere kurs i arbeidsvarsling før oppstart av feltarbeidet. I samarbeid med Statens vegvesen ble det utarbeidet en egen arbeidsvarslingsplan for området. I denne forbindelse ble det ved aktivering av fellene og ved innhenting av prøver satt opp midlertidige varslingsskilt langs Hortensveien.

2.2 Insektregistreringer

2.2.1 Konstruksjon og montering av insektfeller

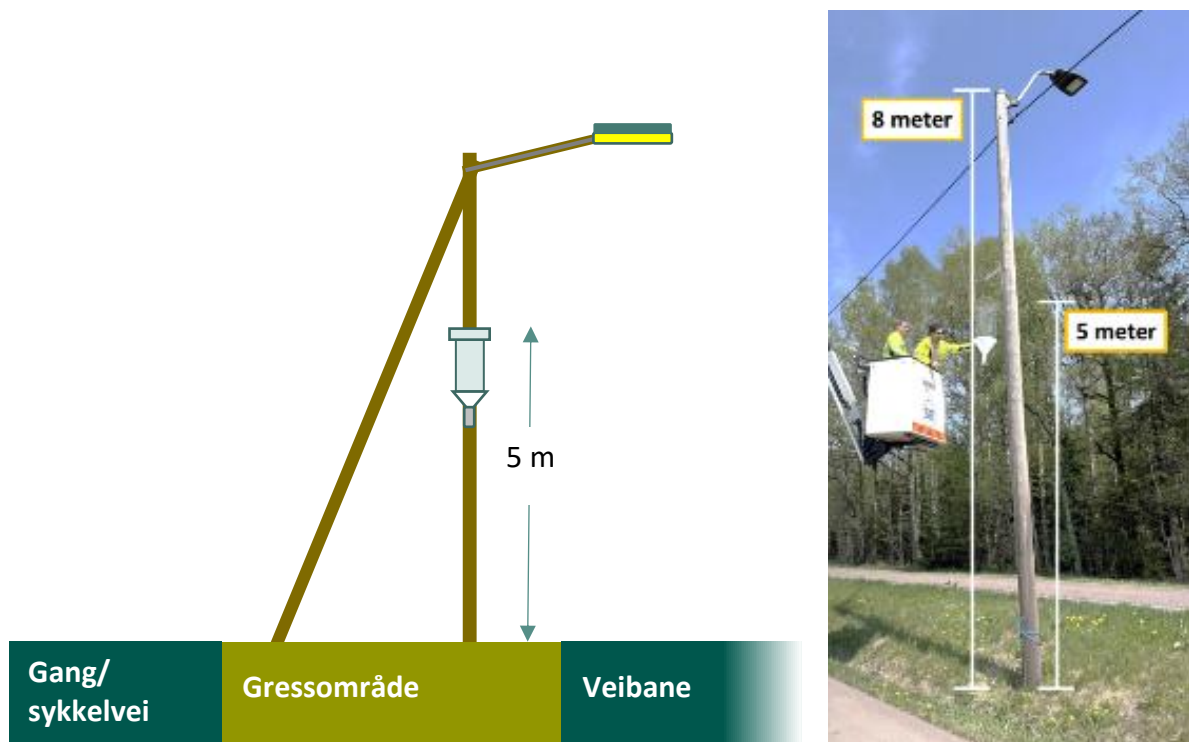
Før forsøksstart i 2023 bygget vi 24 vindusfeller, i tillegg til noen ekstra feller som reserve. Fellene er passive, dvs. at de i seg selv ikke trekker til seg insekter. De er designet for å fange vingede insekter som flyr gjennom terrenget og fanger et relativt bredt spekter av taksonomiske grupper. Fellekonstruksjonen er vist i Figur 8. De vertikale vinduene og taket i fellene er laget av 3 mm tykke gjennomsiktige akrylplater som tillater lyset fra veilyset å slippe gjennom. Hvert av de to kryssmonterte vinduene er 60 cm høye og 35 cm brede. For å fange opp insektene som kolliderer med vinduene er det montert en hvit plast-trakt med diameter 35 cm i bunnen av fella som leder insektene ned i en oppsamlingsbeholder fylt med 300 ml av en blanding av propylenglykol (70 %) og 96 % etanol (30 %). Oppsamlingsbeholderen ble pakket inn i aluminiumsfolie for å redusere soloppvarming. Taket på fella stikker 5 cm utenfor de vertikale vinduene for å redusere risikoen for at store mengder nedbør og plantematerialer havner i oppsamlingsbeholderen. I følge Åström mfl. (2020) ville en toppmontert oppsamlingstrakt og -beholder i tillegg ha økt bredden av taksonomiske insektgrupper som fanges i fellene, men det ville ha skygget noe for lyset fra veilyset og ble derfor ikke brukt i vårt forsøk.



Figur 8: En av vindusfellene som ble brukt til insektinnsamlingen. Fellene som ble plassert 60-100 meter fra lysmastene ble montert i trær. Foto: Ulrike Bayr

Hver felle ble montert fire til fem meter over bakkenivå. I trærne på 60-100 m avstand ble fellene plassert på 4 meter, begrenset av høyden på stigen. Langs veien kunne fellene henges 5 meter over bakken ved hjelp av liftbil (Figur 9). På lysmastene ble dette 3-4 meter under lysarmaturen. Det hadde vært ønskelig å henge fellene noe nærmere lyset fra lampene, men dette ble vurdert som ikke tilrådelig av sikkerhetsmessige grunner pga. kabelføring. Fellene langs fylkeveien ble montert på siden av lysmastene slik at de ikke kunne falle ned i veibanen eller på gang- og sykkelveien og forårsake ulykker. Det ble laget en manuell heiseanordning slik at fellene kunne heises opp og ned når de skulle aktiveres og tømmes.

Figur 10 viser tre av de monterte fellene langs veien på kveldstid med utgangspunkt i hogstfeltet.



Figur 9: Montering av vindusfeller på lysmastene i det belyste feltet. Lysmasten har en høyde på 8 meter og fellene ble hengt opp 5 meter over bakken. Fellene på lysmastene ved lysløypa og trærne henges opp på samme måte, men i 4 meters høyde. Foto: Ulrike Bayr



Figur 10: Tre av insektfellene som ble montert på lysmastene langs fylkesveien. Bildet er tatt en kveld i slutten av mai fra felleplasseringene på avstand (B2) mot felleplasseringene ved veien (B1). Foto: Erling Fjeldaas, Statens vegvesen

2.2.2 Registrering av insekter gjennom vekstsesongen

Flygende insekter ble registrert i begge forsøksfeltene ved bruk av de 24 gjennomsiktede vindusfellene.

Det første året samlet vi inn insekter i fire syvdagers-perioder, én om våren (mai), én på sensommeren (august), én tidlig høst (september) og én sen høst (oktober). Den siste innsamlingen ble gjennomført med ekstra støtte fra Regionale Forskningsfond Vestfold og Telemark (RFF). Erfaringene fra lysmålingene i 2023 viste at flest insekter ble samlet inn i oktober, til tross for kjølige værforhold. Det er samtidig liten forskjell i de naturlige lysforholdene mellom mai og august. Disse erfaringene, i kombinasjon med begrensninger i prosjektets budsjett, førte til at vi i 2024 og 2025 valgte å redusere insektinnsamlingen til tre perioder: vår, tidlig høst og sen høst (til sammen 21 innsamlingsdøgn). I de avsluttende analysene har vi ikke tatt med innsamlingen i august 2023 siden innsamlingen kun ble gjort ett år.

Tidspunktet for innsamlingsperiodene ble bestemt på grunnlag av værprognoser og månefase. For å standardisere månefase og værforhold mest mulig ble innsamlingene gjennomført innenfor en periode på en uke før og en uke etter begynnende nymåne og når værprognosene varslet oppholdsvær og ingen eller ubetydelige mengder nedbør og vind - så langt det lot seg praktisk gjøre. Tønsberg kommune og elektromontører i Laugstol AS ble kontaktet senest to dager før innsamlingsperioden og bedt om å slå av lysene i lysløypa gjennomgående for hele innsamlingsperioden.

Vindusfellene ble aktivert om formiddagen, vanligvis mellom klokka 9 og 12, det første døgnet i hver innsamlingsperiode, og ble tømt på formiddagen etter den siste natten. Fellene fanget altså insekter kontinuerlig i syv døgn, både natt og dag. Ideelt sett burde insektene kun blitt samlet inn når det var tussmørke og natt, men aktivering og tømning av fellene hver kveld og morgen hadde vært for tidskrevende til å være praktisk gjennomførbart innenfor prosjektets rammer. Insektfellene hang oppe hele vekstsesongen, men oppsamlingsbeholderne ble fjernet når fellene ikke var aktivert for å unngå å fange flere insekter enn nødvendig. Et registreringsskjema ble benyttet ved utplassering og tømning av insektprøvene. Skjemaene dokumenterer tidspunkt, værforhold og fenologisk stadium i vegetasjonen (Figur 11).

Den første innsamlingen ble de første to årene gjort i midten av mai når det kun er tussmørke på den mørkeste tiden av døgnet i Tønsberg-området (tabell 1). I 2025 ble den første registreringen gjennomført allerede i slutten av april pga. tørre værforhold, uvanlig varme temperaturer og en tidlig vår, samt at vi på denne måten unngikk å gjennomføre innsamlingen midt i fullmånefasen i begynnelsen av mai. For dataanalysen slås denne målingen sammen med mai-målingene i 2023 og 2024 til «vår», da vi vurderer sammenlignbare fenologiske og meteorologiske forhold samt månefase som viktigere enn kalenderdato.

Først midt i august begynner det så vidt å bli natt i forsøksområdet. Fra begynnelsen av september til midt i oktober øker perioden med tussmørke og natt fra rundt 10 timer til i underkant av 14 timer (Tabell 1). De andre innsamlingene ble derfor gjort i september og oktober for å dekke de mørkeste periodene i vekstsesongen.



Figur 11: Innhenting av de 24 insektprøvene i felt. Fellene ble montert på en måte slik at de enkelt kunne heises opp og ned ved hjelp av tau. Foto: Ulrike Bayr

Tabell 1: Lengden på perioden med tussmørke og natt mens insektinnsamlingene pågikk, angitt for den midterste dagen i hver innsamlingsperiode data for Tønsberg 2023, 2024 og 2025.

Periode	År	Start	Slutt	Periode med tussmørke ¹	Periode med natt ²	Sum tussmørke og natt
Vår	2023	16.05	23.05	6 t 41 min	0 t 0 min	6 t 41 min
	2024	07.05	14.05	7 t 18 min	0 t 0 min	7 t 18 min
	2025	23.04	30.04	8 t 32 min	0 t 0 min	8 t 32 min
Tidlig høst	2023	12.09.	19.09.	4 t 57 min	6 t 16 min	11 t 13 min
	2024	03.09.	10.09.	5 t 18 min	5 t 12 min	10 t 30 min
	2025	17.09.	24.09.	4 t 48 min	6 t 47 min	11 t 35 min
Sen høst	2023	11.10.	18.10.	4 t 32 min	9 t 11 min	13 t 43 min
	2024	01.10.	08.10.	4 t 33 min	8 t 21 min	12 t 54 min
	2025	08.10	15.10	4 t 32 min	8 t 53 min	12 t 25 min

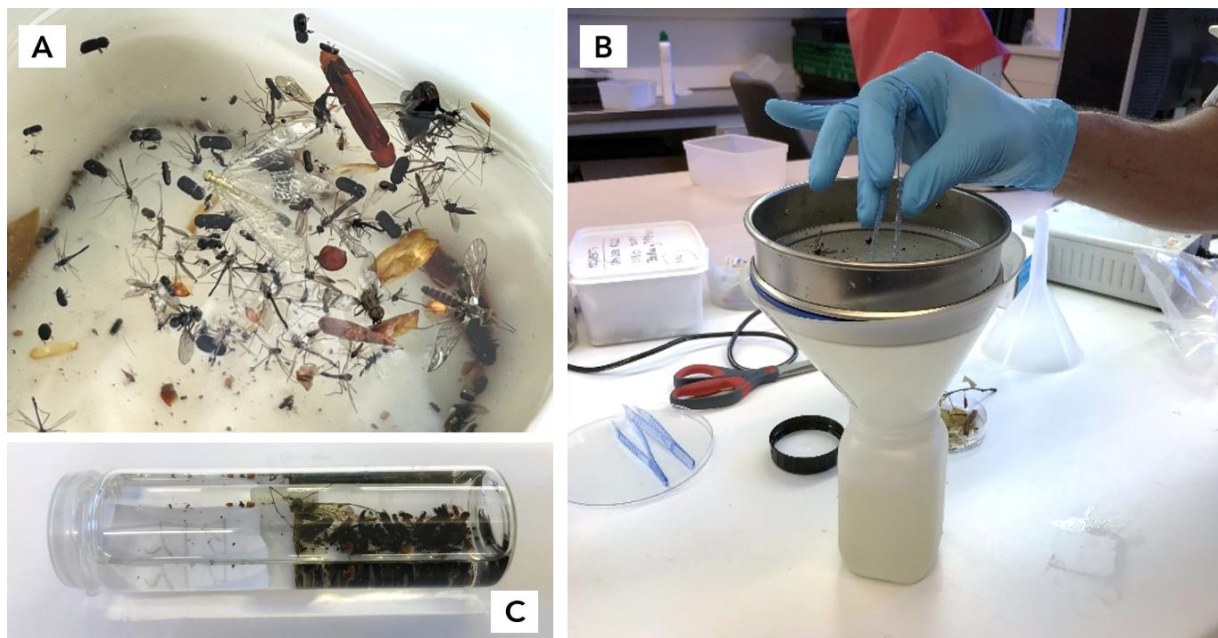
Data er hentet fra: <https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/norge/tonsberg>

¹ Summen av alminnelig, nautisk og astronomisk tussmørke. Om kvelden tilsvare det perioden fra solnedgang til sola står 18° under horisonten (skumring). Om morgenen tilsvare det perioden fra sola står 18° under horisonten til soloppgang (demring).

² Natt, dvs. perioden mens sola er mer enn 18° under horisonten og det er mørkt.

2.2.3 Manuell sortering og opptelling

Etter hver fangstperiode ble insektprøvene fra fellene satt på et mørkt kjølerom (3°C) umiddelbar etter de ble mottatt i laboratoriet. De ubehandlede prøvene inneholdt ikke bare insekter, men også en del mindre plantematerialer som deler av blader, barnåler og kvist (Figur 12 a). Innen 10 dager ble propylenglykol-etanol-blandingen hellet gjennom en trakt med et metallfilter som hadde diameter 15 cm og maskevidde 0,25 mm (Figur 12 b). Prøven fikk stå og renne av seg til det var mer enn 10 sekunder mellom hver dråpe. Frø, barnåler og annet rusk som ble liggende igjen i filteret ble overført til en liten skål og skylt med etanol slik at evt. små insekter som heftet ved det løsnet. Insektene som ble igjen i filteret og skylleskåla ble skylt tilbake ned i prøveglasset med etanol ved hjelp av en sprutflaske. Prøveglassene ble så fylt opp med 96 % etanol (Figur 12 c) og lagret ved -18 °C i noen dager før insektene ble talt opp manuelt. Insektene ble sortert i ulike taksonomiske grupper, stort sett til orden og i noen tilfeller til lavere taksa, under binokular med opptil 115 x forstørrelse. Siden vi primært ønsket å registrere flygende insekter ble uvingede insekter og andre leddyr talt opp og gruppert for seg, fjernet fra prøvene og lagret i egne prøveglass etter første innsamling. Det viste seg imidlertid tidkrevende å plukke ut midd, som ofte satt fast på vingede insekter. Spretthaler og små edderkopper gikk lett i stykker ved fjerning uten å måtte bruke mye tid, og ville da ganske sikkert kontaminert etanolen med sitt DNA, om ikke allerede gjort tidligere. Å fjerne alle vingeløse dyr virket uhensiktsmessig. Etter sortering og opptelling ble insektene lagt tilbake i prøveglassene med etanol og lagret ved -18°C inntil de ble identifisert til lavere taksa ved hjelp av metastrekkoding. For å unngå krysskontaminering med DNA ble alt utstyr som skulle gjenbrukes vasket grundig med såpevann og skylt mellom håndteringen av hver prøve.



Figur 12: Avsiling av propylenglykol-etanol-blandingen fra de ufiltrerte prøvene (A) og fjerning av objekter som ikke var insekter (B). Insektene ble overført til 96 % etanol og lagret ved -18 °C inntil de ble talt opp og metastrekkodet (C).

2.2.4 Metastrekkoding

De innsamlede insektene ble identifisert ved hjelp av metastrekkoding. For at en sekvens skulle godkjennes som artsidentifikasjon, ble det stilt krav om ≥ 98 % sekvenslikhet til referansesekvensen (blastID). I tillegg ble følgende kriterier lagt til grunn: (1) ingen tvil om nomenklatur, og (2) arten er tidligere påvist i Norge eller Norden.

Metastrekkoding er basert på prinsippet om DNA-strekkoding (eng. DNA barcoding), der korte, standardiserte DNA-regioner fra en ukjent organisme sekvenseres og sammenlignes med DNA-sekvenser fra kjente arter i referansedatabaser. De to genregionene som ble brukt i dette prosjektet er cytokrom c oksidase 1 (CO1), et mitokondrielt gen som er mye brukt for artsidentifikasjon av dyr, og 16S, en mitokondriell rRNA-gen som er mer konserverert mellom arter enn CO1, men likevel har tilstrekkelig variasjon til å skille mellom mange arter. Disse to genmarkørene utfyller hverandre og øker treffsikkerheten i identifikasjonen.

Ved metastrekkoding analyseres alle organismer i en prøve under ett, for eksempel alle insektene fra en enkelt felle. Metoden er blant annet brukt i Norsk insektovervåking (Åström mfl. 2020; 2022). Sammenlignet med tradisjonell DNA-strekkoding sekvenseres kortere DNA-fragmenter, noe som gir noe lavere presisjon på artsnivå, men gjør det mulig å behandle store prøvemengder på en kostnadseffektiv måte. En kjent feilkilde ved sekvenseringsplattformen Illumina er såkalt «index hopping» - en prosessfeil der DNA-sekvenser fra én prøve ved en feil tilordnes en annen prøve i samme kjøring. Dette kan forekomme med en frekvens på 0,1–2 % og kan føre til en svak overestimering av artsantallet i prøvene.

Metoden gjør det mulig å identifisere hvilke arter som er til stede i en prøve, forutsatt at artene er representert i referansedatabasen. Vi får dermed et mål på artsdiversiteten i insektprøvene. I tillegg gir antall sekvensavlesninger (reads) per art en indikasjon på artens relative biomasse i prøven — ikke individantall direkte, men et nyttig mål på relativ forekomst mellom prøver for arter av sammenlignbar størrelse. Nøyaktigheten på artsidentifikasjonen varierer mellom artsgrupper, og avhenger av at referansedatabasen har god dekning — både taksonomisk og geografisk. For artsgrupper med ufullstendige referansesekvenser, eller der korte DNA-fragmenter ikke gir tilstrekkelig oppløsning til å skille nærliggende arter, vil nøyaktigheten være lavere.

DNA ble ekstrahert ved hjelp av en metode som i stor grad bevarer insektenes morfologi etter ekstraksjonsprosessen (Batovska mfl. 2021). Dette gjør det mulig å ta vare på prøvematerialet for manuell etterkontroll og morfologisk identifikasjon av arter som ikke finnes i referansedatabasen, eller der DNA-sekvensene gir for dårlig oppløsning til sikker artsidentifikasjon.

Fordi metastrekkoding kan gi feilidentifikasjoner, ble artslisten validert mot registrerte funn i Artsdatabanken og Global Biodiversity Facility (GBIF). Arter som tidligere er påvist i Tønsberg-området, ellers i Norge eller i nabolandene Sverige, Danmark og Finland, ble vurdert som sannsynligvis korrekt identifisert. For disse artene ble rødlistestatus (Norsk rødliste for arter 2021) og eventuell fremmedartsstatus (Fremmedartslista 2023) registrert. Arter der beste artsforslag utelukkende er påvist i andre klimasoner eller på andre kontinenter, ble klassifisert som usikre identifikasjoner og ekskludert fra den videre analysen.

Metastrekkoding gir ikke et direkte mål på individantall. I stedet brukes *Amplicon Sequence Variants* (ASV-er) — unike DNA-sekvenser som representerer genetiske varianter innen og mellom arter i en prøve. Antall sekvensavlesninger (reads) knyttet til en arts ASV-er gir en

indikasjon på artens relative biomasse i prøven, forutsatt at artene som sammenlignes er noenlunde like i størrelse og vekt.

ASV-avlesningene vil bli brukt til å sammenligne den relative forekomsten av utvalgte arter mellom de fire felleplasseringene (B1, B2, A1, A2), for å undersøke om noen arter eller artsgrupper ser ut til å bli tiltrukket av veilysete eller skyr disse. Fordi artssammensetningen varierer mellom det mørke og det belyste feltet, analyseres først arter som er påvist på begge felt. For arter som kun er registrert på det belyste feltet, sammenlignes fordelingen mellom fellene på lysmastene (B1) og fellene i trær på 60–100 meter avstand (B2).

2.3 Lysmålinger

2.3.1 Praktisk gjennomføring i felt

Lysforholdene i forsøksområdet ble målt ved hver insektfellene i mai, september og oktober både i 2023, 2024 og 2025. Lysmålingene i denne delen av prosjektet hadde som mål å besvare følgende spørsmål:

- Hva er lysnivåene ved insektfellene langs veien, i lysløypa og på avstand ute i terrenget?
- Hvordan varierer lysforholdene mellom ulike steder og måleperioder?

For å undersøke dette ble det gjennomført lysmålinger ved insektfellene i alle registreringsperiodene gjennom sesongen (Figur 13). Målingene ble utført tre ganger i løpet av sesongen og alltid under nautisk tussemørke eller natt, altså når dagslyset var så svakt at kunstig belysning preget livsmiljøet mest. Målingene ble gjort i tilknytning til hver fangstperiode, men ikke samtidig med selve insektfangsten. Dette ble gjort for å unngå at ferdsel nær fellene og bruk av hodelykt skulle påvirke insektenes atferd og dermed resultatene fra fangsten.

Lysmålingene ble utført av to personer. Utstyret ble plassert rett under hver felle, hodelyktene ble slukket, og hvert opptak ble startet i mørke. Den ene personen gjennomførte målingene, mens den andre kvalitetssikret prosedyren og førte logg over resultatene. I enkelte perioder var det ikke mulig å måle alle punktene. I mai var for eksempel perioden med nautisk tussemørke så kort at soloppgang eller solnedgang kunne begynne å påvirke målingene før alle punktene var registrert. I de mørkeste områdene var det dessuten lite hensiktsmessig å gjennomføre kubiske målinger, fordi lysnivåene lå under instrumentets følsomhetsområde. I slike tilfeller ble horisontal illuminans målt og brukt som en tilnærmet maksimalverdi og som en praktisk proxy for de øvrige retningene (se detaljert figur i kapittel 4.4).



Figur 13: Gjennomføring av lysmålinger i felt. Foto: Erling Fjeldaas, Statens vegvesen.

Gjennomgående ble målingene utført med sensoren vendt oppover for å registrere horisontal irradians. I enkelte punkter ble det også gjennomført kubiske lysmålinger, der lys ble målt i seks retninger. Sammen med spektrale målinger og luminansmålinger gir dette et langt mer helhetlig bilde av lysmiljøet enn enkle målinger av lysnivå alene.

2.3.2 Lyssetting og analyser av lysmålinger

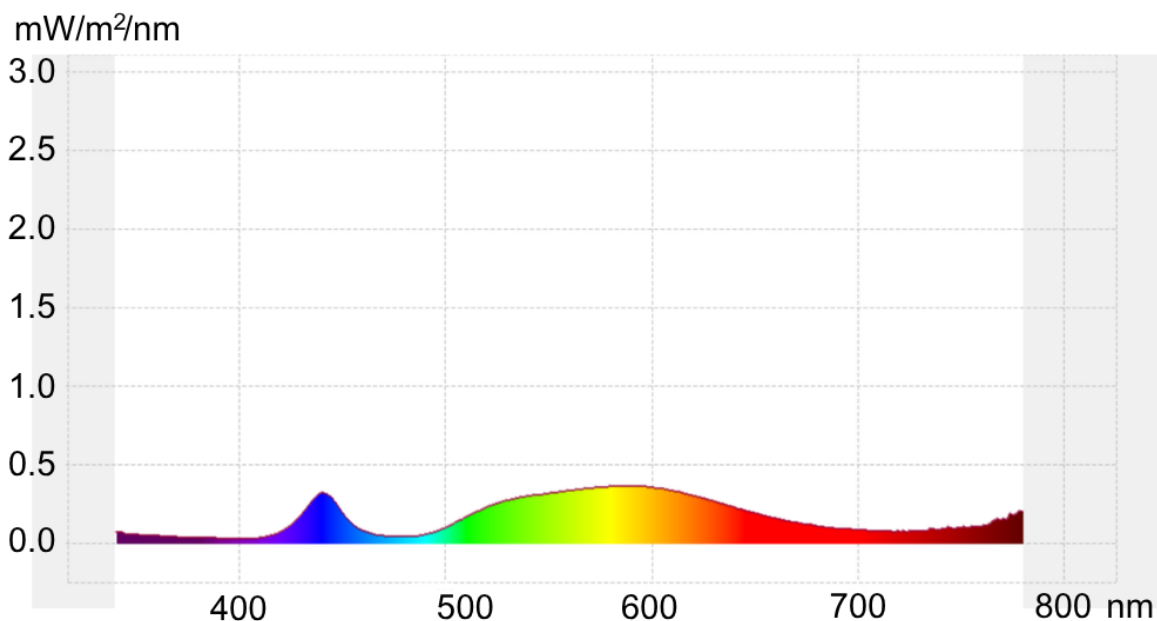
Alle målingene ved insektfellene ble utført under det eksisterende veilyset av typen Schröder Ampera 4000 K, 132 W, med 30 meters stolpeavstand og monteringshøyde på 8 meter.

Måling av illuminans og spektral irradians

Illuminans og spektral irradians ble målt med GL Optics Spectis 1.0. Instrumentet har begrenset følsomhet og kan bare registrere spekter ned til omtrent 6 lux. Dette betyr at man ved målinger nær armaturen får full spektralinformasjon, mens det ved større avstand fra lyskilden ofte bare er mulig å måle illuminans. Ved lave lysnivåer ble det brukt Salli-diffusor for å sikre tilstrekkelig datagrunnlag til å beregne illuminans.

I analysene er det lagt til grunn at spektralfordelingen har omtrent samme form også lenger unna veilyset, så lenge lyskilden er den samme. På dette grunnlaget kan målte illuminansverdier brukes til å beregne andre spektrale størrelser, så lenge spekteret til lyskilden er kjent. Dette er en vanlig tilnærming i lysmålinger og bygger på etablerte sammenhenger mellom radiometriske og fotometriske størrelser.

Instrumentet måler i utgangspunktet spektral irradians, altså hvor mye strålingsenergi som treffer en flate per arealenheter og bølgelengde. Samlet gir dette lyskildens spektrum (Figur 14).



Figur 14: Spekteret til armaturen uttrykt som spektral irradians målt ved gang- og sykkelveien, der belysningsstyrken var omtrent 21lux. Ved omregning tilsvarer denne lysmengden og dette spekteret 70,46 W/m². Figuren viser rådata uten korleksjon for mørkestøy. Den tilsynelatende strålingen i UV-området og i rødt/infrarødt skyldes derfor i hovedsak instrumentstøy.

Kubiske lysmålinger og lysfelt

Kubiske lysmålinger, slik disse er beskrevet nærmere i del 2 av rapporten, gir informasjon om lysets tredimensjonale egenskaper. Sammen med luminans- eller radianismålinger, som beskriver hvor intens lyskilden eller de belyste flatene er, kan de brukes til å beskrive et mer komplekst lysfelt. Dette er relevant i naturområder, der lyset ikke bare kommer direkte fra armaturene, men også reflekteres fra bakken, vegetasjon, luft, tåke og andre overflater.

Slike refleksjoner kan ha biologisk betydning, selv om de enkelte flatene har lavere intensitet enn selve armaturen. Armaturene er sterke punktkilder som kan sees på lang avstand, mens reflektert lys ofte kommer fra store flater og fordeler seg mer diffust i omgivelsene. Begge deler kan påvirke insekter og andre organismer.

Spektrale forhold og økologisk relevans

De spektrale forholdene er viktige fordi ulike arter reagerer forskjellig på ulike deler av lysspekteret. Når man vet hvilke arter som er til stede og hvilke som eventuelt forekommer i mindre grad, kan disse resultatene sammenholdes med kunnskap om artenes lysfølsomhet. Da er det mulig å vurdere om det finnes sammenhenger mellom insektfangstene og veilysets spektrale sammensetning. Det antas for eksempel ofte at mange insekter er særlig følsomme for ultrafiolett og blått lys, og at slike bølgelengder derfor bør begrenses. Når problemstillingen gjelder bestemte arter eller artsgrupper, gir metodene mulighet for mer spesifikke vurderinger og tiltak.

Luminansmålinger

Luminanskameraet LMK 6 ble brukt til måling av luminans (cd/m²). I del 2 av rapporten ble slike målinger brukt på vei, gang- og sykkelvei og i terreng. I denne delen av rapporten oppsummeres noen observasjoner som er relevante også i en økologisk sammenheng. Kameraet ble montert på stativ i en høyde på 150 cm og rettet mot veien.

2.4 Måling av utvalgte miljøfaktorer

I tillegg til lys er det mange andre faktorer som kan påvirke insektenes forekomst og aktivitet og dermed resultatene av insektfangsten. Vi har derfor registrert en rekke abiotiske og biotiske faktorer som kan være relevante forklaringsvariabler i de statistiske analysene.

2.4.1 Meteorologiske målinger

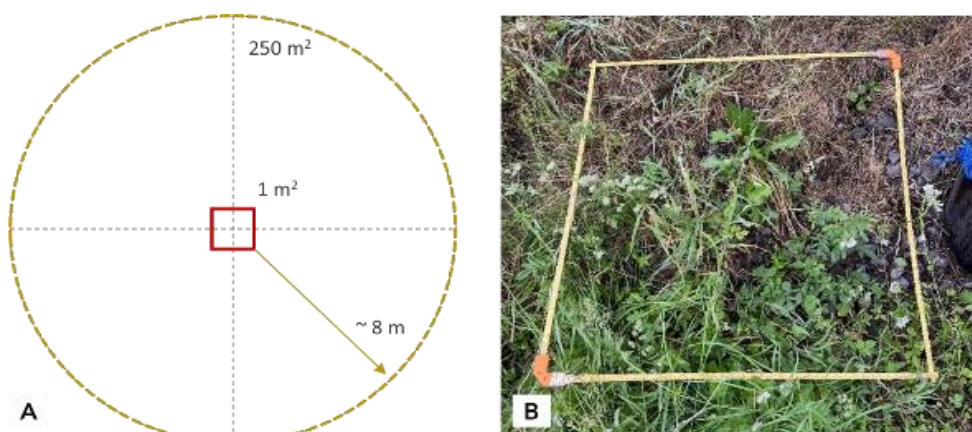
Fire dataloggere (HOBO MX2301A) ble plassert i forsøksområdet, to loggere i hvert av de to forsøksfeltene (Figur 15). I hvert felt ble en logger plassert ved en insektfelle som hang i lysmastene nærmest veien (posisjon 1 i Figur 7) og en logger ble plassert ved en insektfelle som var plassert på trær 60-100 m inne i terrenget. Alle loggerne registrerte temperaturen, luftfuktighet og duggpunkt hver time kontinuerlig gjennom alle innsamlingsperiodene. Nedbørsregistreringer ble ikke gjort direkte i forsøksfeltene, men ble hentet fra nærmeste klimastasjon i Barkåker, Tønsberg (Norsk Klimaservicesenter).



Figur 15: HOBO-loggere for måling av temperatur og luftfuktighet.

2.4.2 Vegetasjon

Vegetasjonen ved hver felle ble registrert en gang i midten av vekstsesongen (19. juni) i 2023. Kartleggingen følger i prinsipp metodikken brukt i ANO (Arealrepresentativ naturovervåking), men ble gjennomført på en litt forenklet måte. Forekomst av alle karplantearter samt et visuelt estimat av dekningsgrader (%) ble registrert i en 1 m² rute rett under hvert fellepunkt (Figur 16). Innenfor ruten registreres også prosentdekning av stein, strø, kvister og grove stubber. I tillegg til ruten registreres dominerende treslag og dekningsgrader av henholdsvis feltsjikt, busksjikt og tresjikt innenfor en 250 m²-sirkel rundt hver felle. Vi vurderte at det ikke var behov for å gjenta dette i 2024 og 2025 da vi ikke forventet store endringer i løpet av to år, annet enn årlig tilvekst.



Figur 16: Illustrasjon av kartleggingsområdet for vegetasjon med 1 m² ruta og 250 m² sirkelen rundt hvert fellepunkt (A) og hvordan ruta er lagt ut i terrenget (B).

2.4.3 Predasjon av flaggermus

Selv om hovedfokuset i dette prosjektet var på insekter, var vi også interessert i å undersøke om det var mulig å påvise flaggermusaktivitet i forsøksområdet, ettersom flaggermus er en artsgruppe som er tett knyttet til nattaktive insekter. Predasjonstrykk fra flaggermus kan være en viktig lokal påvirkningsfaktor for insektbestander, og det er godt dokumentert at enkelte flaggermusarter jakter insekter i tilknytning til lyskilder.

For datainnsamlingen ble det benyttet akustisk teknologi designet for registrering av aktivitet av flaggermus. For opptak av ultralyd ble det benyttet Song Meter Mini Bat 2 (Wildlife Acoustics, 2024), der opptakene startet ved 12 dB, men en triggettid på 3 sekunder. Intervallene for opptak var 15 sekunder. Frekvens intervallet var fra 16-256 kHz. Tidsplan for opptak var ved solnedgang og opptakene sluttet ved soloppgang. Detektorene ble plassert i direkte nærhet til vindusfellene med mikrofonen rettet ut fra stolpene (Figur 17).

For analysene av lydfilene ble programmet Kaleidoscope benyttet. Her ble alle lydfile med støy fjernet. Programmet finner da samtidig ultralydsekvenser fra flaggermus som samsvarer med sekvenser i et referansebibliotek. Deretter lager programmet spektrogrammer av lydopptakene, som gjør det mulig å visualisere flaggermusens lyder (ultralyd) slik at det blir lettere å artsbestemme manuelt ved behov. Programmet gir automatisk en artsidentifisering og foreslår hvilken flaggermusart som er registrert i opptakene, basert på sammenligning med referansedata. Opptak som samsvarte mindre enn 95% med referansebiblioteket ble forkastet.



Figur 17: Plassering av en flaggermus-detektor ved en av fellene i det mørke feltet.

Fakta: Flaggermus og lys

I Norge er det registrert 13 ulike flaggermusarter, der samtlige er nattaktive og tilhører glattnesefamilien (*Vespertilionidae*) (Artsdatabanken 2023). Flaggermus bruker mørket som jaktarena, ettersom de bruker ekkolokalisering, der lydsignaler og reflekterte ekko brukes til å lokalisere bytte, navigere og forflytte seg mellom leveområder. De jakter hovedsakelig på insekter og benytter både ekkolokalisering og visuelle signaler i svakt lys. Naturlig mørke er derfor en sentral forutsetning for deres økologiske funksjon.



Kunstig lys påvirker flaggermus på flere måter (Stone m.fl. 2015). Effektene er sammensatte og varierer mellom arter, avhengig av deres økologiske tilpasninger og atferd. Lysforurensning kan føre til at enkelte flaggermusarter unngår opplyste områder, noe som begrenser deres tilgang til jaktområder og kan fragmentere leveområder. En begrensning av jaktområder og økt konkurranse i mørkere områder kan føre til redusert energiinntak (Rowse m.fl. 2015).

Kunstig lys kan også ha en positiv effekt på enkelte arters næringssøk. Mange arter jakter i opplyste områder fordi lys tiltrekker store mengder insekter, noe som gir høyere tilgjengelighet av bytte (Bolliger m.fl. 2020b, Zeale m.fl. 2018). Samtidig påvirker lyset insektenes atferd ved å redusere deres evne til å unngå predasjon, noe som ytterligere øker jaktutbyttet for flaggermus. Støvsugereffekten kan føre til en lokal opphopning av insekter rundt lyskilder, samtidig som nærliggende mørke områder kan få reduserte insektmengder (Van Grunsven m.fl. 2020). Dette kan medføre en romlig ubalanse i næringstilgangen, som over tid kan påvirke flaggermusenes jaktstrategier og energibalanse. På lengre sikt kan slike endringer bidra til forskyvninger i artssammensetningen, der lystolerante flaggermusarter favoriseres på bekostning av mer lysskye arter (Rowse m.fl. 2015, Starik m.fl. 2024)

Til tross for disse fordelene for noen arter innebærer jakt i opplyste områder også betydelige risikoer. Flaggermus blir mer synlige for predatorer som ugler, katter og rovfugler, og de er også mer utsatt for kollisjoner med kjøretøy nært gatelys. For mange arter oppveier disse risikoene fordelene, noe som fører til at de unngår opplyste områder helt. Kunstig lys kan også fungere som en barriere i landskapet. Lys kan redusere tilgjengelige jaktområder og forstyrre flygeruter, noe som tvinger flaggermus til å ta lengre og mer energikrevende omveier. Dette kan føre til økt energiforbruk og høyere eksponering for ugunstige miljøforhold. Spesielt arter med høy bevaringsverdi viser sterk lysunngåelse, noe som gjør dem særlig sårbare for økende lysforurensning (Russo m.fl. 2019, Voigt m.fl. 2018). For lysfølsomme arter kan opplyste veier og områder oppleves som utilgjengelige, noe som fører til fragmentering av leveområder og redusert genetisk utveksling mellom bestander.

Effektene av belysning er også tydelige i tilknytning til hvileplasser. Lys, både inne i og rundt oppholdsstedene (roosts), kan føre til økt predasjonsrisiko, forstyrre naturlig utflygning og redusere tiden tilgjengelig for næringssøk. Dette kan igjen påvirke reproduksjon og unge individers utvikling negativt. I mange tilfeller fører sterk belysning til at kolonier forlater sine etablerte hvileplasser, noe som kan få alvorlige konsekvenser for bestandene, særlig fordi mange arter er stedtrofaste (Rydell m.fl. 2017). For mer informasjon henviser vi blant annet til oversikter hos Denzinger og Schnitzler (2013), Rowse m.fl. (2015), Stone m.fl. (2015) og Voigt m.fl. (2021).

2.5 Statistiske analyser

2.5.1 Forberedelse av datasettet

Rådata fra insektregistreringene og den manuelle sorteringen ble tilrettelagt før den statistiske analysen ble gjennomført. Vi har blant annet aggregert måneder til sesonger, da dette økologisk sett gir mer mening enn å forholde seg til måneder. Dette førte til at målingene gjennomført i april og mai ble slått sammen til vår, mens september-målingen omtales videre som tidlig høst og oktober som sen høst.

Videre har vi slått sammen variablene for felt (A, B) og plassering (1, 2) til fire ulike felleplasseringer (behandlinger) som representerer varierende lysforhold, nemlig A1 (mørkt, ved tursti/gangvei), A2 (mørkt, avstand), B1 (belyst, ved vei) og B2 (belyst, avstand). Behandlingene gjenspeiler dermed en grov lysgradient fra B1 – B2 – A1/A2. En av fellene i felt A (A31) ble i september 2025 stjålet mens insektregistreringen pågikk. Vi har derfor fjernet dette datapunktet fra datasettet.

En feilfunksjon på dataloggeren ved B1 i 2024 førte til at vi mangler målinger av temperatur og luftfuktighet for denne felleplasseringen i 2024. Ettersom avstanden mellom målepunktet i B1 og nærmeste fungerende logger i B2 er relativt liten (ca. 90 meter), vurderte vi at forholdene på disse to stedene er relativt like. Dette bekreftes også i de årene der alle fire loggerne var aktive, og målingene viste liten forskjell mellom posisjonene. Vi brukte derfor data fra år der begge loggere fungerte samtidig (2023 og 2025) til å beregne hvor stor og systematisk forskjellen mellom målingene i B1 og B2 vanligvis er. På bakgrunn av dette estimerte vi verdier for B1 i 2024 ved å justere målingene fra B2 med denne beregnede forskjellen (*bias-corrected imputation*).

2.5.2 Modellering av insektmengde

For å undersøke hvordan sesong, lysforhold og år påvirket antallet insekter brukte vi generaliserte lineære blandede modeller (GLMM) med en negativ binomisk fordeling. Denne typen modeller håndterer situasjoner der variasjonen i datamaterialet er større enn det som kan forklares av en vanlig Poisson-modell (såkalt overdispersjon).

Alle modellene inkluderte sesong, lysforhold (behandling) og år som faste forklaringsvariabler. I tillegg la vi inn en tilfeldig effekt for hver enkelt felle, slik at vi tok høyde for at de samme fellepunktene ble brukt gjentatte ganger gjennom hele prosjektperioden.

Vi bygget opp modellene trinnvis. Først undersøkte vi hvilken kombinasjon av meteorologiske variabler (temperatur, luftfuktighet og nedbør) som ga den beste forklaringen på insektaktiviteten. For å sammenlikne modellene brukte vi Akaikes informasjonskriterium (AIC), et mål som hjelper å velge den modellen som gir størst støtte i data uten å bli unødvendig komplisert. Deretter testet vi om det var nyttig å inkludere variabler for belyningsstyrke og vegetasjonsdekning og andel vei. Slike variabler ble bare tatt med i den endelige modellen dersom de faktisk forbedret modellen. Til slutt sjekket vi at modellene ikke hadde forklaringsvariabler som var for sterkt korrelerte med hverandre og droppet eventuelle korrelerte variabler for å stabilisere modellen.

Den endelige GLMM-modellen for insekter totalt ble dermed slikt:

antall insekter ~ sesong × felt + år + temperatur (gjennomsnitt) + relativ luftfuktighet (gjennomsnitt og minimum) + nedbør + tredekning + (1 | felle)

Etter at de endelige modellene for alle insekter og de fem insektordener var etablert, undersøkte vi om de oppfylte de statistiske forutsetningene. Dette gjorde vi ved hjelp av DHARMA, et verktøy som lager residualdiagnostikk spesielt for hierarkiske modeller. Testene og tilhørende plots viste at hovedmodellen for den totale insektmengden fungerte godt for dataene og at forutsetninger ble møtt. Det samme gjelder de fleste insektordener, med unntak av veps (Hymenoptera) som viste tydelig overdispersjon. Den mest sannsynlige årsaken til dette er at denne ordene har mange 0-verdier, dvs. at variansen i dataene er større enn det som antas av den statistiske modellen. GLMM passer dermed ikke til denne fordelingen og vi har i stedet brukt en log-transformerte LMM som hovedmodell for denne insektorden.

For å tolke forskjeller mellom sesonger og lysmengder brukte vi beregnede estimerte marginale gjennomsnitt (EMMs). Dette gjorde det mulig å sammenligne behandlingene innen hver sesong, se sesongforskjeller innen hver behandling, samt beregne forskjellen mellom de to feltene (A og B) samlet. Alle prosentvise forskjeller mellom grupper er beregnet basert på EMMMeans (modelljusterte marginale midler). Dette gir biologisk meningsfulle og lett tolkbare estimater av forventet fangst, i motsetning til rå koeffisienter på log-skala.

2.5.3 Sensitivitetsanalyse

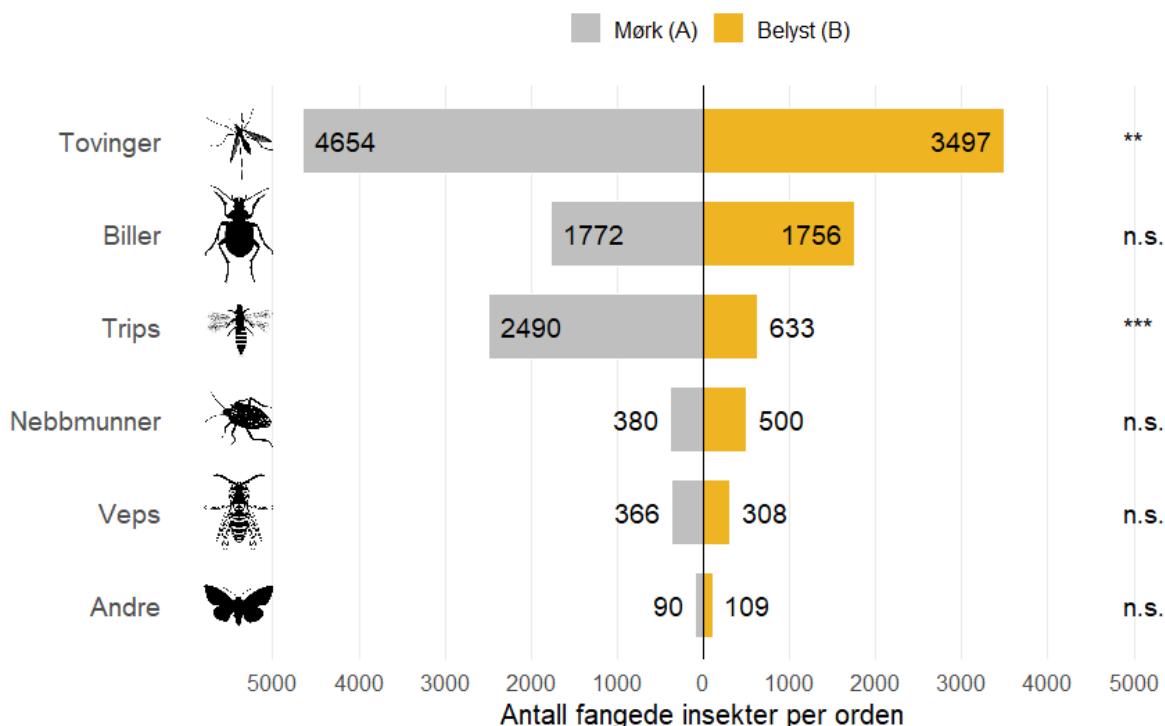
For å undersøke hvor robuste resultatene er, gjennomførte vi også en sensitivitetsanalyse. Dette gjøres for å utelukke at resultatene er avhengige av modellene som ble valgt i analysen. For dette brukte vi lineære blandede modeller (LMM) på log-transformerte insektmengder. Dette er en alternativ modelltilnærming tilpasset data som varierer mye. Disse modellene hadde samme struktur som GLMM-modellene med de samme faste og tilfeldige effektene. Vi sammenlignet resultatene fra LMM med GLMM ved hjelp av AIC og EMM-kontraster. Sensitivitetsanalysen viste at hovedmønstrene i resultatene var stabile uavhengig av hvilken modelltilnærming som ble brukt.

3 Resultater

3.1 Total fangst av insekter

I løpet av de tre årene med feltarbeid samlet vi inn 16 555 insekter fra 13 ulike ordener, inkludert 8151 tovinger (49,2 %), 3528 biller (21,3 %), 3123 trips (18,9 %), 880 nebbmunner (5,3 %), 674 veps (4,1 %) og 199 individer (1,2 %) fra de resterende ordenene (sommerfugler, nettvinger, støvlus, døgnfluer, vårfluer, steinfluer og øyenstikkere), slått sammen til gruppen «andre» (Figur 18).

Antall fangede insekter varierte i stor grad mellom årene. Flest insekter ble fanget i 2023. I de påfølgende årene var antallet nedadgående med ~59 % færre insekter i 2024 og ~80 % færre insekter i 2025 (begge $p < 0.001$). Det er imidlertid viktig å understreke at denne reduksjonen ikke nødvendigvis reflekterer en reell, langsiktig nedgang i insektbestander. Et tidsrom på tre år er for kort til å kunne konkludere om vedvarende bestandsendringer, ettersom årlige variasjoner ofte skyldes naturlige svingninger i værforhold, fenologi og andre miljøfaktorer (se også en nærmere diskusjon av dette i kapittel 4.1).



Figur 18: Antall fangede insekter i de fem mest tallrike insektordener over tre år i de to forsøksfeltene. Signifikansnivået til høyre viser om forskjellene mellom felt A og B er statistisk signifikante, etter at resultatene ble korrigert for sesong, plassering, år og gjentakende målinger.

Figur 19 viser noen eksempler på insektarter som inngår i de ulike insektordener vi har registrert flest arter og individer i datamaterialet vårt.



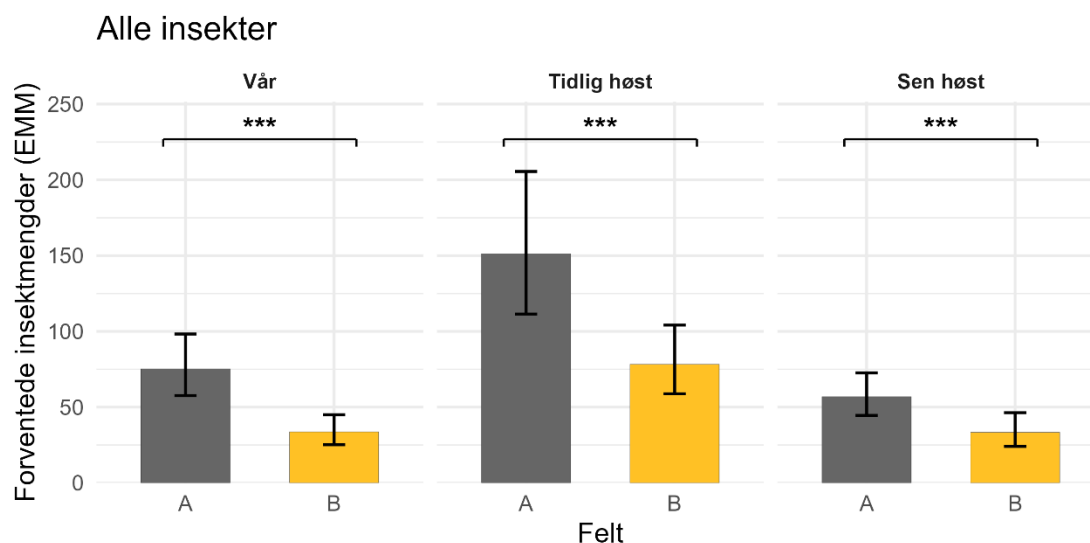
Figur 19: Typiske representanter av de mest artsrike og tallrike insektordener i datamaterialet. A) tovinger - fjærmygg, B) biller - *Rhagozycha fulva*, C) nebbmunner - *Lygus pratensis*, D) trips - *Dendrothrips degeeri*, E) veps - maskebie, F) sommerfugler – Kjempeengmott *Patania ruralis*. Foto: A, B, C, E, F - Ulrike Bayr, D - Marie Lou Legrand (iNaturalist), CC BY-NC 4.0.

3.2 Insektenes respons i et belyst veimiljø

3.2.1 Alle insekter

På tvers av alle år og sesonger ble det fanget klart flere insekter i det mørke feltet (A) sammenlignet med det belyste feltet (B). De forventede middelerverdiene (EMM) fra GLMM-modellen viser at felt A i gjennomsnitt inneholdt 86,5 insekter per prøve (95 % KI: 74,1–101,0), mens felt B hadde 44,5 insekter (95 % KI: 38,0–52,1). Dermed hadde det belyste feltet omtrent 49 % færre insekter enn det mørke feltet. Denne effekten er statistisk signifikant og konsistent på tvers av sesonger og år.

Vi fant også betydelige sesongvariasjoner i insektaktivitet (Figur 20). Den totale insektfangsten var klart høyest tidlig på høsten (september), da fangstene var om lag dobbelt så høye som om våren (96 % høyere; $p = 0,0006$) og nær tre ganger så høye som i sen høst. Insektaktiviteten i sen høst var derimot på omtrent samme nivå som om våren, og forskjellen mellom disse sesongene var ikke signifikant ($p = 0,115$). I tillegg viste analysene en signifikant interaksjon mellom sesong og felt. Forskjellen mellom det belyste og det mørke feltet var størst om våren og tidlig høst, mens den var noe svakere i sen høst.



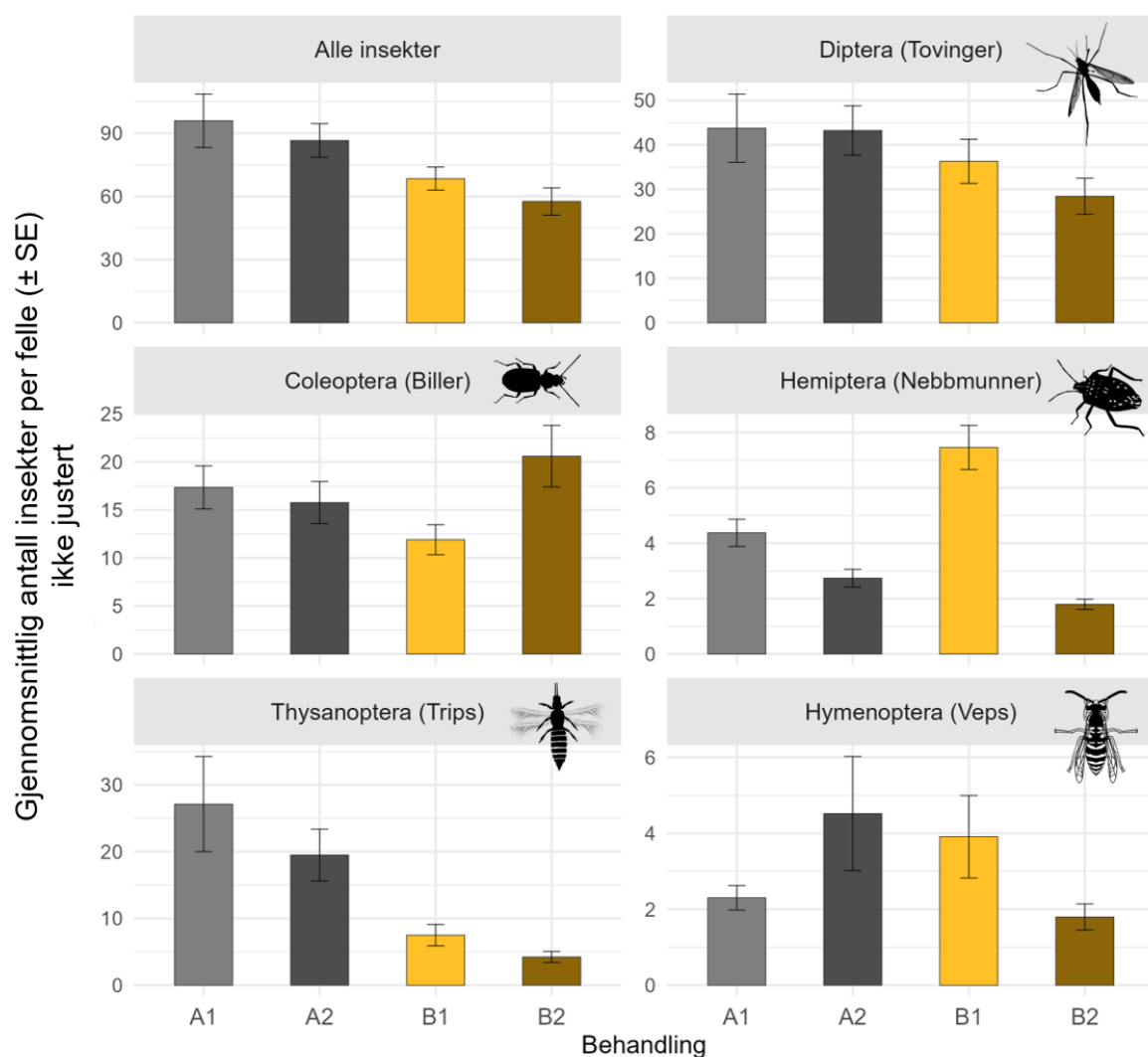
Figur 20: Forventede middelerverdiene (EMM) for antall fangede insekter i det mørke feltet (A, grå søyler) og det belyste feltet (B, gule søyler) gjennom de tre sesongene. Verdiene er modelljusterte estimer fra en negativ binomisk generalisert lineær blandet modell (NB-GLMM), der det er korrigert for værforhold og vegetasjon. Feilstolpene viser 95 % konfidensintervall. Stjernene angir statistisk signifikante forskjeller mellom felt A og B innen samme sesong.

Som beskrevet i metoden ble fellene innenfor hvert felt videre delt inn i to ulike plasseringer. A1 og B1 representerer fellene som er plassert nærmest hhv. tursti og bilvei, mens A2 og B2 er plassert 60–100 meter fra hhv. tursti og bilvei. I analysene og figurene omtaler vi disse fire plasseringene som «behandling», ettersom de representerer ulike belyningsforhold langs en lysgradient – fra fullt lys (B1), begrenset lys (B2), til relativt mørke forhold (A1 og A2). Lysmålingene viste at belysningen ved B1 var svært mye høyere enn i de tre andre områdene og at belyningsstyrken (irradians) avtok raskt med økende avstand fra veien.

Ved å skille mellom de ulike plasseringene får vi et mer nyansert bilde og kan også oppdage mer finskala forskjeller innenfor hvert felt. Figur 21 viser gjennomsnittlige fangstmengder per

felle for de fire felleplasseringene, beregnet på tvers av alle sesonger og år. Tallene i figuren er rådata, det vil si at de ikke er korrigert for kovariabler som sesong, værforhold eller vegetasjonsstruktur. Figuren gir derfor kun en overordnet og deskriptiv framstilling av fangstmengdene mellom plasseringene.

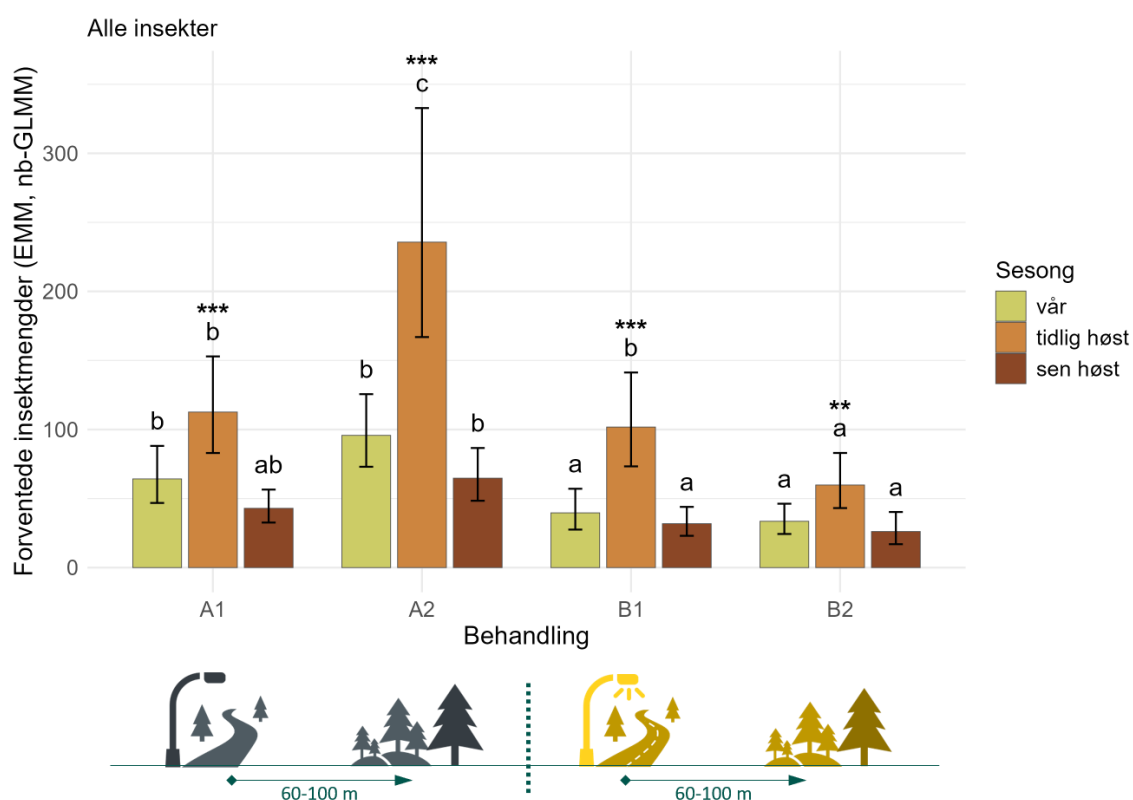
Rådata kan ikke brukes til å evaluere effekten av ulike behandlinger ettersom fangstmengdene påvirkes av mange andre forhold, som vær, sesong og vegetasjon. Uten å korrigere for slike kovariabler kan forskjeller mellom behandlingene bli misvisende og forveksles lett med naturlige variasjoner i området. Som beskrevet i kapittel 2.5 har vi derfor brukt en egnet statistisk modell (GLMM) som kontrollerer for kovariabler og gjør det mulig å isolere den faktiske effekten av ulike lysforhold.



Figur 21: Gjennomsnittlig antall fangede insekter per felle ($\pm$ SE) for alle insekter samlet og de fem mest individrike insektordenene i de fire behandlingene A1, A2, B1 og B2 i perioden 2023–2025. Verdiene er basert på rådata og er ikke korrigert for sesong, værforhold eller vegetasjonsstruktur. A1 og A2 representerer felleplasseringene i det mørke feltet, mens B1 og B2 representerer felleplasseringene i det belyste feltet. Merk at skalaen på y-aksen varierer mellom insektordenene.

Etter at tallene ble korrigert for kovariabler, viser resultatene at fellene ved plassering A2 (mørkt, på avstand) fanget flest insekter totalt over alle sesonger og år (Figur 22). Fangstene ved A1 var om lag 40 % lavere enn ved A2. Sammenlignet med A2 var fangstene rundt 56 % lavere ved B1 og 67 % lavere ved B2. Forholdene mellom de ulike plasseringene holder seg stabile på tvers av alle sesonger, men med ulik styrke.

Mens det belyste feltet samlet sett hadde færre insekter enn det mørke feltet, ser vi samtidig tydelige finskala variasjoner innenfor det belyste feltet. Tidlig på høsten ble det fanget rundt 70 % flere insekter i fellene nærmest veien (B1) enn i fellene på avstand (B2). I det mørke feltet ble det derimot registrert flere insekter ved felleplasseringen lengre inne i hogstfeltet (A2) enn ved fellen langs turstien (A1) i samme periode. Dette var den eneste signifikante forskjellen innen feltet ($p = 0,0168$) og er indikert med bokstavene 'a' og 'b' i Figur 22. De motsatte mønstrene i felt A og B tyder på at høyere fangster ved lysmastene (B1) neppe kan forklares av den mer åpne plasseringen nær veien alene, men kan være knyttet til forhold som er spesifikke for det belyste feltet. I de øvrige sesongene var forskjellene mellom felleplasseringene ikke signifikante.



Figur 22: Forventet insektfangst per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger (vår, tidlig høst og sen høst). Figuren viser modellerte tall (nb-GLMM) og er korrigert for sesong, år, værforhold og vegetasjonsstruktur. Stjerner over hver behandling indikerer at minst én sesong innen samme behandling er signifikant forskjellig fra en annen sesong. Ulike bokstaver angir signifikante forskjeller mellom behandlingene innenfor samme sesong.

Blant de abiotiske faktorene var det særlig gjennomsnittlig temperatur, relativ luftfuktighet og nedbør som påvirket insektmengdene. Høyere gjennomsnittlig temperatur og høy luftfuktighet hadde en sterk negativ effekt som medførte lavere insektaktivitet. Denne sammenhengen kan være knyttet til perioder med økt lavtrykksaktivitet om høsten.

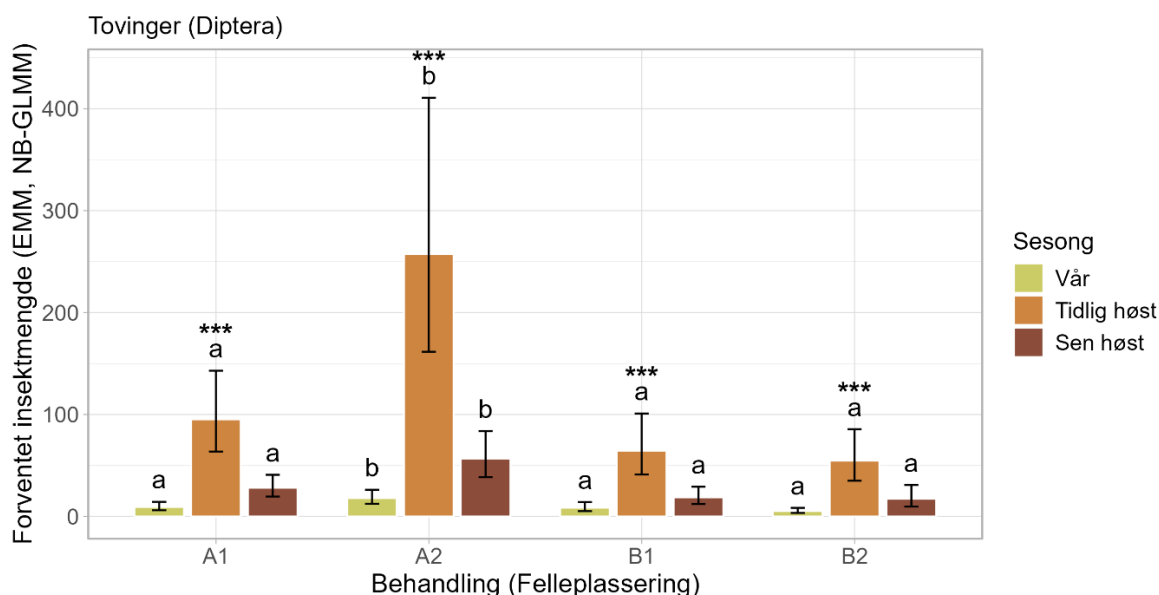
Den statistiske modellen (GLMM; se kapittel 2.5.2) forklarte om lag 73 % av variasjonen i insektfangstene, noe som er høyt for økologiske data. Dette betyr at modellen i stor grad klarte å fange opp de viktigste faktorene som påvirket antallet insekter som ble registrert. Den høye forklaringsgraden skyldes først og fremst tydelige og gjennomgående forskjeller mellom årstider, mellom de undersøkte feltene og mellom fangstdager med ulike værforhold.

Vegetasjonsstruktur, i den endelige modellen representert kun ved tredekning, forklarte en relativt liten del av variasjonen, men dette betyr ikke at vegetasjon ikke har en økologisk betydning – kun at den ikke ga ytterligere forklaringskraft i modellen. For å undersøke forskjellene i responsen mellom ulike insektgrupper nærmere, har vi gjennomført egne analyser for hver av de fem mest tallrike insektordenene i datamaterialet vårt.

3.2.2 Insektordener

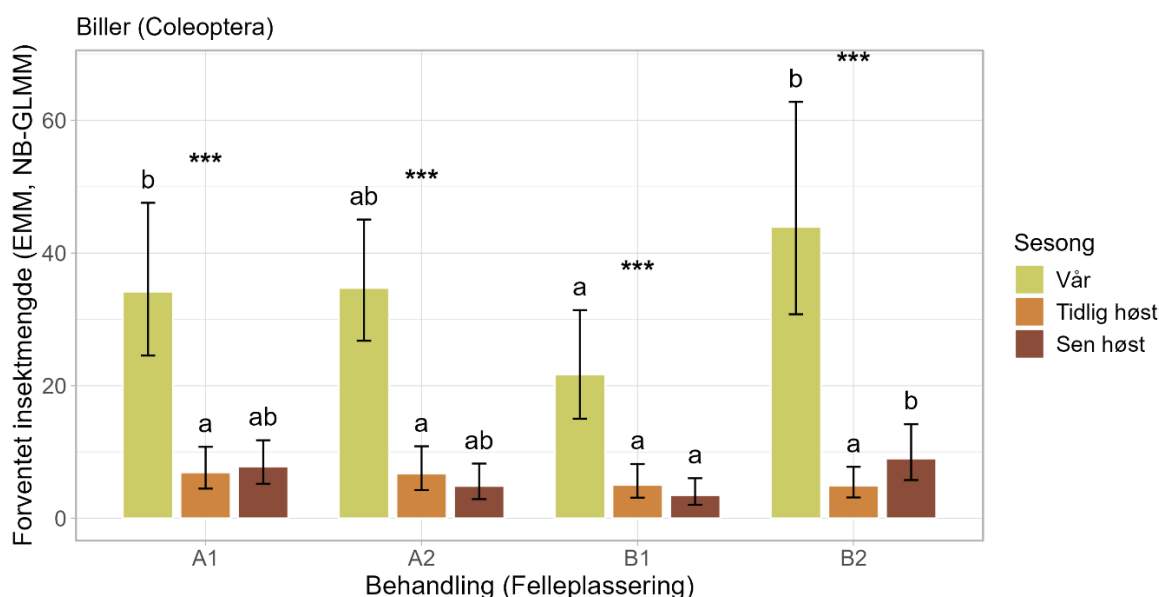
Mens totalt antall av alle insekter viser en tydelig forskjell mellom de to feltene, er det også store variasjoner mellom insektordener. Tre av de fem undersøkte ordenene hadde signifikant lavere forekomst i det belyste feltet B, men styrken på effekten og hvordan den endret seg gjennom sesongen varierte i stor grad mellom insektordener.

Tovinger (Diptera) utgjorde den største delen av insektfangsten, og modellen viser svært sterke sesong- og miljøeffekter (Figur 23). Det belyste feltet (B) hadde omtrent 48 % færre insekter enn felt A. Denne reduksjonen var stabil gjennom hele sesongen. Fangstene økte kraftig fra vår til tidlig høst, med en modellestimert økning på omtrent 1-ganger. Fangsten var fortsatt høyt i sen høst, omtrent 3-ganger høyere enn i vår. Når vi ser på de fire ulike felleplasseringene (behandlinger) fant vi tydelige forskjeller i insektmengder innenfor felt A, der A2 hadde klart høyest fangst gjennom hele sesongen. I felt B var det en tendens til at fangsten ved B1 var gjennomgående litt høyere enn fangsten ved B2, men forskjellen var ikke signifikant.



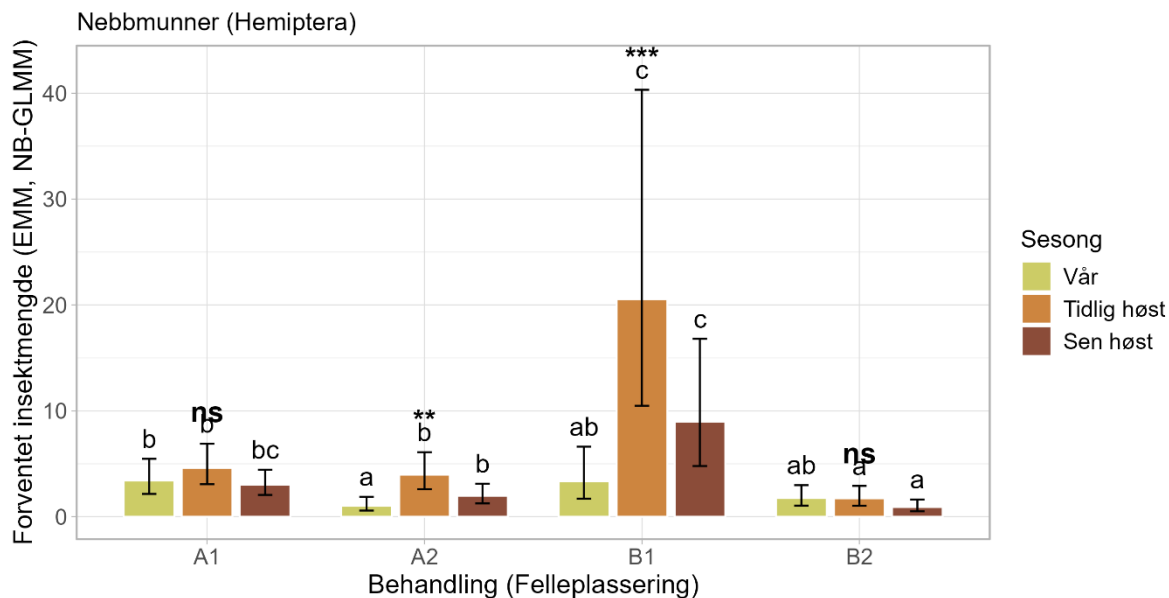
Figur 23: Forventet fangst av tovinger (Diptera) per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger. Modelljusterte estimater (NB-GLMM). Symboler og forkortelser som i Figur 19.

Biller (Coleoptera) viste ingen forskjell i fangst mellom det mørke og det belyste feltet; gjennomsnittsverdiene var nær identiske (Figur 24). Ordenene viste derimot en sterk sesongvariasjon med klart høyest fangstmengde om våren og betydelig lavere mengder både tidlig og sen høst. Delt på de fire behandlingene var fangsten ved A1 og A2 like, mens B1 hadde noe lavere fangster enn både B2 og A1 i enkelte sesonger, men forskjellene var svake og ikke konsistente. Blant de meteorologiske variablene hadde temperatur og nedbør klare effekter. Tredekning hadde en signifikant positiv effekt på fangst av biller ($p < 0.001$), der økt tredekning var assosiert med om lag 17 % høyere forventet fangst. Samlet sett viser resultatene ingen tydelig påvirkning av biller, og at sesong og tredekning er de klart viktigste forklaringsvariablene for denne orden.



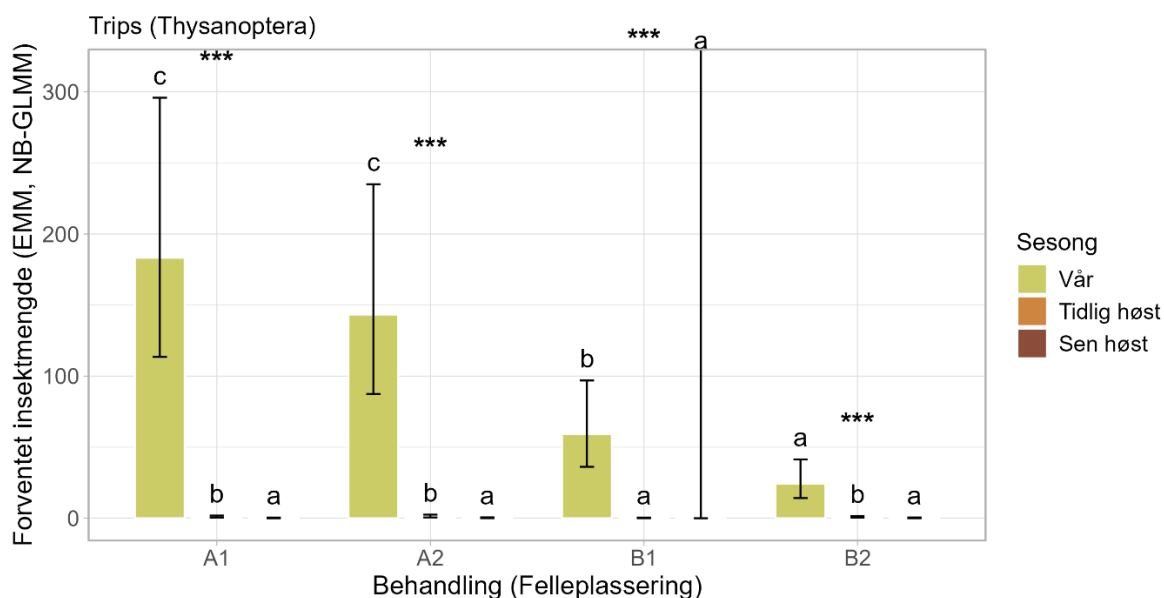
Figur 24: Forventet fangst av biller (Coleoptera) per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger. Modelljusterte estimater (NB-GLMM). Symboler og forkortelser som i Figur 19.

Nebbmunn (Hemiptera) viste tydelige sesong- og feltforskjeller (Figur 25). Fangstmengdene var høyest tidlig høst, mens sen høst lå på et middels nivå uten signifikant forskjell fra våren. Det belyste feltet hadde totalt om lag 42 % færre insekter enn det mørke om våren og 25 % færre på senhøsten. På behandlingsnivå skilte seg nebbmunnene fra de øvrige insektordenene. Fellene nærmest veilyset (B1) hadde svært høye fangster i både tidlig og sen høst, opptil 10–12 ganger høyere enn B2 og betydelig høyere enn både A1 og A2. Behandlingene i det mørke feltet lå generelt på et mellomnivå, men det var også forskjeller mellom A1 og A2, særlig om våren, mens B2 gjennomgående hadde de laveste fangstene. Resultatene kan tyde på en lokal konsentrasjon av nebbmunner nær lyskilden om høsten, snarere enn en generell økning i forekomsten på feltnivå.



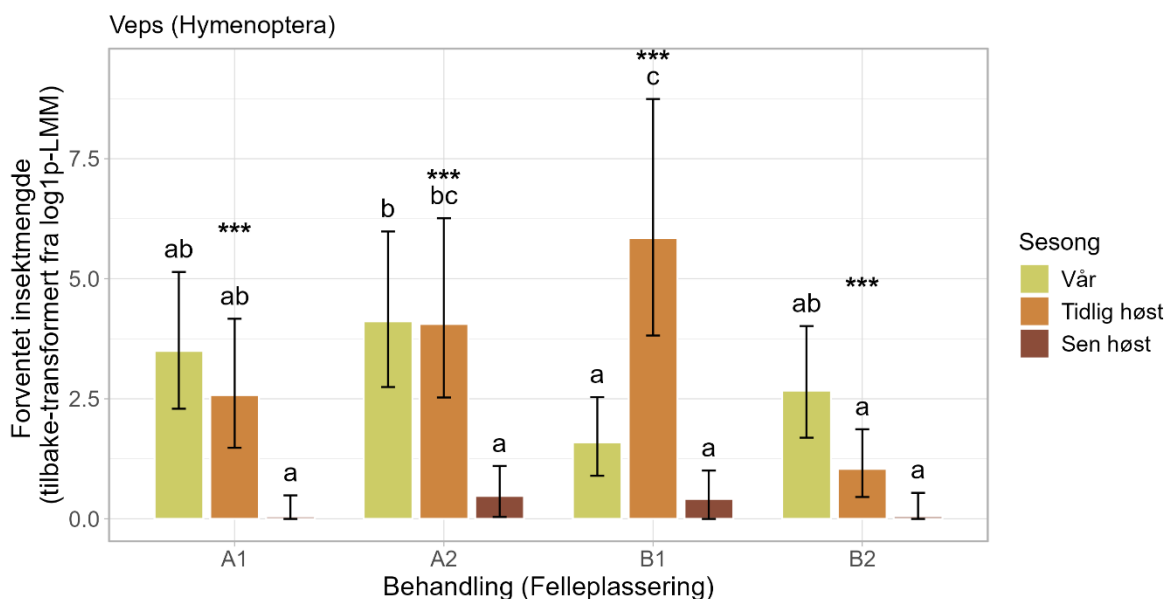
Figur 25: Forventet fangst av nebbmunner (Hemiptera) per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger. Modelljusterte estimater (NB-GLMM). Symboler og forkortelser som i Figur 19.

Trips (Thysanoptera) viste sterke feltforskjeller, med omtrent 66 % lavere fangster i det belyste feltet (B) enn i det mørke (A) (Figur 26). Trips hadde en kraftig vårdominans, der fangstene i tidlig og sen høst lå nær null, noe som førte til store usikkerheter i modellen. På behandlingsnivå var fangsten ved A1 og A2 om våren klart høyere enn fangsten ved B1 og spesielt B2 (opptil 8 ganger høyere enn B2). Innenfor det belyste feltet ble det i denne perioden fanget om lag dobbelt så mange individer i fellene ved lysmastene (B1) som i fellene plassert på avstand (B2), mens det ikke var noen signifikant forskjell mellom A1 og A2 i det mørke feltet, selv om fangstene viste en tendens til å være høyere ved A1.



Figur 26: Forventet fangst av trips (Thysanoptera) per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger. Modelljusterte estimater (NB-GLMM). Symboler og forkortelser som i Figur 19.

Veps (Hymenoptera) viste moderate feltforskjeller, med omtrent 35–45 % lavere forekomst i det belyste feltet (B) sammenlignet med det mørke (A) (Figur 27). På behandlingsnivå var fangsten ved A1 og A2 høyest om våren, mens fangsten ved B1 lå lavest. Tidlig høst endret dette seg. B1 hadde da de høyeste fangstmengdene, nesten dobbelt så høye som ved A1 og betydelig høyere enn ved B2, som også hadde de laveste fangstene. Sen høst var forskjellene mellom alle behandlingene små og ikke statistisk signifikante. Samlet sett kan resultatene tyde på økt aktivitet og konsentrasjon av veps rundt lyskilden tidlig på høsten.



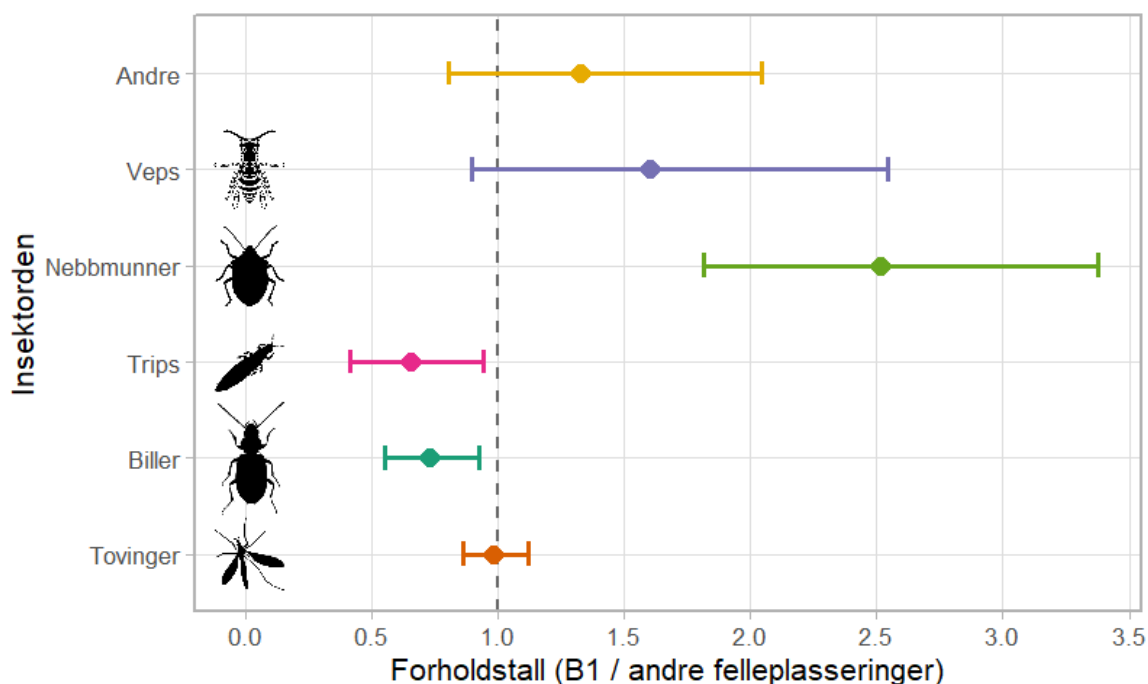
Figur 27: Forventet fangst av veps (Hymenoptera) per felle fordelt over de fire felleplasseringene og tre sesonger. Modelljusterte estimater (NB-GLMM). Symboler og forkortelser som i Figur 19.

I tillegg til de ovennevnte analyser for de fire behandlingene, har vi sett nærmere på forholdet mellom fangstene ved den sterkest belyste felleplasseringen (B1) og de øvrige plasseringene B2, A1 og A2. Figur 28 viser resultatene for insekter totalt og for hver av de fem insektordenene som ble fanget i størst antall. I tillegg er gruppen «Andre» inkludert, selv om fangstmengdene har vært lave i denne gruppen. Verdiene er beregnet ved hjelp av en statistisk metode kalt bootstrapping. Dette innebærer at de innsamlede dataene brukes mange ganger på nytt i gjentatte beregninger, der man trekker tilfeldige utvalg fra de samme fellene. På denne måten kan man anslå både et gjennomsnitt og hvor stor usikkerhet som er knyttet til dette gjennomsnittet.

De horisontale linjene i figuren viser 95 % usikkerhetsintervaller, som kan tolkes som at det er høy sannsynlighet for at den sanne gjennomsnittsverdien ligger innenfor dette området. Et forholdstall større enn 1 betyr at insektordenen forekommer relativt oftere ved B1 enn ved de andre plasseringene, mens et forholdstall mindre enn 1 indikerer at den forekommer sjeldnere ved B1. Dersom usikkerhetsintervallet ikke krysser verdien 1, indikerer dette en tydelig forskjell mellom B1 og de øvrige plasseringene for den aktuelle insektordenen. Når intervallet krysser 1, er forskjellen usikker og kan ikke skilles klart fra tilfeldige variasjoner.

Resultatene viser at nebbmunner har en tydelig høyere forekomst ved de fellene med full belysning. Veps og gruppen «Andre» (sommerfugler, nettvinger, støvlus, døgnfluer, vårflyer, steinfluer og øyenstikkere) viser samme tendens, men forskjellene er ikke signifikante og

dermed usikre. Også resultatene for tovinger er ikke signifikante. Biller og trips viser derimot en tydelig underrepresentasjon ved B1 sammenlignet med de øvrige plasseringene.



Figur 28: Forholdet mellom insektfangst ved B1 (fullt veils) og øvrige felleplasseringer for hver insektorden. Tallene er bootstrap-baserte 95 % konfidensintervaller for gjennomsnittet av andelen på prøvenivå (felle). Et forholdstall > 1 indikerer at ordenen er relativt mer representert på B1 enn andre steder; < 1 antyder det motsatte.

3.2.3 Artsmangfold

Ved bruk av en terskel på $\geq 98\%$ DNA-sekvenslikhet for artsidentifikasjon ble det påvist 629 unike arter totalt på begge forsøksfeltene i løpet av de tre fangstperiodene vår, tidlig høst og sen høst i årene 2023-2025. I tillegg ble 39 arter identifisert til slektsnivå. Det ble påvist omtrent like mange arter totalt på det mørke feltet (437) som på det belyste feltet (449) i løpet av forsøksperioden (Tabell 2). Det var heller ingen store forskjeller eller tydelige trender i antall arter som ble påvist på hver av de fire ulike felleplasseringene. Imidlertid varierte artssammensetningen en god del, både med år, forsøksfelt og felleplassering. Som antall insekter, viste også artsmangfoldet en nedadgående trend fra 387 arter påvist i 2023, til 337 arter i 2024 og 246 arter i 2025 (en reduksjon på hhv. ca. 13 % og 37 %).

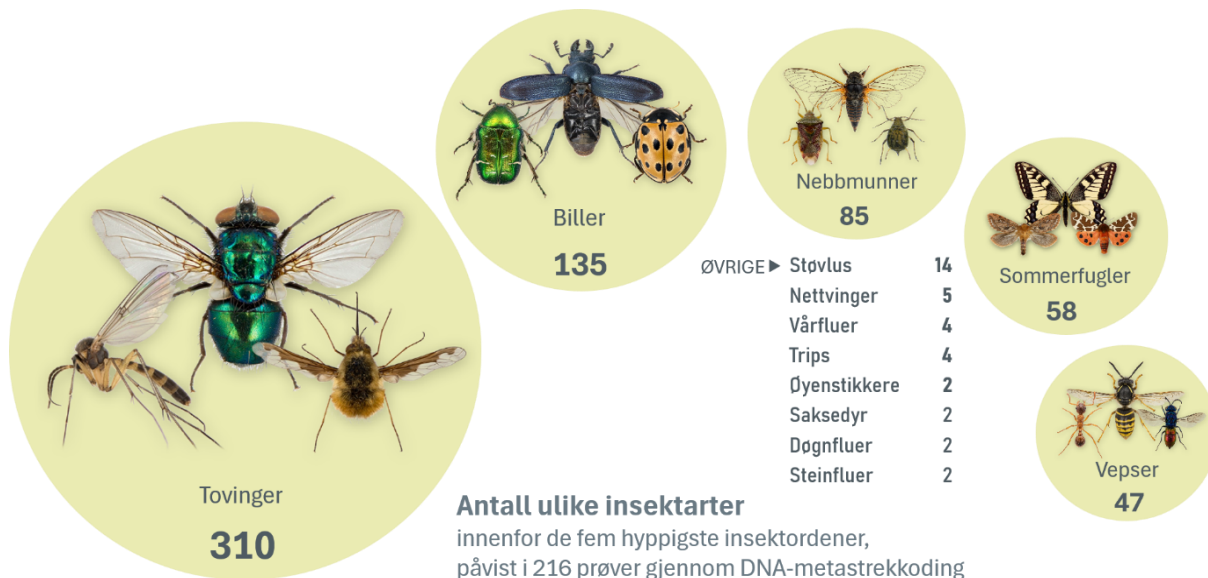
Tabell 2: Antall arter påvist med metastrekkoding i prøvene fra insektfellene på de to forsøksfeltene i Barkåker i Tønsberg i løpet av forsøksperioden. Det er brukt en terskel på $\geq 98\%$ for identifikasjon til art for alle taksa.

Felt	Felleplassering	2023	2024	2025	Hele forsøksperioden
Mørkt (A)	På stolpe ved tursti (A1)	156	140	120	309
	60-100 m inne i felt (A2)	142	132	116	282
Belyst (B)	På lysmaster (B1)	152	149	95	289
	60-100 m inne i felt (B2)	147	108	112	278
Totalt på mørkt felt (A)		239	212	168	437
Totalt på belyst felt (B)		244	215	164	449

De identifiserte artene tilhørte 135 familier i 13 ordener. Av disse var 113 familier representert på det mørke feltet og 111 på det belyste feltet (Tabell 3). Tovinger og biller var de mest familie- og artsrike ordenene på begge forsøksfeltene, fulgt av nebbmunner, sommerfugler og veps (Figur 29). Det ble funnet flere arter av biller på det belyste feltet enn på det mørke feltet, mens det var omvendt for bl.a. sommerfugler og veps, der det ble funnet flest arter på det mørke feltet. For de andre insektordenene var det små forskjeller i artsantall mellom de to forsøksfeltene.

Tabell 3: Antall insektfamilier og -arter som ble påvist i prøvene fra insektfellene på de to forsøksfeltene i Barkåker i Tønsberg i løpet av hele forsøksperioden.

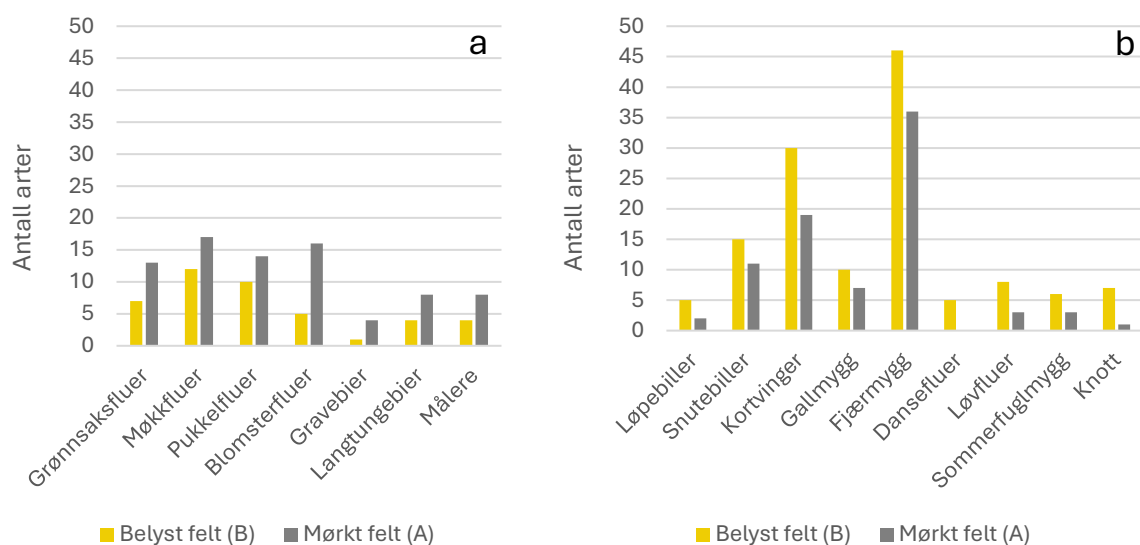
Orden		Antall familier		Antall arter	
		Mørkt felt	Belyst felt	Mørkt felt	Belyst felt
Coleoptera	Biller	26	26	70	95
Dermaptera	Saksedyr	1	1	2	2
Diptera	Tovinger	33	39	217	218
Ephemeroptera	Døgnfluer	1	1	1	2
Hemiptera	Nebbmunn	12	11	57	54
Hymenoptera	Veps	11	10	32	26
Lepidoptera	Sommerfugler	17	11	41	27
Neuroptera	Nettvinger	2	2	4	3
Odonata	Øyestikkere	1	1	1	2
Plecoptera	Steinfluer	1	1	1	2
Psocoptera	Støvlus	6	4	7	11
Thysanoptera	Trips	1	1	3	3
Trichoptera	Vårfluer	1	3	1	4
Totalt		113	111	437	449



Figur 29: Antall ulike insektarter i de forskjellige insektordener. Tallene er basert på insektregistreringer gjennomført over tre år (2023-2025) og tre sesonger (vår, tidlig høst, sen høst).

Totalt sett var de mest artsrike insektfamiliene (totalt antall arter i parentes) kortvinger (40) og snutebiller (19) i orden biller, fjærmygg (58), sørgemygg (27), sviknott (23), møkkfluer (22), grønnsaksfluer (15), soppmugg (14), blomsterfluer (12) og gallmygg (11) i orden tovinger, og bladlus (42) og bladteger (14) i orden nebbmunner.

På det mørke feltet var artsrikdommen størst hos familiene grønnsaksfluer, møkkfluer, pukkelfluer og blomsterfluer i orden tovinger, og hos familiene gravebier og langtungebier i orden veps (Figur 30 a). Det var også bl.a. flere arter målere (orden sommerfugler) her. Det ble fanget relativt få arter og individer i de andre sommerfuglfamiliene, men ser vi orden sommerfugler under ett, var den representert med flest arter på det mørke feltet. Hos familiene løpebiller, snutebiller og kortvinger i orden biller, og fjærmygg, gallmygg, dansefluer, løvfluer, sommerfuglmygg og knott i orden tovinger, var artsrikdommen større på det belyste feltet enn på det mørke feltet (Figur 30 b). Innen det belyste feltet ble det påvist flere arter av løpebiller, kortvinger, sviknott, fjærmygg, sørgemygg, knott, blomsterfluer, bladlus, bladteger og nattfly i fellene på lysmastene (B1) enn i fellene som var plassert ved skogkanten 60-100 m unna (B2) (Figur 30 c).



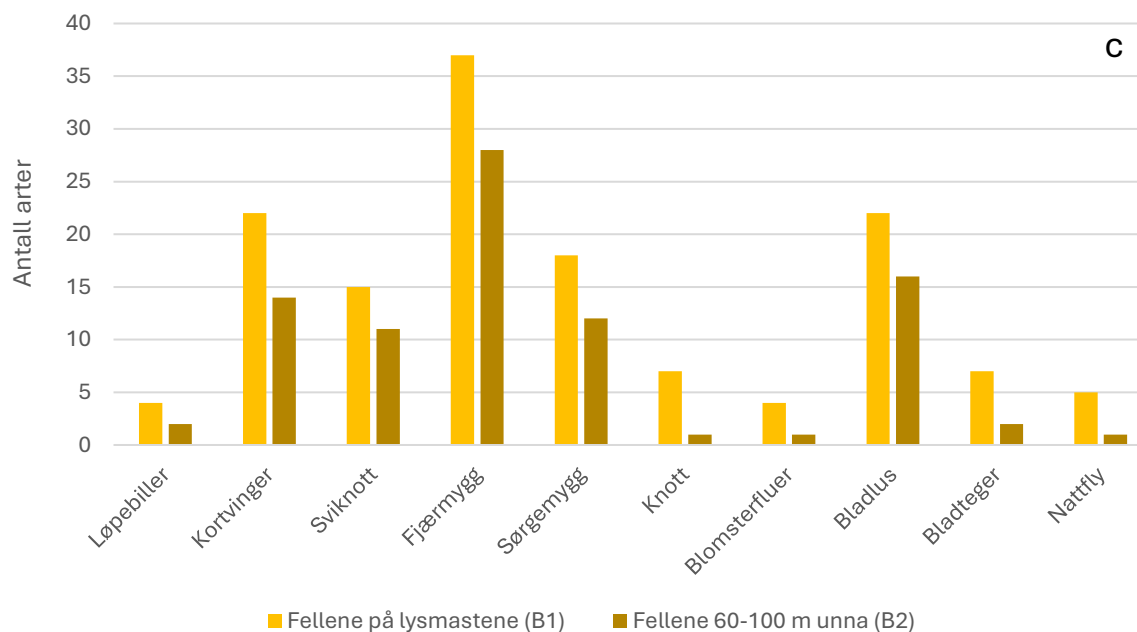
Delia platyura (Grønnsaksflue)
Foto: Michel Noel (iNaturalist),
CC BY-NC 4.0



Amara similata (Løpebille)
Foto: Marie Lou Legrand (iNaturalist),
CC BY-NC 4.0



Camptochaeta camptochaeta (Sørgemygg)
Foto: Jukka Salmela (iNaturalist),
CC BY-NC 4.0



Figur 30: Eksempler på insektfamilier som var representert med a) flest arter på det mørke feltet, b) flest arter på det belyste feltet og c) flere arter i fellene på lysmastene enn i skogkanten 60-100 m unna innenfor det belyste feltet i løpet av de tre fangstperiodene i 2023, 2024 og 2025.

3.3 Lysrespons hos utvalgte arter påvist i DNA-analysen

Artssammensetningen i forsøksfeltene var forskjellig fra år til år, og mange arter ble fanget bare ett eller to av forsøksårene. Av de identifiserte artene ble 78 påvist i alle de tre forsøksårene på et eller begge feltene. Av disse ble 45 arter påvist hvert år i det belyste feltet B, uavhengig av om arten også ble påvist på det mørke feltet A eller ikke, mens 22 arter ble påvist på både belyst B og mørkt felt A hvert år. For disse 22 artene ble det gjort en grov analyse av ASV-verdiene. Disse verdiene angir antallet avlesninger av artsspesifikke DNA-sekvenser som blir brukt til artsidentifikasjonen, og som ble påvist i prøvene. ASV-verdiene representerer ikke et direkte individantall, men gir en indikasjon på relativ mengde (biomasse) av en art i insektprøvene, og kan dermed si noe om den relative fordelingen av en art på de fire ulike felleplasseringene. Sammenligning av ASV-verdier kan bare brukes på artsnivå der individene er noenlunde av lik størrelse og siden mengden av artsspesifikke DNA-sekvenser i prøvene påvirkes av artens størrelse.

Av de 22 artene som ble påvist på begge felt hvert år, ble fem arter kun påvist i fellene på lysmastene (B1) på det belyste feltet, mens de ble påvist på begge felleplasseringene på det mørke feltet (Figur 31). Dette var billearten *Amischa analis* (fam. kortvinger), de tre tovingeartene *Heterotrissocladius marcidus*, *Limnophyes habilis* (fam. fjærmygg) og *Scatopsciara vitripennis* (fam. sørgemygg), samt nebbmunnarten *Acyrtosiphon caraganae* (fam. bladlus). På det mørke feltet (A) ble bare 17-47% av DNA-sekvensene for disse artene påvist i fellene ved turstien (A1), mens 53-83% ble påvist i fellene på trærne 60 -100 meter inne i feltet (A2).

På det belyste feltet (B) indikerer ASV-verdiene også at det ble fanget en vesentlig større andel av flere andre arter i fellene på lysmastene (B1) enn i fellene på trærne 60 - 100 meter inne i feltet (B2). Blant annet ble 67-99% av biomassen av tovingeartene *Delia platura* (fam. grønnaksfluer), *Campylomyza flavipes* (fam. gallmygg), *Culicoides salinarius* (fam. sviknott), *Metriocnemus fuscipes* (fam. fjærmygg), *Pollenia vagabunda* (fam. spyfluer) og *Camptochaeta camptochaeta* (fam. sørgemygg), og nebbmunnartene *Rhopalosiphum insertum* og *R. padi* (fam. bladlus) fanget ved B1, mens bare 1-33% biomasse av de ulike artene ble fanget ved B2. Også for disse artene ser det ut til å være en omvendt trend på det mørke feltet, der 0-33% av biomassen av de ulike artene ble påvist i fellene ved turstien (A1) og 67-100 % ble påvist i fellene 60 -100 m inne i feltet (A2).



Amischa analis (Biller)

Foto: Ahn Feldman, (iNaturalist),
CC BY-NC 4.0



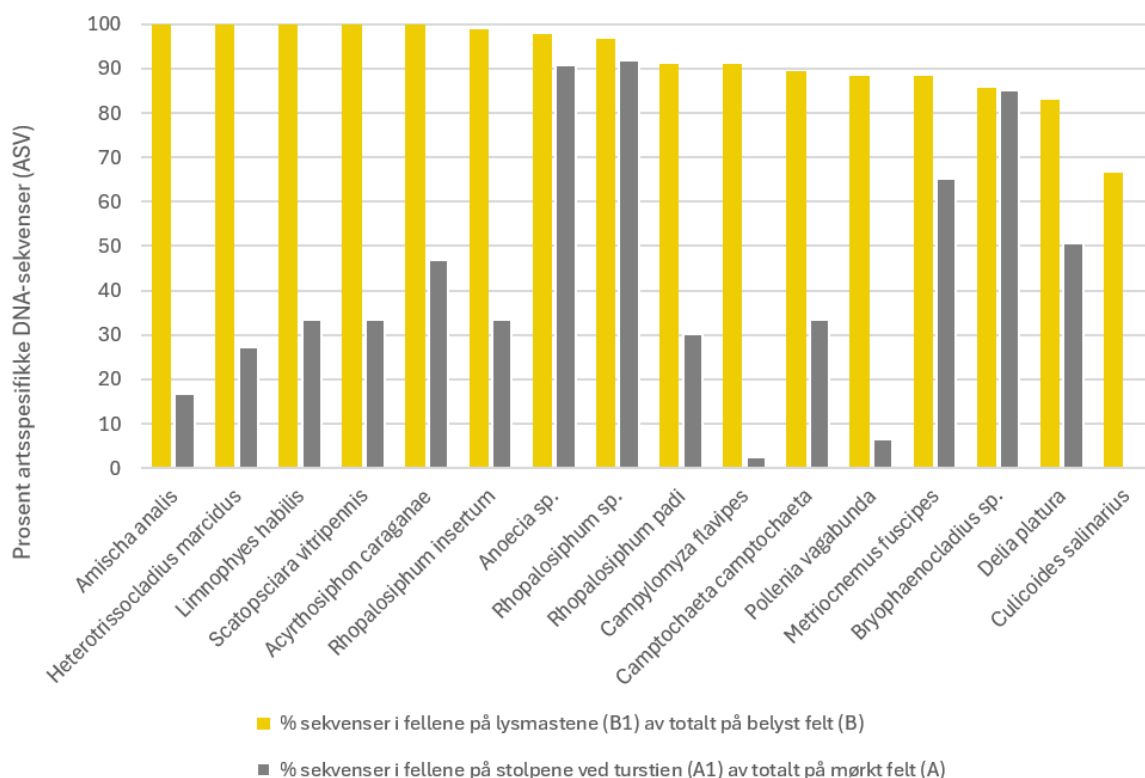
Acyrthosiphon caraganae
(Nebbmunn)

Foto: Stichting Observation International,
(iNaturalist), CC BY-NC 4.0



Pollenia vagabunda (Tovinger)

Foto: Heather Haughn, (iNaturalist),
CC BY-NC 4.0

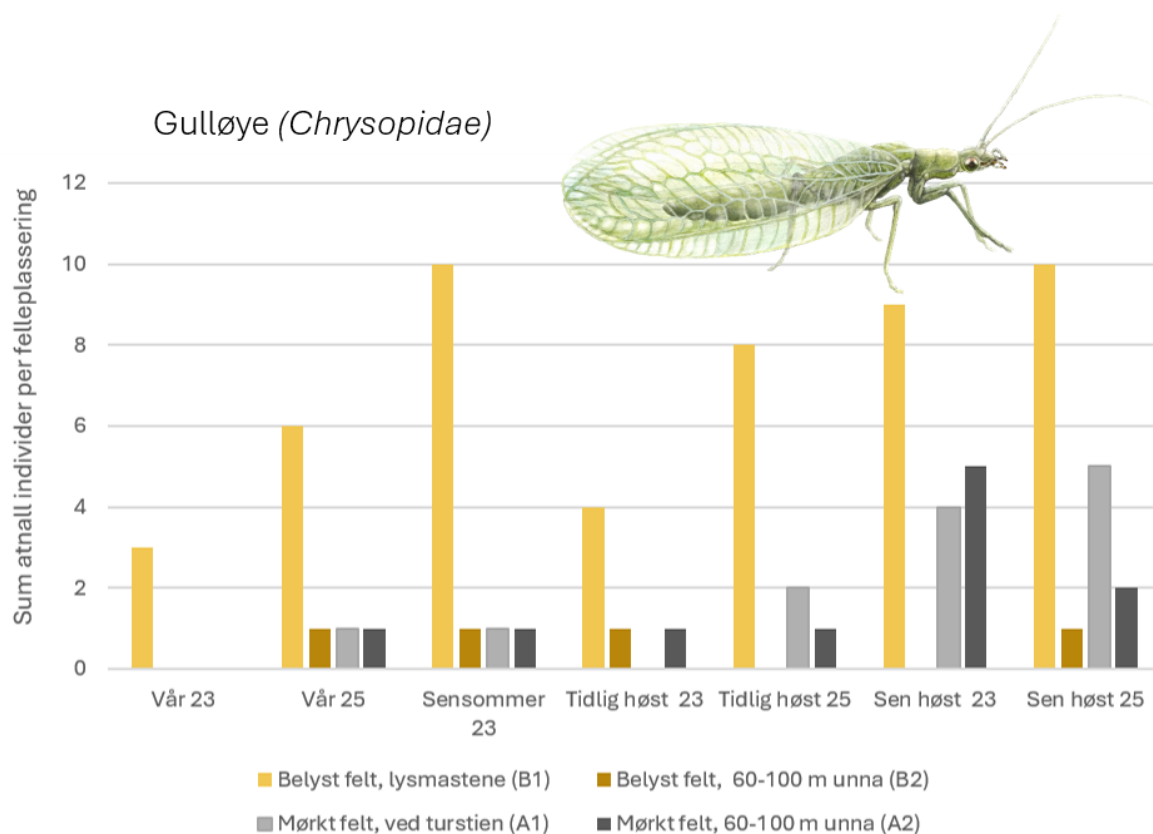


Figur 31: Prosentvis andel av artsspesifikke DNA-sekvenser avlest i prøvene fra fellene på lysmastene (B1) (gule stolper) og fellene på turstien (A1) (grå stolper), beregner som gjennomsnittlig prosent av totalt antall sekvens-avlesninger på hhv. belyst og mørkt felt for 3 år.

Det er verdt å nevne at 117 arter i ni ordener og 50 familier kun ble påvist i fellene på lysmastene (B1) i løpet av de tre fangstårene, bl.a. 14 kortvingearter, 12 fjærmyggarter, 7 knottarter og 7 bladlusarter (Vedlegg A). Dette kan være tegn på at artene trekkes til veilyset, men ingen av artene ble påvist alle tre årene, så fangsten kan skyldes tilfeldigheter. Seks arter ble imidlertid påvist kun ved veilyset i to av de tre årene: *Amara similata* (fam. løpebiller), *Anthobium unicolor* og *Tachyporus chrysomelinus* (fam. kortvinger), og *Corynoneura fittkaui* (fam. fjærmygg), *Cratyna nobilis* (fam. sørgemygg) og *Meiosimyza platycephala* (fam. løvfluer).

Det ble påvist noen få individer av vårflueartene *Limnephilus auricula*, *L. sparsus* (fam. Limnephiliidae), *Oxyethira flavicornis* (fam. Hydrophilidae) og en *Agrypnia*-art (fam. Phryganeidae). Tre av disse artene ble bare påvist i fellene på lysmastene (B1), mens *O. flavicornis* ble påvist i fellene på lysmastene (B1) på det belyste feltet og på stolpene ved turstien (A1) på det mørke feltet. Flere DNA-sekvenser av døgnflueartene *Baetis rhodani* og *B. atlanticus* (Ephemeroptera) ble påvist i fellene på lysmastene (B1) enn på de andre felleplasseringene (*B. rhodani* bare på B1).

Mange arter i familien gulløyer er aktive i skumringen og om natta og sees gjerne ved kunstige lyskilder om kvelden. Individer i denne familien ble derfor talt opp under sortering av fangstmaterialet i prøvene. Totalt ble det fanget 78 individer av gulløyer i 2023 (inkl. august) og i 2025 (ingen fangst i 2024). Nesten to tredjedeler av individene ble funnet i fellene på lysmastene. Trenden med størst fangst ved veilyset var den samme i alle fangstperiodene (Figur 32). De aller fleste individene ble bestemt til nordvintergulløye (*Chrysoperla carnea*), men det ble også påvist noen få DNA-sekvenser som tyder på en annen *Chrysoperla*-art.



Figur 32: Fangst av gulløyer (*Chrysopidae*) gjennom sesongen i 2023 og 2025 i fellene på de fire felleplasseringene. Individer er talt opp under sortering av felle materialet. Gulløyer ble ikke fanget i 2024. Fangst i august (sensommer) 2023 er tatt med. Stolpene viser summen av individer for 6 feller for hver felleplassering.

Rødlistede arter

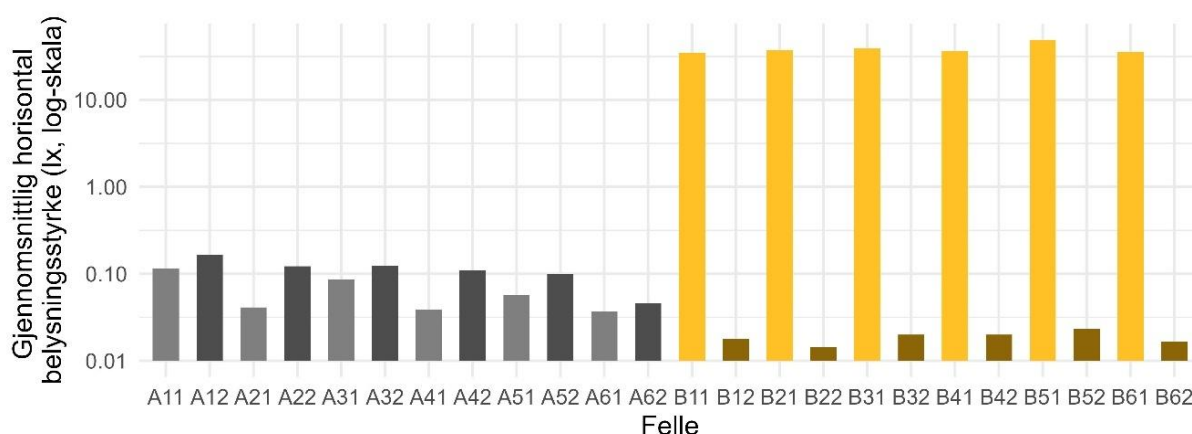
Det ble påvist noen få individer av fire rødlistede arter i løpet av vår, tidlig og sen høst. Den nær truede børstebillen *Dasytes aeratus* (fam. Melyridae, syn. Dasytidae) ble påvist på det belyste feltet (B), men ikke i fellene på lysmastene (B1). Den sårbare arten tiflekkvedsoppbillen *Mycetophagus decempunctatus* (fam. Mycetophagidae-vedsoppbiller) ble påvist bare på det mørke feltet. I august 2023 ble den nær truede arten myrstengelfly, *Amphipoea lucens* (Lepidoptera: Noctuidae) påvist i en av fellene på lysmastene (B1). Også

den nær truede arten slåttegresshoppe *Chorthippus biguttulus* (Orthoptera: Acrididae) ble påvist i august 2023, både på det belyste og det mørke feltet, men ingen ble funnet i fellene på lysmastene (B1).

3.3.1 Lysmålinger

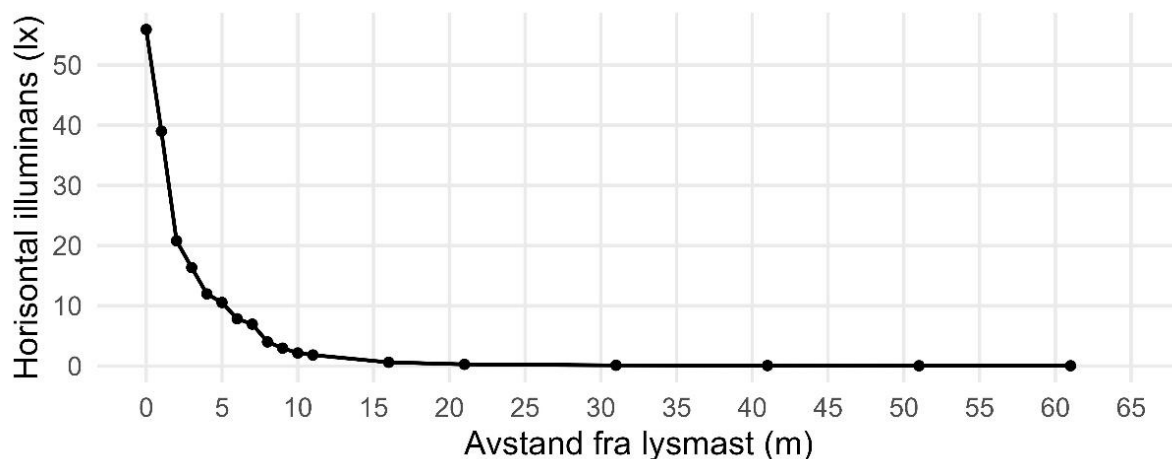
For hvert fellepunkt foreligger det en måling av illuminans hvert år og måned som insektfellene var i drift (Figur 33). Det er ingen statistisk signifikant forskjell mellom verdiene på lysløypa og inne i skogen i det mørke A-området (gjennomsnitt og p-verdi etter en T-test: Lysløype: 0,108 lux i skogen: 0,0657 lux. p verdi: 0,316). Lysverdiene i B1 og B2-området er statistisk sett svært forskjellige.

Vi ser også en statistisk signifikant forskjell mellom alle fellene i A-området (tursti og på avstand) og fellene ved B1 ved lysmastene. Til tross for at B2-fellene ligger innenfor det belyste forsøksfeltet, var det målte lysnivået her lavere enn i kontrollfeltet, altså motsatt av det en ville forvente. A-feller: 0,0869 lux, B2-feller 0,0187 lux, p-verdi: 0,00166. Det antas at dette kan komme av tettere plantevekst, særlig fordi det er høyere trær i deler av horisonten mot vest i B2.

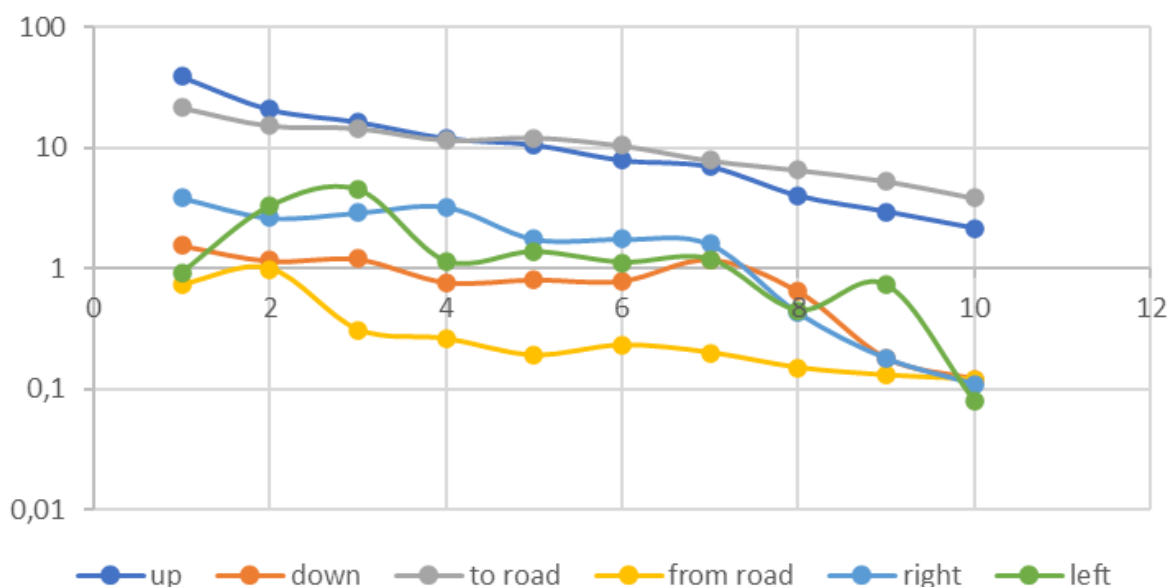


Figur 33: Gjennomsnittlig belyningsstyrke ved de fire felleplasseringene målt i mai, september og oktober i perioden 2023–2025. Figuren viser at lysnivåene var svært like mellom de to felleplasseringene i det mørke feltet (A1 og A2). I det belyste feltet hadde fellen ved lysmastene (B1) derimot vesentlig høyere belyningsstyrke enn de øvrige felleplasseringene. Merk at y-aksen er logaritmisk. Lysnivået ved A1, A2 og B2 var gjennomgående mer enn 10 000 ganger lavere enn ved B1.

Figur 34 viser at belyningsstyrken, målt som horisontal illuminans, avtok relativt raskt med økende avstand fra veien. Belysningsstyrken i de seks retningene som inngår i kubisk lysmåling, kan kartlegges og avstandsavhengigheten analyseres (Figur 35). Av figurene går det fram at oppadrettet lys avtar omtrent etter en rett linje i et semi-logaritmisk plott. Det antyder med bakgrunn fra fysisk teori, at gatelyset opptrer som en punktformet kilde og at tilbakespredning eller refleksjon fra omgivelsene spiller mindre rolle.



Figur 34: Fremstilling av horisontal illuminans som funksjon av avstand til veien langs "transekt". Se figur 33 for detaljerte data for ulike retninger i en del av transektet.

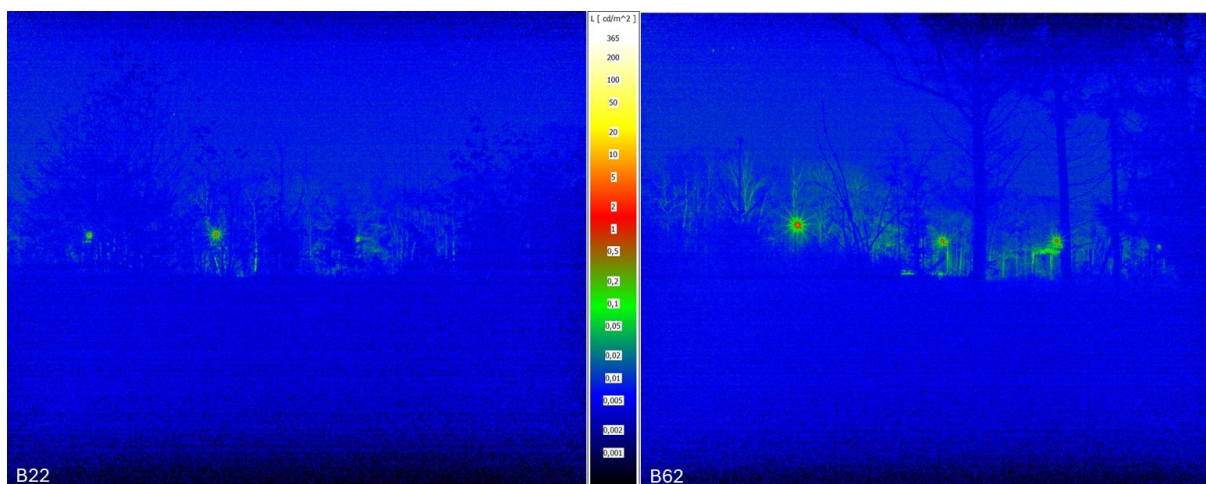


Figur 35: Fremstilling av illuminans (lx) som funksjon av avstand (m) til lysstolpe langs "transekt" mellom feller B51 og B52. Det ble målt i seks retninger, kalt kubisk illuminansmåling, og fremstillingen er på en logaritmisk skala med illuminansverdien angitt for hvert punkt. Målingen oppover ("up") er de samme data som fremstilt i Figur 34 mellom 1 og 10 m fra lysstolpe. Avstanden mellom måling opp og mot vei, som gir nokså like verdier, er omtrent en faktor ti i forhold til sideveis, bakover og ned. Dette viser at det er riktig å anslå verdier i de sistnevnte retninger som null når målingen opp (up=horisontal irradians) er nær deteksjonsgrensen for apparatet. (bearbeides log-skala)

For å forstå hvordan lyset fremstår på avstand, ble det også tatt luminansbilder. Figur 36 viser bilder tatt fra punktene B22 og B62, rettet mot veien. Bildene viser en svært høy luminanskontrast mellom selve lyskilden og omgivelsene rundt. Dette er viktig fordi luminans og radians i prinsippet ikke avhenger av avstanden til lyskilden, så lenge det ikke skjer mye spredning i atmosfæren eller skjerming fra vegetasjon. Luminansbildene gir derfor et bedre inntrykk av hva insekter faktisk "ser" på avstand enn de svært lave illuminansverdiene målt ute i terrenget.

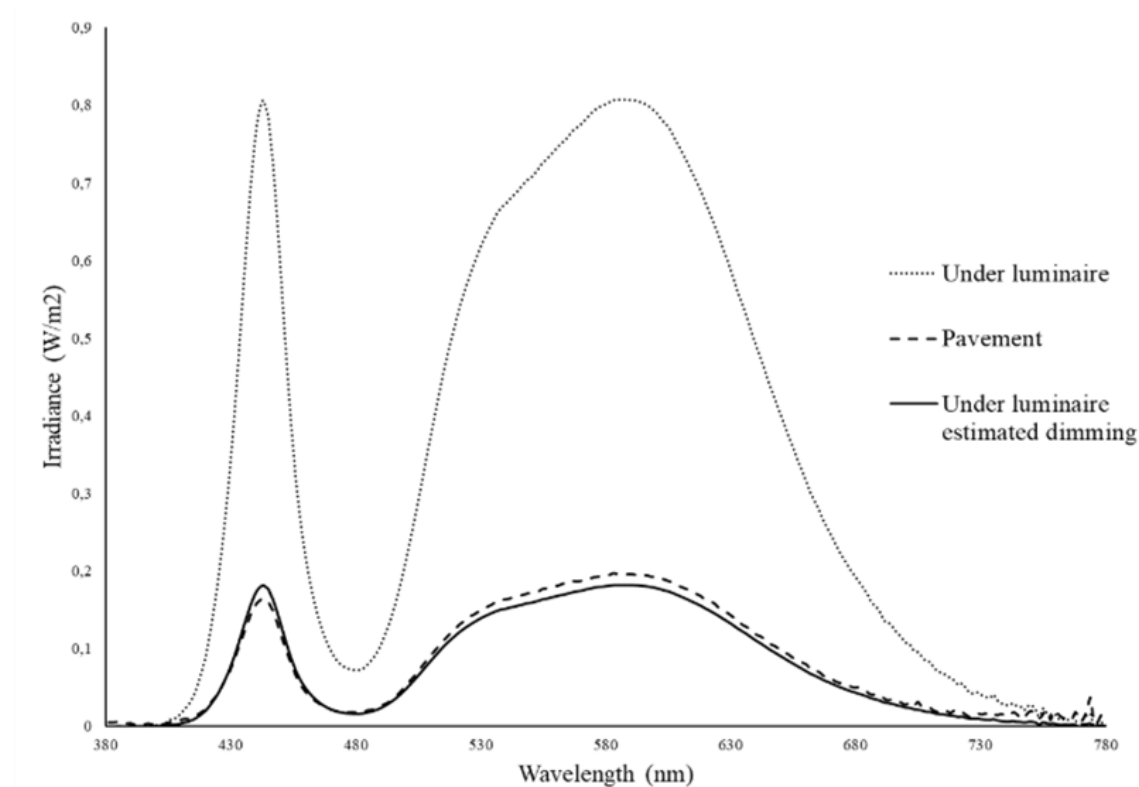
Dette betyr at selv om lysnivået målt ved bakken i skogen er svært lavt, kan armaturene fortsatt fremstå som tydelige og kontraststerke lyskilder i landskapet. For diskusjon av

insektenes bevegelser kan dette være viktig, fordi det er mulig at det ikke først og fremst er det svake lyset ved bakken som påvirker dem, men den visuelle kontrasten mellom armaturen og de mørke omgivelsene.



Figur 36: Luminansbilder tatt fra punkt B22 og B62 rettet mot vei. Bildene illustrerer høy luminanskontrast mellom selve lyskilden/armatur og omgivelsene rundt det.

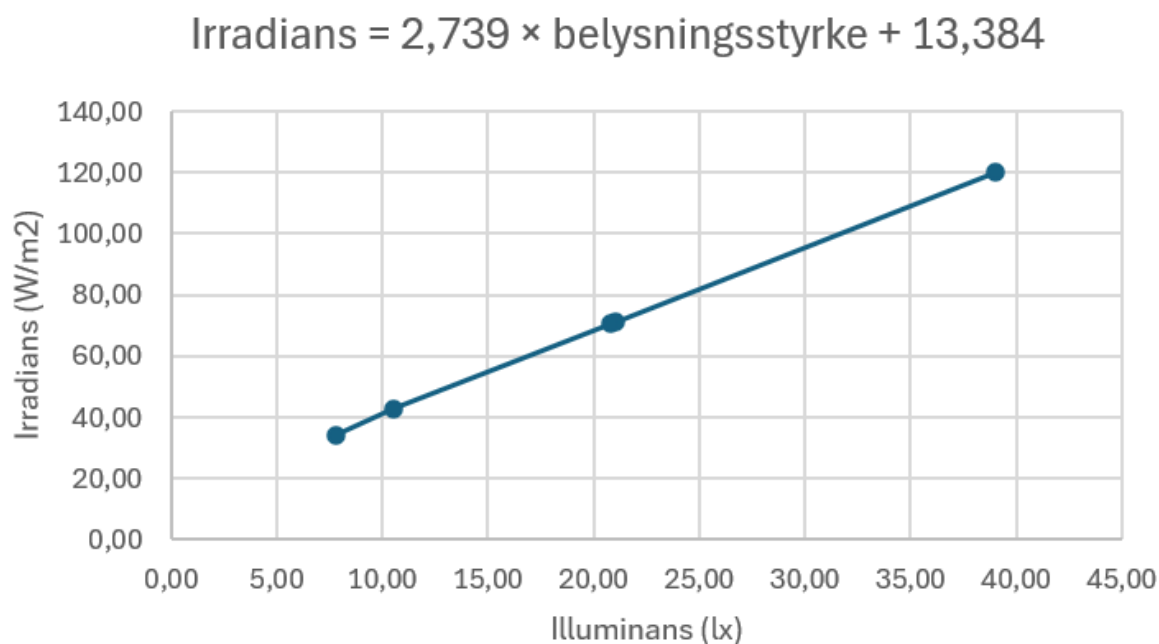
Figur 37 viser et eksempel der måling av spekter utført under 4000 K armatur og 5 meter fra armatur. Deretter er hver bølgelengde satt inn i tabell sammen med estimert spekter på måling under armaturen, for å se om spekteret forskyver seg når en beveger seg vekk fra armaturen.



Figur 37: Spektral irradians (irradians pr. nm) målt rett under armatur og på gang-/sykkelvei ved B1 noen meter unna. Heltrukken kurve er en matematisk justering av spekteret under armaturen ved at verdien er multiplisert med en konstant faktor (0,225). Dette beregnede spekteret har samme form som de to andre og viser at avstand og bidrag av spredt lys fra omgivelsene ikke endrer formen på spekteret («fargen») vesentlig.

Dataene i Figur 38 viser instrumentverdien og indikerer også at irradiansen er 13,4 W/m² ved 0 lx. Dette er åpenbart en liten instrumentfeil som skyldes et misforhold mellom den fotoptiske vektingsfunksjonen og de tilsynelatende bidragene i UV- og IR-områdene utenfor dette spektralområdet. Figuren er basert på rådata, og kunne ha vært korrigert ved å trekke fra mørkekontroller slik som det er vist på Figur 37. Vi foreslår å anta at helningen til kurven kan benyttes til å omregne målte lx-verdier til irradians ved hjelp av faktoren 2,7. Ved å gjøre dette forutsetter vi også at den spektrale formen er den samme ved lave lx-verdier, hvor irradiansen eller spekteret ikke kan bestemmes direkte.

I skog og mørke områder er det ikke sikkert at lys fra armaturene på veien dominerer lysfeltet, og spekteret kan derfor tenkes å ha en noe annen form. På den annen side kan luminansen til armaturene, vist i Figur 38, omregnes til irradians ved bruk av samme faktor, forutsatt at det ikke forekommer optisk filtrering utover fargenøytrale gråfiltereffekter. Den svakere luminansen rundt armaturene vil sannsynligvis ha farger som i større grad er karakteristiske for fargen på bakgrunns materialet, hovedsakelig plantdekket i skogen på motsatt side av veien.



Figur 38: Beregning av irradians fra belysningsstyrke

3.4 Utvalgte miljøfaktorer

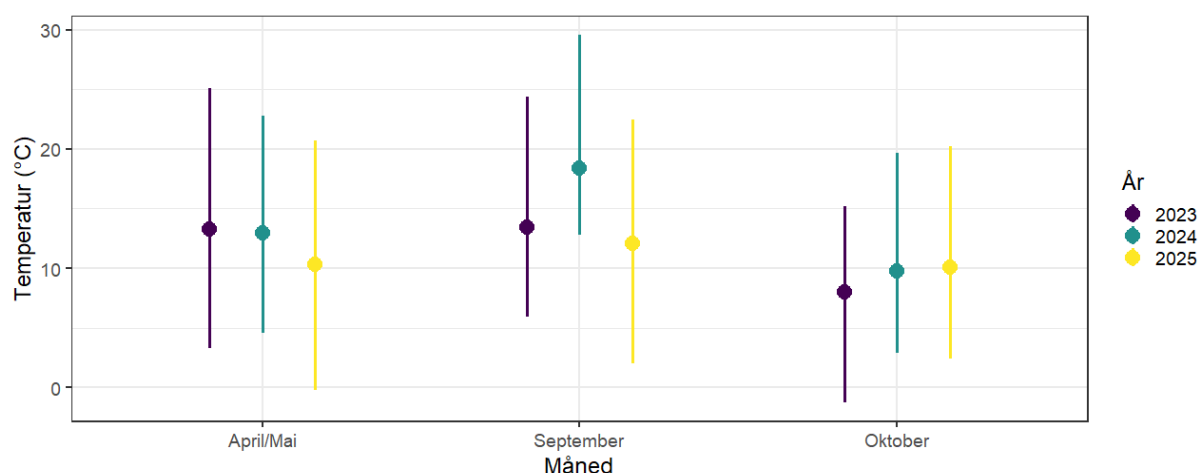
3.4.1 Temperatur, luftfuktighet og nedbør

Informasjon om temperatur, relativ luftfuktighet, duggpunkt og nedbør i de to forsøksfeltene ble dokumentert gjennom hele innsamlingsperioden. Tabell 4 gir en oversikt over gjennomsnittsverdier som ble målt under fangstperiodene i de to feltene. Figur 39 viser sesongvariasjonen av temperatur gjennom de tre fangstperiodene over tre år.

Tabell 4: Temperatur, luftfuktighet og duggpunkt målt i de ulike fangstperiodene i forsøksfeltene i 2023, 2024 og 2025. Nedbørssummen for fangstperiodene er målt på nærmeste klimastasjon (Tønsberg, Barkåker, data hentet fra Norsk Klimaservicesenter).

År	Fangst-periode	Temperatur (°C)			Relativ luftfuktighet (%)			Duggpunkt (°C)	Nedbør (mm)
		Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Sum
2023	Mai	13,3	25,1	3,3	58,3	92,8	21,0	4,2	4,0
	September	13,4	24,4	5,9	77,4	94,6	35,6	9,2	45,3
	Oktober	8,0	15,2	-1,3	66,9	93,2	34,7	1,8	18,4
2024 ¹	Mai	13,0	22,8	4,6	61,9	89,9	29,2	5,3	2,0
	September	18,4	29,6	12,8	80,2	92,8	43,1	14,6	21,6
	Oktober	9,8	19,7	2,9	77,6	93,0	41,6	4,3	37,5
2025	April	10,3	20,7	-0,2	59,3	86,4	30,7	2,2	1,4
	September	12,1	22,5	2,0	76,5	93,0	37,6	7,8	16,8
	Oktober	10,1	20,2	2,4	77,4	92,9	51,0	6,1	0,1

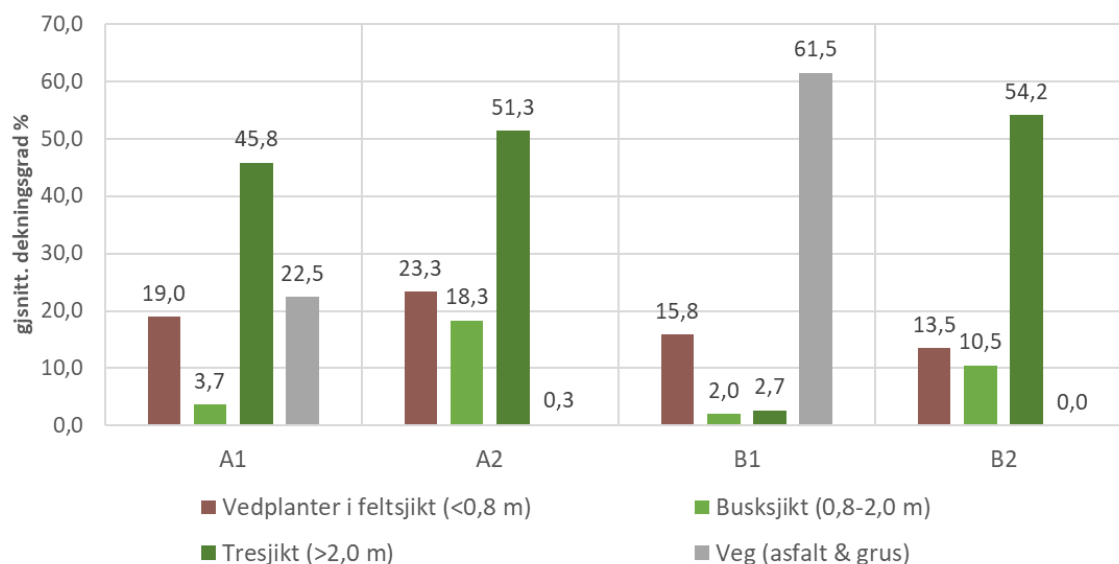
¹ Vi fikk ingen data fra loggeren som var plassert ved B1 i 2024. Gjennomsnittsverdiene for 2024 i tabellen er derfor beregnet kun basert på de andre tre loggerne ved B2, A1 og A2.



Figur 39: Sesongvariasjon i gjennomsnittlig temperatur (°C) i fangstperiodene i april/mai, september og oktober for årene 2023–2025. Punktene viser gjennomsnitt per måned og år, mens vertikale linjer angir temperaturvariasjon innen hver måned.

3.4.1.1 Vegetasjon

Vegetasjonen ble kartlagt i 2023 og bærer tydelige spor etter hogstaktivitetene i 2017/2018, med gjennomgående høy dekning av busksjiktet i begge forsøksfeltene. I det mørke feltet, som ble hogd noen få år tidligere enn det belyste feltet, har deler av busksjiktet utviklet seg videre til et lavt tresjikt (> 2 m). Til tross for dette viser plasseringene A2 og B2 en relativt lik vegetasjonssammensetning. Plasseringene A1 og B1 hadde derimot en betydelig lavere andel busker. Generelt framstår vegetasjonen rundt lysmastene ved plassering B1 som det mest åpne området, i hovedsak fordi den asfalterte veien dekker om lag 60 % av den kartlagte analysesirkelen (Figur 40). Registrering av karplanter i 1x1 m rutene viser en mer artsrik vegetasjon preget av gressarter og flerårige urter i området mellom gangvei og kjørevei i felt B1. I gjennomsnitt fantes her 10 ulike arter per m^2 , mens øvrige plasseringene A1, A2 og B2 hadde kun 5-6 arter per m^2 . Det er godt dokumentert at veikanter ofte er svært artsrike, blant annet fordi arealene er utsatt for hyppige forstyrrelser (f.eks. slått, jordforstyrrelser, tilførsel av næringsstoffer, salting), har gode lysforhold og fordi veiene lett fungerer som spredningskorridorer for frø (Pedersen og Dramstad 2022).



Figur 40: Dekningsgrader av vegetasjon i en 250 m² sirkel rundt hvert fellepunkt.

3.4.1.2 Flaggermus

I løpet av perioden de akustiske detektorene var aktive, ble samtlige 13 norske flaggermusarter registrert minst én gang, men med store forskjeller i aktivitetsnivået (Tabell 4). Enkelte arter, som skogflaggermus, sørflaggermus, bredøre og børsteflaggermus, ble kun registrert et fåtall ganger. På grunn av det lave antallet registreringer er det usikkert om disse artene faktisk forekom i studieområdet, eller om registreringene kan skyldes feilklassifiseringer. Tusseflaggermus og dvergflaggermus er også vanskelig å skille akustisk fordi artene har overlappende ekkolokalisering. I denne studien benyttet vi klassifiseringsalgoritmene fra Wildlife Acoustics, som identifiserte registreringer som begge arter basert på referansedatabasene sine. Resultatene presenteres derfor som to separate arter. Samtidig vurderes forekomst av tusseflaggermus i Norge som svært usikker (Artsdatabanken 2021c). Det er derfor sannsynlig at en del av registreringene som algoritmen klassifiserte som tusseflaggermus, i realiteten tilhører dvergflaggermus.

Tusseflaggermus, nordflaggermus og dvergflaggermus er de klart vanligste flaggermusartene i forsøksområdet. Til sammen utgjorde disse artene om lag 97 % av alle registreringene. Tusseflaggermus regnes som en forholdsvis lystolerant art og forekommer ofte i kantsoner og halvåpne områder. Dette kan forklare den høye aktiviteten i det belyste området, særlig langs skogkanten (B2). Nesten like ofte registrerte vi nordflaggermus, som også er den vanligste arten i Norge. Nordflaggermus er en rask flyger og er kjent for å utnytte konsentrasjoner av nattaktive insekter rundt kunstige lyskilder, og flere studier dokumenterer aktivt næringsøk ved vei- og gatelys (Rydell 1992; Stone mfl. 2015). Dette samsvarer godt med våre resultater, hvor nesten 90 % av registreringene av nordflaggermus ble gjort ved den belyste felleplasseringen ved veilyset (B1).

Tabell 4: Antall registreringer av flaggermusarter ved de ulike felleplasseringene.

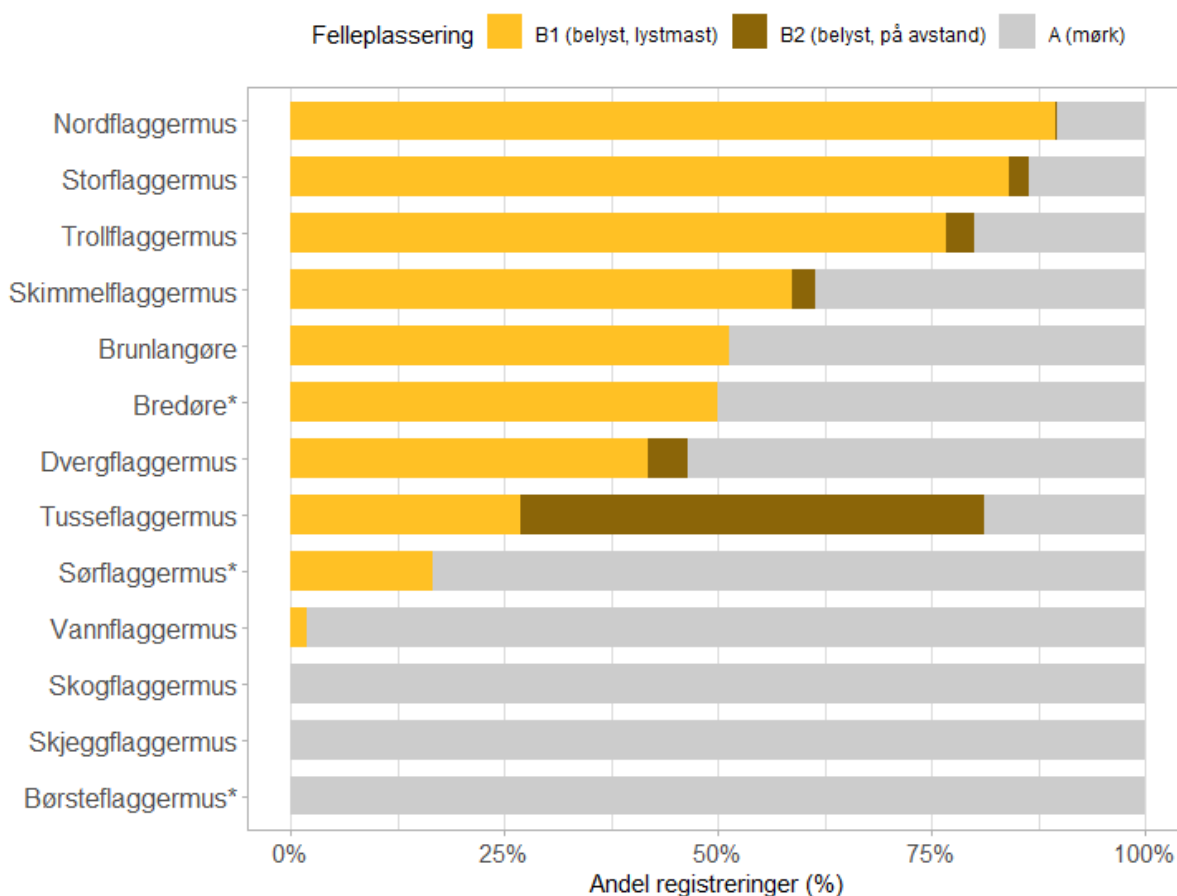
Art	A (mørk)	B1 (belyst, vei)	B2 (belyst, avstand)	Totalt
Tusseflaggermus ¹ <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	1 054	1 501	3 009	5 564
Nordflaggermus <i>Eptesicus nilssonii</i>	567	4 914	11	5 492
Dvergflaggermus <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	1 329	1 036	113	2 478
Storflaggermus <i>Nyctalus noctula</i>	12	74	2	88
Skimmelflaggermus <i>Vespertilio murinus</i>	27	41	2	70
Vannflaggermus <i>Myotis daubentonii</i>	54	1	0	55
Brunlangøre <i>Plecotus auritus</i>	19	20	0	39
Skjeggflaggermus <i>Myotis mystacinus</i>	33	0	0	33
Trollflaggermus <i>Pipistrellus nathusii</i>	6	23	1	30
Skogflaggermus <i>Myotis brandtii</i>	13	0	0	13
Sørflaggermus ¹ <i>Eptesicus serotinus</i>	5	1	0	6
Bredøre <i>Barbastella barbastellus</i>	1	1	0	2
Børsteflaggermus <i>Myotis nattereri</i>	1	0	0	1

¹ikke dokumentert som reproduserende i Norge

Figur 41 viser hvordan registreringene fordeler seg prosentvis mellom de ulike felleplasseringene for hver flaggermusart. Nordflaggermus, storflaggermus, trollflaggermus og skimmelflaggermus har klart større aktivitet ved den belyste veien enn på de øvrige plasseringene. Dette samsvarer med det som er kjent om disse artenes bruk av åpne luftrom og deres relativt høye toleranse for kunstig lys.

Brunlangøre regnes generelt som en lysfølsom art og er i flere studier vist å unngå opplyste områder. Det var derfor noe overraskende at omtrent halvparten av registreringene av brunlangøre ble gjort ved felleplasseringen nær lysmast (B1). Resultatet kan skyldes at den høye konsentrasjonen av insekter ved veilyset oppveide de negative effektene av belysning, eller at arten utnyttet mørkere partier og vegetasjon i umiddelbar nærhet til lysmasten.

Vannflaggermus, skogflaggermus, skjeggflaggermus og børsteflaggermus ble nesten utelukkende registrert i det mørke området. Dette samsvarer med tidligere studier som viser at arter i slekten *Myotis* generelt er mer lysfølsomme enn hurtigflygende arter som nordflaggermus og arter i slekten *Pipistrellus*. *Myotis*-artene er ofte knyttet til vegetasjonsrike og mer lukkede habitater, hvor de jakter nær trær og buskvegetasjon, og de unngår gjerne opplyste områder.



Figur 41: Prosentvis fordeling av registreringer av flaggermusarter mellom mørke og belyste felleplasseringer. Hver søyle viser den relative fordelingen av registreringer for én art mellom A (mørk), B1 (belyst, ved lysmast langs vei) og B2 (belyst, på avstand). Artene er sortert etter andelen registreringer ved B1, slik at arter med størst tilknytning til den belyste veien vises øverst. Arter merket med * hadde færre enn 10 registreringer totalt og resultatene bør tolkes med forsiktighet.

Analysearbeidet av de store mengdene med akustiske data viste seg å være mer omfattende enn opprinnelig forventet. Innenfor rammene av dette prosjektet, der insekter var hovedfokus, var det derfor kun mulig å gjennomføre enkelte innledende analyser av flaggermusdata. Vi har planer om å følge opp datamaterialet i et eget prosjekt i fremtiden, der registreringene av flaggermus skal analyseres nærmere og sees i sammenheng med resultatene fra insektundersøkelsene.

4 Diskusjon

Resultatene i vår studie viser forskjeller i insektforekomst og insektaktivitet både mellom og innenfor forsøksfeltene. Mønstrene tyder på en mulig påvirkning fra kunstig lys om natten, men kan også reflektere andre miljøforskjeller mellom feltene. Forskjellene varierte dessuten mellom insektgrupper og gjennom sesongen. I dette kapittelet settes resultatene i sammenheng med eksisterende forskningslitteratur og vi diskuterer i tillegg andre faktorer som kan ha påvirket våre funn.

4.1 Generelt om insektmengder og artsmangfold

Fangstmengdene i vårt forsøk viser en tydelig nedgang i både insekttallet og antall arter fra 2023 til 2025. Dette kan indikere en nedadgående trend i insektbestandene i studieområdet, men som nevnt tidligere er tidsserien vår for kort til å trekke konklusjoner om langsiktige bestandsendringer. Insektbestander kan variere betydelig fra år til år, ofte påvirket av værforhold og naturlige svingninger (Gårdman mfl. 2026). Siden 2020 har norske insektbestander blitt overvåket gjennom Norsk insektovervåking (NorIns) på oppdrag av Miljødirektoratet (Åström mfl. 2020; 2022; 2024). De første årene av overvåkingsprogrammet viste også en tydelig nedgang i fangstmengdene, mens resultatene fra de to siste årene viser en økning (Åström mfl. 2026). Dette illustrerer betydningen av å ha lange tidsserier for å kunne skille mellom kortsiktige svingninger og reelle, langsiktige trender i insektbestandene.

Ved hjelp av DNA-analyse har vi kunnet påvise et stort insektmangfold i de to forsøksfeltene med tovinger, biller og nebbmunner som de mest artsrike insektordener i datamaterialet vårt. DNA-resultatene gir imidlertid ikke et fullstendig bilde av den totale artssammensetningen i området, siden felletypen som ble benyttet i stor grad påvirker hvilke insekter som fanges (Montgomery mfl. 2021). Ingen enkelt felletype er i stand til å fange alle insektgrupper like effektivt, og bruk av én metode alene vil derfor ikke gi et fullstendig bilde av insektfaunaen i et område. I dette prosjektet har vi valgt å bruke passive vindusfeller som innsamlingsmetode. Vindusfeller er generelt godt egnet til å fange et bredt spekter av flygende insekter som beveger seg raskt og i rette flygebaner og favoriserer dermed særlig biller (Lamarre mfl. 2012; Åström mfl. 2020). Derimot er bakkelevende arter og grupper med lav eller uregelmessig flygeaktivitet underrepresentert. Det er blant annet godt dokumentert at passive vindusfeller er lite effektiv for å fange nattsommerfugler og at lysfeller med aktiv lyskilde (med UV) er et bedre valg for denne gruppen (Lamarre mfl. 2012). At passive vindusfeller ikke fanger nattsommerfugler like effektiv som andre ordener kan skyldes deres langsommere og mer uregelmessige flygemønster, i tillegg til at mange arter i stedet sirkler rundt eller lander nær lyskilden, uten nødvendigvis å kollidere med fellen (Southwood & Henderson 2000; Lamarre mfl. 2012, Fabian mfl. 2024). Dette kan også forklare de lave fangstene av nattsommerfugler i våre data, noe som bekreftes av andre studier som har benyttet samme felletype (Bolliger mfl. 2020b).

En annen mulig forklaring på de lave fangstmengdene kan være økt predasjon fra flaggermus, som ofte har nattsommerfugler blant sine viktigste byttedyr. Analysene av lydopptakene i forsøksområdet viste høy flaggermusaktivitet rundt de belyste fellene langs veien, særlig av nordflaggermus. Arten er kjent for å utnytte konsentrasjoner av nattaktive insekter rundt kunstige lyskilder, og flere studier har dokumentert aktiv jakt ved vei- og gatelys (Rydell 1992; Stone mfl. 2015). Dette samsvarer med våre observasjoner, der nær 90 % av registreringene

av nordflaggermus ble gjort ved den belyste felleplasseringen langs veien. Det er derfor mulig at predasjon har bidratt til de lave fangstmengdene av nattsommerfugler i dette området. Innenfor rammene av dette prosjektet har vi imidlertid ikke hatt mulighet til å undersøke hvor stor betydning predasjon fra flaggermus har hatt for insektforekomstene i forsøksområdet.

Valget av felletype påvirker først og fremst hvilke insektgrupper som er representert i analysen, men endrer ikke den relative sammenligningen mellom feltene og de ulike felleplasseringene i vår studie, ettersom samme metode er brukt i begge områder. For studier som har som mål å dekke et bredere spekter av insektfaunaen, anbefales det generelt å kombinere vindusfeller med andre felletyper, som for eksempel malaisefeller, lysfeller og bakkefeller (Southwood & Henderson 2000; Skvarla mfl. 2020, Lamarre mfl. 2012).

4.2 Insekters respons i belyst og mørkt felt

4.2.1 Forskjeller mellom mørk og belyst felt

For alle insekter samlet registrerte vi høyere fangstmengder i det mørke enn i det belyste feltet gjennom hele sesongen. Denne vedvarende forskjellen mellom feltene, både på tvers av sesonger og år, tyder på at forskjellen mellom feltene er relativt stabil og ikke bare skyldes tilfeldige variasjoner. Flere av resultatene i datamaterialet peker i retning av at veilys kan ha betydning for de observerte forskjellene. Siden studien ikke er et kontrollert eksperiment, er det imidlertid ikke mulig å isolere effekten av kunstig lys entydig fra andre miljøfaktorer som varierer mellom feltene. Det er derfor sannsynlig at forskjellene mellom feltene gjenspeiler variasjon i generell habitatkvalitet, der kunstig lys mest sannsynligvis er én av flere medvirkende faktorer.

I våre undersøkelser fant vi forskjeller både i total insektmengde og i artssammensetningen mellom det belyste og det mørke forsøksfeltet. Blant annet ble det registrert signifikant lavere fangster av tovinger, nebbmunner, trips og veps i det belyste feltet enn i det mørke feltet, mens det ikke var signifikant forskjell i fangsten av biller mellom de to feltene. Resultatene samsvarer derfor med andre studier som viser at langvarig eksponering for kunstig lys kan påvirke insektsamfunnet i området (bl.a. Boyes mfl. 2021).

Våre data gir imidlertid ikke grunnlag for å avgjøre om en slik selekteringsprosess faktisk har funnet sted mellom forsøksfeltene. Selv om vi observerte forskjeller både i insektmengde og artssammensetning, mangler vi kunnskap om lysfølsomheten til mange av de registrerte artene. I tillegg omfatter undersøkelsen kun insektenes flygende stadier, og særlig artssammensetningen kan også være påvirket av forskjeller i vegetasjon, vertsplanter og andre ressurser mellom feltene. For å kunne fastslå om kunstig lys har ført til langsiktige endringer i insektsamfunnet, ville det i tillegg vært nødvendig med data fra før belysningen ble etablert eller overvåking av områdene over en vesentlig lengre tidsperiode.

Mangelen på historiske data er en grunnleggende utfordring i forskningen på langtidseffekter, fordi det sjelden finnes informasjon om tilstanden før den kunstige lyskilden ble etablert. Dette gjør det vanskelig å skille effekter av belysning fra andre miljøforskjeller i vårt forsøk. Sammensetningen av insektfaunaen i de to forsøksfeltene kan likevel gi en indikasjon på hvordan ulike grupper responderer på de lokale miljøforholdene, inkludert graden av kunstig belysning.

Metastrekkodingen viste at det totalt ble registrert omtrent like mange insektfamilier og arter i de to forsøksfeltene gjennom de tre studieårene. Familie- og artssammensetningen var

imidlertid til dels forskjellig mellom det belyste og det mørke feltet. Artssammensetningen varierte også mellom de ulike årene. Det er sannsynlig at mye av denne variasjonen skyldes forskjeller i leveområder og vegetasjon, hvor godt fangstperiodene våre har truffet flygeperioden til artene i området, og ikke minst tilfeldige utslag, særlig for arter som ble fanget i lave antall. Lysforholdene kan imidlertid ha bidratt siden nattlig belysning over tid kan, som nevnt ovenfor, endre både insektmengde og artsdiversiteten over tid (van Grunsven mfl. 2019; 2020; Bolliger mfl. 2020a; Gårdman mfl. 2026).

I motsetning til kontrollerte eksperimenter med midlertidige lyskilder i ellers mørke omgivelser, har vårt forsøk undersøkt en permanent belyst vei under naturlige forhold. Dermed kan vi forvente at effekten av kunstig lys virker i kombinasjon med andre veirelaterte stressfaktorer. Nærhet til vei kan nemlig i seg selv føre til økt dødelighet blant insekter gjennom kollisjon med kjøretøy (Baxter-Gilbert mfl. 2015; Keilsohn mfl. 2018; Martin mfl. 2018; Horstmann mfl. 2024). I tillegg utsetter veien insekter for støy, luftturbulens og luftforurensning (Phillips mfl. 2021), og både avrenning og avsetning av tungmetaller, gummipartikler fra dekk, salt og plantevernmidler kan påvirke leveområdene langs veien negativt (Meinzen mfl. 2024). Selv om plantevernmidler i liten grad brukes langs norske veier, kan avrenning fra nærliggende jordbruksarealer fortsatt være en kilde til slik forurensning. Endringer i vegetasjonsstruktur og en større andel asfalt nær veien kan også redusere kvaliteten i leveområdene. Samlet sett må den totale belastningen i nærheten av en belyst vei dermed antas å være betydelig, og det er sannsynlig at summen av disse faktorene bidrar til de lavere insektmengdene vi observerer i det belyste feltet.

At kunstig lys i seg selv har en negativ effekt på insekter er godt dokumentert gjennom en rekke eksperimentelle studier, som det er oppsummert i innledningen til denne rapporten og av Owens mfl. (2020). I denne typen studier er det mulig å undersøke den isolerte effekten av kunstig lys, enten i laboratorier eller ved å sette opp midlertidige lyskilder i mørke områder langt fra veier og annen menneskelig aktivitet (se f.eks. van Koppenhagen mfl. 2025). Dette gjør det mulig å kontrollere for eller redusere påvirkningen fra andre miljøfaktorer, og dermed i større grad knytte observerte effekter direkte til belysningen. Mange av studiene viser at en ny lyskilde kan tiltrekke seg store mengder nattaktive insekter, noe som ofte fører til økte fangstmengder i belyste områder på kort sikt. Denne såkalte «støvsugereffekten» kan over tid bidra til en uttynning av insektbestander lokalt dersom individer kontinuerlig trekkes mot lyskilden (van Grunsven mfl. 2020).

Dersom veilyset har vært til stede over lang tid, er det også mulig at enkelte lyssensitive arter allerede er blitt redusert eller har forsvunnet fra området. Kunstig lys kan dermed virke selekterende og gradvis endre artssammensetningen i området, ved at mer lysfølsomme arter er redusert mens andelen mindre lysfølsomme arter har økt (van Grunsven mfl. 2019; Bolliger mfl. 2020a).

4.2.2 Forskjeller mellom de fire felleplasseringene

Til tross for den overordnede forskjellen mellom de to feltene, fremkom det tydelige finskala variasjoner innenfor hvert av dem, særlig innenfor det belyste feltet med svært ulike lysnivåer, og lyskilder som insektene kan se på lang avstand. Det faktumet at den totale insektfangsten her var rundt 70 % høyere ved lysarmaturene enn i fellene i skogkanten 60-100 m unna, kan tyde på en lokal tiltrekningseffekt, som kom særlig til synet tidlig på høsten. Økologisk sett kan det antas at området nær veien i og for seg er mindre attraktivt for insekter enn området i skogkanten, blant annet på grunn av en høy andel asfalt og dermed mindre vegetasjon. Derfor kunne man forvente større insektfangst i skogkanten enn rett ved lysmastene dersom kvaliteten av leveområdet var den viktigste driveren. Det observerte mønsteret kan dermed tyde på en lokalt avgrenset tiltrekningseffekt av lys, der enkelte insektgrupper trekkes mot lyskilden.

En studie av Bolliger mfl. (2020b) undersøkte insektfangster langs en permanent belyst vei, der lysintensiteten varierte (full vs. dimmet). Forskerne fant at full belysning ga høyere fangster enn dimmet lys. Selv om studien ikke inkluderte et mørkt kontrollområde, samsvarer dette godt med våre funn innenfor det belyste feltet, der den totale fangstmengden ved veilyset var høyere enn i skogkanten. Begge studier peker dermed på at økt lysnivå i nærheten av lysmastene kan øke tiltrekningen og dermed fangstene av enkelte insektgrupper på et lokalt nivå.

Når vi delte opp dataene våre etter insektordener var det nebbmunner som viste den klart sterkeste responsen. I denne orden var fangstmengdene 10–12 ganger høyere i fellene på lysmastene enn i fellene som i skogkanten 60-100 meter unna. Et tilsvarende mønster ble funnet for veps og trips, selv om effekten var noe svakere enn for nebbmunner. Også gruppen vi samlet under betegnelsen «*andre*», som blant annet omfatter sommerfugler, og noen få døgnfluer og vårfluer (familier der mange arter er nattaktive og tiltrekkes lys), viste en tendens til høyere fangster ved lysmastene, men forskjellen var ikke signifikant.

For tovinger fant vi derimot ingen forskjell i fangstmengdene innenfor det belyste feltet. Dette kan skyldes at tovinger er en stor og sammensatt orden. I vårt materiale ble det registrert 310 arter, med stor variasjon i økologi, adferd og døgnrytme. Eventuelle effekter på enkeltarter eller artsgrupper kan derfor bli kamuflert når alle tovingene analyseres samlet. Resultatene fra metastrekkodingen støtter en slik tolkning. ASV-dataene indikerte at noen arter innen gallmygg, sviknott, fjærmygg, sørgemygg, grønnsaksfluer, spyfluer og løvfluer, forekom hyppigere ved lysmastene enn i fellene som sto lenger unna. Dette tyder på at responsen på kunstig lys varierer også innenfor enkeltordene, og at mønstre på artsnivå kan bli skjult når dataene aggregeres til høyere taksonomiske nivåer.

Biller skilte seg ut ved å vise et motsatt mønster, med høyere fangster ved skogkanten enn nær lysmastene både om våren og sent på høsten. Dette kan trolig forklares ved at mange billearter er sterke knyttet til trær (Stone mfl. 2018), og at mønsteret dermed i større grad reflekterer habitatbruk enn en effekt av belysningen. For arter og insektgrupper som hadde høyere fangstmengder i fellene på avstand enn ved lysmastene, kan én mulig forklaring være at enkelte arter unngår områder med kunstig belysning. Slik atferd, der individer beveger seg bort fra en lyskilde, omtales gjerne som negativ fototaksis (Farnworth mfl. 2018; Owens mfl. 2020). I vårt materiale er det imidlertid vanskelig å avgjøre om slike mønstre faktisk skyldes unnvikelse av lys eller forskjeller i lokale habitatforhold, som også kan påvirke fangstmønstrene. Dermed kan vi ikke påvise negativ fototaksis sikkert i våre data.

At den mulige tiltrekningseffekten først og fremst kom til syne tidlig på høsten, og i liten grad om våren eller sent på høsten, kan sannsynligvis forklares av to forhold som virker sammen. For det første har mange insektgrupper sin høyeste flygeaktivitet og tetthet i sensommeren og tidlig høst, noe som øker antallet individer som faktisk kan respondere og tiltrekkes av kunstig lys. For det andre er tidlig høst preget av lengre og mørkere netter enn våren, og sterkere kontrast mellom bakgrunns mørket og veilyset. Dette innebærer at kunstig lys virker i en større del av døgnet. Når nettene blir mørkere igjen etter sommermånedene, øker dermed lysets tiltrekningskraft på positivt fototaktiske arter, og eventuelle forskjeller mellom områdene nær og lenger fra lyskilden blir forsterket. Kombinasjonen av høy insektaktivitet og økt eksponeringstid for kunstig lys gjør derfor tidlig høst til et tidspunkt hvor lys-effekten blir mest tydelig. Disse resultatene kan tyde på at tidvis reduksjon eller slukking av veily i denne perioden av året kan være særlig gunstig for å redusere påvirkningen på insekter. Ettersom studien vår er begrenset til ett studieområde i Sør-Norge, er det imidlertid behov for ytterligere studier for å avklare om dette mønsteret også gjelder andre steder og under andre miljøforhold.

Samtidig er det viktig å understreke at dette mønsteret vises først og fremst for alle insekter og på ordensnivå. På artsnivå kommer frem et mer sammensatt bilde. Enkelte arter, identifisert ved hjelp av metastrekkoding, ble for eksempel påvist i større grad ved fellene nær lysmastene (B1) også om våren. Dette samsvarer med artenes svermeperiode og illustrerer at arts- og tidsavhengige faktorer kan bidra til å forklare lokale variasjoner i fangstmønstret. Det er imidlertid ikke gjennomført statistiske analyser på artsnivå, dels fordi mange arter var representert med kun få individer, og dels fordi denne typen analyser er svært ressurskrevende, noe prosjektets rammer ikke ga rom til.

Mens de foregående analysene viser hvordan fangstmønstrene varierer mellom felleplasseringer og lysforhold, peker resultatene på betydningen av når i sesongen undersøkelsene gjennomføres. Resultatene i dette prosjektet understreker betydningen av å ta hensyn til sesongvariasjon i både insektfenologi og naturlige lysforhold ved vurdering av effekter av kunstig lys. Denne årstidsvariasjonen gir funnene i denne rapporten en litt annen dimensjon i forhold til studier som er gjennomført ved lavere breddegrader der det er fortsatt tydelige døgnvariasjoner i lys og mørke i sommerhalvåret enn under nordiske forhold (Christensen mfl. 2025, Secondi mfl. 2019). Det er også sannsynlig at insektbestander i nordiske områder i noen grad har tilpasset seg de naturlig lange dagene og korte nettene om sommeren, noe som kan påvirke både døgnrytmer, lysfølsomhet og respons på kunstig belysning (Merckx mfl. 2021). Slike lokale eller regionalt tilpassede responsmønstre kan innebære at effektene av kunstig lys ikke uten videre kan generaliseres fra studier gjennomført ved lavere breddegrader eller under mer stabile lysforhold.

4.2.3 Respons hos utvalgte arter og grupper

Mange arter ble fanget i større mengder i fellene på lysmastene enn i fellene på de andre plasseringene, og over 100 arter ble utelukkende påvist ved veilyset. Konsistent høyest fangst ved lysmastene kan være en indikasjon på at lyset fra veilyset virker tiltrekkende på disse artene, siden det finnes relativt sett lite ressurser for dem umiddelbart rundt lysmastene. Områdene rundt lysmastene består i stor grad av vei- og gangveiarealer med begrenset vegetasjonsdekke, og fremstår derfor ikke nødvendigvis som de mest ressursrike habitatene sammenlignet med de øvrige felleplasseringene. Høye fangster ved lysmastene er derfor vanskelig å forklare utelukkende ut fra habitatforholdene i området og kan underbygge

antakelsen på at veilyset virker tiltrekkende på enkelte arter. Dette støttes også av at forskjellene i fangster var betydelig mindre innenfor det mørke feltet.

Vi fant et slik mønster av konsistent høyest fangst ved lysmastene hos 13 arter som ble påvist i alle de tre forsøksårene og hos syv arter som ble påvist to av årene. Disse artene tilhører familiene løpebiller, kortvinger, gallmygg, sviknott, fjærmygg, sørgemygg, grønnsaksfluer, spyfluer, løvfluer, bladlus og gulløyer. Alle har en eller flere viktige funksjoner i økosystemet, og inkluderer pollinatorer, planteetere (herbivorer), soppspisere (fungivorer), predatorer og åteseletere (karnivorer) og nedbrytere (detrivorer). Mange av artene er også næringskilder for andre arter i området, bl.a. for andre insekter, fugler og flaggermus.

Det finnes svært lite informasjon om når på døgnet flygeaktiviteten skjer og hvordan kunstige lyskilder påvirker letting, flygeretning og landing for de aller fleste artene der våre data antyder en tiltrekning til veilyset. Det er heller ingen informasjon hvordan disse artene reagerer på LED som brukes i veily. Døgnrytme og fototaksis er artsspesifikke egenskaper som ofte varierer innen både familie og slekt. Det er derfor ikke mulig å trekke generelle konklusjoner på artsnivå ut fra den informasjonen som foreligger for høyere taksonomiske grupper med stor grad av sikkerhet. Det vi kan si, er at mange arter (men ikke alle) av gulløyer, kortvinger (inkl. slekten *Tachyporus*), gallmygg (inkl. slekten *Campylomyza*), sviknott, fjærmygg og sørgemygg er aktive i skumring og/eller natt (f.eks. Duelli 1986; Pedersen mfl. 1990; Gonzales mfl. 2016; Medeiros mfl. 2017; Pallottini mfl. 2024; Gårdman mfl. 2026) og trekkes til kunstige lyskilder (Olsen og Aagard 2016; Gonzales mfl. 2016; Harvey, 2017; Medeiros mfl. 2017; Jaschof og Jaschof 2021; Kocisova mfl. 2024; Pallottini mfl. 2024). Informasjonen som foreligger om insektartenes og -gruppens fototaksis, er ofte fra studier der lyskilden inneholder UVA (bl.a. lysfeller spesialdesignet for insektfangst) mens noen er fra studier med natriumdampplamper som skal fases ut langs norske veier. Informasjonen kan derfor ikke uten videre generaliseres til den LED-belysningen som brukes langs veiene i dag.

En av artene det finnes noe informasjon om er vintergulløye (*Chrysoperla carnea*). Arten flyr både vår (egglegging i april/mai) og høst (trekk til vinteroppholdssteder, bl.a. i skogsområder), er skumrings og nattaktiv og trekkes til lys (Kral and Stelzl 1998; Harvey 2017; Olsen og Aagaard 2016). Det kan se ut til at dette gjenspeiles i fangsten vår, da vi fant langt flere vintergulløyer i fellene på lysmastene i alle fangstperiodene gjennom sesongen begge de to årene arten ble påvist. Artens larver er predatorer, mens de voksne spiser honningdugg og nektar, og bidrar til pollinering (Olsen og Aagaard 2016).

Mange akvatiske vårflue- og døgnfluearter er nattaktive og trekkes til lys, inkl. veily (Perkin mfl. 2014; Bolliger mfl. 2020b; Larson mfl. 2020, Mészáros mfl. 2021; Schroer mfl. 2021). Larson mfl. (2020) skriver at også dag- og skumringsaktive vårfluearter kan finne kunstige lyskilder tiltrekkende. En døgnflueart og tre vårfluearter ble sporadisk påvist i fellene på lysmastene i løpet av de tre forsøksårene, men ikke i de andre fellene. Harvey (2017) nevner vårfluearten *Limnephilus auricula*, som ble kun påvist ved lysmastene i vår undersøkelse, fanges i lysfeller. Men siden det ble funnet få individer av disse artene og ingen av artene ble påvist mer enn ett år, kan fangsten skyldes tilfeldigheter. Vi kan derfor bare ta funnene som en indikasjon på at lyset fra veily kan ha tiltrekkende virkning på disse artene. Det var noen grunne grøfter med vann i forsøksområdene våre som kan ha gitt livsvilkår for seg disse artene. Men artene kan fly langt og bruker polarisert lys for å lokalisere vannoverflater for egglegging, så det er mulig at de kan være lokket til området av direkte lyset fra veilyset og/eller lys som ble polarisert når det traff fra veien.

Det er verdt å merke seg at den nær truede arten myrstengelfly (*Amphipoea lucens*) ble fanget i august 2023 i en felle på en av lysmastene. Denne nattflyarten flyr i august og begynnelsen av september, tiltrekkes av lys når de flyr og fanges i lysfeller (Andersen 1982). Lysfeller inkluderer ofte UVA og blått lys og mange nattflyarter trekkes til veilyset med stor andel kortbølget lys, bl.a. til blått lys også når UVA er fjernet (Brehm mfl. 2021). Det finnes imidlertid ingen informasjon om respons på LED-veilyss som ikke inneholder UVA hos myrstengelfly spesielt.

Tre arter i familiene grønnsaksfluer, spyfluer, løvfluer og tre bladlusarter ble også funnet i høyest antall ved veilyset. Det er svært lite informasjon om døgnrytme og tiltrekning til kunstige lyskilder å finne for disse artene spesielt og om familiene generelt. Antakelig omfatter familiene mange dagaktive arter, bl.a. oppgir EOL (2026) at *Delia platura* er dagaktiv. I sin sammenstilling av insektfangster i lysfeller i England over 20 år fant f.eks. Harvey (2017) ingen grønnsaksfluer, men noen få spyfluer (inkl. *Pollenia* spp.) og løvfluer. Flygeaktiviteten hos de fleste bladlusartene skjer hovedsakelig på dagtid, men tidspunktet for både kort- og langdistanseflyging påvirkes av bladlusenes indre motivasjon og mange ytre faktorer, inkl. temperatur, vind og lyset i omgivelsene. Når bladlus skal forflytte seg over større avstander under migrasjon kan de f.eks. ha topp i flygingen under demring og i skumringen. Det er en artsspesifikk nedre grense for lysintensitet som utløser flyging hos bladlusene. I laboratoriestudier er funnet terskler for flygestart («take off») på mellom ca. 1 og 1000 lux. Lysmålingene viste en gjennomsnittlig belysningsstyrke målt horisontalt ved veilysete som var ~ 40 lux, og vi må anta at det kan utløse flukt hos noen bladlusarter. På de andre felleplasseringene var belysningsstyrken ~ 1 lux ved A2 og > 1 lux ved A1 og B2. Det er mulig at dette kan bidra til å forklare hvorfor noen bladlusarter ble fanget i størst mengder ved veilyset. Fangsten av de tre artene i fellene våre sammenfaller med migrasjonsflukten om høsten. Kortbølget lys fra himmelen (UV og blått) stimulerer til flygestart og bidrar til å opprettholde flukt, og er viktig for orientering. Det kortbølgede lyset virker i samspill med mer langbølget lys som reflekteres fra omgivelsene. For flere arter er det vist at lys i det gul-grønne området er attraktivt og stimulerer til landing (Robert, 1987; Johansen mfl. 2011).

Dagaktive arter kan stimuleres til flyging inn i mørkeperioden når veilyset slås på (Owens m.fl. 2020), og kan ha blitt trukket til veilysete. Det er imidlertid viktig å påpeke at insektfellene våre var aktivert både dag og natt, og visuelle signaler fra fellene på dagtid, som f.eks. refleksjon av lys fra sola i pleksiglassplatene, kan ha påvirket fangsten.

4.3 Betydningen av værforhold og vegetasjon

Sesongvariasjonen i de naturlige lysforholdene er tett knyttet til temperatursvingninger (van Dijk mfl. 2024). Blant miljøvariablene var det særlig gjennomsnittlig temperatur og luftfuktighet som påvirket insektaktiviteten i våre data. I motsetning til den generelle forventningen om at høyere temperaturer medfører økt insektaktivitet, viste resultatene en negativ sammenheng mellom temperatur og fangstmengder om våren og høsten. En sannsynlig forklaring er at høyere temperaturer i disse periodene ofte sammenfaller med lavtrykksforhold, som også innebærer økt relativ luftfuktighet, et tettere skydekke og større sannsynlighet for vind og nedbør. Slike værforhold kan redusere insektaktiviteten sterkere enn temperaturen alene (Guralnick mfl. 2023). Om høsten er derimot rolige værforhold med klarvær og lite vind ofte knyttet til lavere gjennomsnittstemperaturer som følge av økt utstråling nattetid, og kan dermed forklare hvorfor insektaktiviteten i våre data var høyere under kjøligere, men stabile værforhold enn under varmere og mer ustabile perioder. Kerr

mfl. (2025) påpeker også at mikroklimatiske forhold lokalt kan være en langt sterkere driver enn de klimatiske forholdene på større romlig skala.

Vegetasjon kan også være en viktig driver for insektmangfoldet lokalt. Selv om treslagssammensetningen i de to feltene var relativt lik, med innslag av både bartrær (gran og furu) og en rekke løvtrær (blant annet osp, rogn, eik, svartor, selje og bjørk), var vegetasjonstettheten gjennomgående noe høyere i det mørke feltet enn i det belyste.

I analysene inkluderte vi utvalgte vegetasjonsparametere for å beskrive slike strukturelle forskjeller, herunder dekning av busk- og tresjikt. Disse variablene bidro imidlertid i begrenset grad til å forbedre forklaringskraften i de statistiske modellene. Tredekning var den eneste vegetasjonsvariabelen som viste en konsistent, men svak, signifikant effekt, med negativ sammenheng for totalt antall insekter samt for tovinger, nebbmunner og veps, men uten effekt for trips. Den tydeligste effekten av tredekning ble observert for biller, der sammenhengen var tydelig positiv, med høyere fangstmengder i områder med økt tredekning. Dette kan sannsynligvis forklares av at mange billearter er tett knyttet til trevegetasjon og død ved, både gjennom larvestadier og som voksne individer.

Den gjennomgående svake og negative effekten av tredekning for de øvrige insektgruppene kan muligens delvis forklares av forskjeller i flygeatferd. Flere av disse ordenene forflytter seg aktiv i åpne luftrom, og økt tredekning kan føre til mer kompleks vegetasjonsstruktur, kortere flygeavstander og større grad av manøvrering eller skjult aktivitet inne i vegetasjonen.

Samlet antyder dette at de observerte forskjellene i insektmengder mellom feltene ikke primært kan forklares av målbare forskjeller i vegetasjonsstruktur alene. Samtidig kan den begrensede statistiske effekten av vegetasjonsvariablene ikke utelukke at vegetasjonen har økologisk betydning gjennom flere indirekte mekanismer, som økt tilgang på skjul, mer stabile mikroklimatiske forhold og høyere strukturell kompleksitet. I hvilken grad slike forhold har bidratt til de mønstrene vi observerte, kan imidlertid ikke avgjøres på grunnlag av våre data.

4.4 Lysnivå og lysforhold

For å kunne vurdere om observerte forskjeller i insektfangst kan knyttes til faktiske variasjoner i lys, ble belysningsstyrken målt ved hver felleplassering og inkludert som potensiell forklaringsvariabel i de statistiske analysene. Analysene viste at lysnivåene var sterkt korrelert med plasseringen av fellene. Dette indikerer at variasjonen i lysnivå i stor grad allerede var dekket gjennom behandlingsfaktoren. Til en viss grad representerer de fire felleplasseringene en grov lysgradient, selv om denne gradienten ikke var kontinuerlig (se også 4.5 Plassering av feller). Som følge av denne sterke korrelasjonen bidro ikke lysmålingene til ytterligere forklaringskraft i den statistiske modellen utover det som allerede ble fanget opp av felleplasseringene. Av hensyn til modellens robusthet og tolkning ble det derfor valgt å primært basere analysene på felleplassering som representant for lysgradienten, heller enn å inkludere lysnivå som en kontinuerlig variabel.

Likevel gir lysmålingene viktig tilleggsinformasjon om romlig utbredelse og styrke av veilyset i landskapet. Målingene dokumenterer hvor raskt lysnivåene avtar med økende avstand fra veien og hvor langt ut i terrenget lyset potensielt kan spre seg. Vi fikk også vist at selv om belysningsstyrken avtok veldig raskt innen de første 10 m fra veien, så er lyspunktene fortsatt synlige fra lengre avstand. Selv om prosjektet ikke ga rom for å undersøke over hvor store avstander insekter tiltrekkes og påvirkes av lys, tyder den eksisterende forskningslitteraturen at mange arter tiltrekkes over flere titalls meter og enkelte arter opp til flere hundre meter,

avhengig av blant annet insektart, lyskildens egenskaper og plassering, månefase og bakgrunnsbelysning (Perkin mfl. 2014, Degen mfl. 2016, Degen mfl. 2024, Truxa og Fiedler 2012, Carannante mfl. 2021, Schroer mfl. 2021).

Vi har også diskutert hvilke lysegenskaper som er viktigst når det gjelder tiltrekning av insekter. Spektrum er en viktig faktor, men ulikheter i lyskildens utforming kan også ha betydning (Dietenberger mfl. 2024, Charvalakis mfl. 2025). Noen lyskilder bidrar til mer diffus lysutbredelse, f.eks. som himmelglød (skyglow), mens andre er mer retningsbestemte. Ettersom man i økende grad forstår insektenes atferd, fremstår det som mer sannsynlig at lysets synlighet over lange avstander kan spille en rolle også i områder med lav, diffus lysutbredelse (Seymoure et al 2026). Dette illustreres også i Figur 43 der posisjonen har tydelig lav irradians, mens selve lyskilden har høy (blendende) radians. Antakelig vil tiltrekningen føre til ulike biologiske responser avhengig av avstand til lyskilden (Fabian mfl. 2024). En mulig konsekvens er at insekter som kan se lyskilden fra sin posisjon, enten nær bakken eller høyere oppe, trekkes mot kilden, og deretter holdes der. Slik respons vil antakelig variere mellom arter, både fordi de kan befinne seg på steder der de ser lyskilden direkte, eller høyt oppe der individene bare observerer tilbakespredt lys eller lys som speiles i overflater eller indirekte i skyer eller tåke (Dietenberger mfl. 2024).

4.5 Metodiske begrensninger

Til tross for nøye planlegging av forsøket, er det noen begrensninger i studien vi ønsker å adressere. Det er viktig å ta hensyn til disse begrensningene når resultatene tolkes og i planleggingen av mulige avbøtende tiltak.

Fangstperiode

En tydelig begrensning i studien er at fellene også var aktive på dagtid. For å skille atferden til nattaktive insekter tydelig fra de dagaktive insektene, burde insektfellene bare ha fanget insekter i tussemørke og om natten. Siden dette ville føre med seg for store kostnader ved å måtte betjene fellene to ganger i døgnet eller anskaffe automatiserte feller, var fellene våre aktive hele døgnet gjennom fangstukene. I tillegg til veilysets virkning på insektenes flygeatferd om natten kan dermed faktorer som påvirker dagaktive insekters flyging også ha påvirket fangsten. Men dersom veilyset trekker til seg eller frastøter større mengder flygende insekter om natta vurderte vi det slik at det er sannsynlig at dette ville bli synlig i den totale insektfangsten. Dette gjelder særlig om høsten, når den mørke delen av døgnet er betydelig lengre enn perioden med dagslys. Døgntfangst vil også gi en indikasjon på mengden og diversiteten av flygende insekter i områdene generelt. Likevel er det sannsynlig at fangsten av både dag- og nattaktive arter har tilført noe støy i datamaterialet og vi kan dermed anta at forskjellene mellom plasseringer og insektordener hadde vært tydeligere dersom fellene hadde vært aktive kun om natten.

Plassering av feller

Effektene av kunstig lys er i stor grad avhengige av både avstand til lyskilden og hvordan lysintensiteten avtar i landskapet, noe som gjør plasseringen av fellene til et viktig metodisk valg. Som vist i kapittel 3.4 (Figur 34), faller lysnivået raskt med økende avstand til veien. I valget mellom å plassere fellene innen en lysgradient, falt vi ned på å plassere feller der det var praktisk mulig av hensyn til forekomsten av høye nok trær for oppheng. Dette innebar at fellene ble plassert der det var praktisk gjennomførbart, snarere enn langs en ideelt jevn

gradient i irradians. Metodikken ga dermed begrensede muligheter til å undersøke hvordan insektfangst varierer langs en kontinuerlig og gradvis avtakende lysgradient. Et slikt oppsett hadde krevd et langt større forsøksområde og oppheng av et større antall insektfeller, noe som ikke har vært mulig innenfor rammene i dette prosjektet. I stedet sammenligner studien hovedsakelig fangster mellom klart belyste og mørkere posisjoner, med relativt bratte endringer i lysnivå.

I forbindelse med fellenes plassering, er det også av betydning i hvilken høyde over bakken disse monteres. Av tekniske og praktiske årsaker var monteringshøyden begrenset til rundt 5 meter, også fordi lysmastene hadde kabelføring på toppen og det var derfor nødvendig å overholde en viss sikkerhetsavstand under montering med liftbil. På de andre felleplasseringene var vi begrenset gjennom stighøyden til 4 meter. Ideelt hadde det vært å henge opp fellene noe høyere. Særlig ved lysmastene langs veien hadde dette sikret at fellene hang nærmere lyskilden og sannsynligvis fanget flere av de insektene som sirkler direkte rundt lyskilden.

Manglende replikasjon av behandlingene

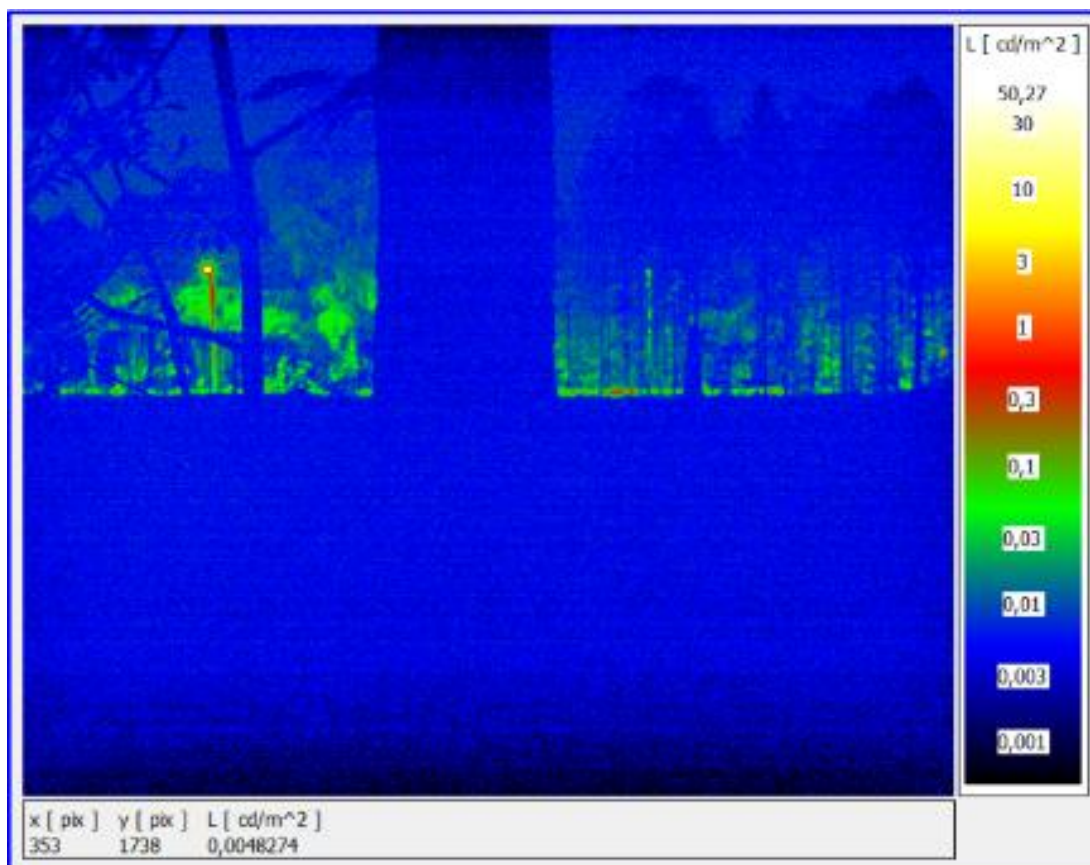
En viktig begrensning ved denne studien er at forsøket ble gjennomført i kun ett studieområde. Selv om datagrunnlaget med 24 vindusfeller og 72 prøver per år (216 prøver totalt) er relativt omfattende, har det innenfor prosjektets rammer ikke vært mulig å etablere tilsvarende forsøksoppsett i flere uavhengige områder. Studien mangler dermed romlig replikasjon av behandlingene, noe som gjør det vanskelig å skille effekter av belysningen fra eventuelle stedsspesifikke forhold som ikke er fanget opp av de målte variablene.

Selv om feltene ble valgt for å være så sammenlignbare som mulig, kan forskjeller i habitatkvalitet, vegetasjonsstruktur, mikroklima, insektenes lokale bestandsstørrelser eller andre miljøforhold ha bidratt til noen av de observerte forskjellene mellom områdene. Resultatene gir derfor ikke grunnlag for å konkludere med at de registrerte mønstrene nødvendigvis vil være de samme i andre områder eller under andre miljøforhold.

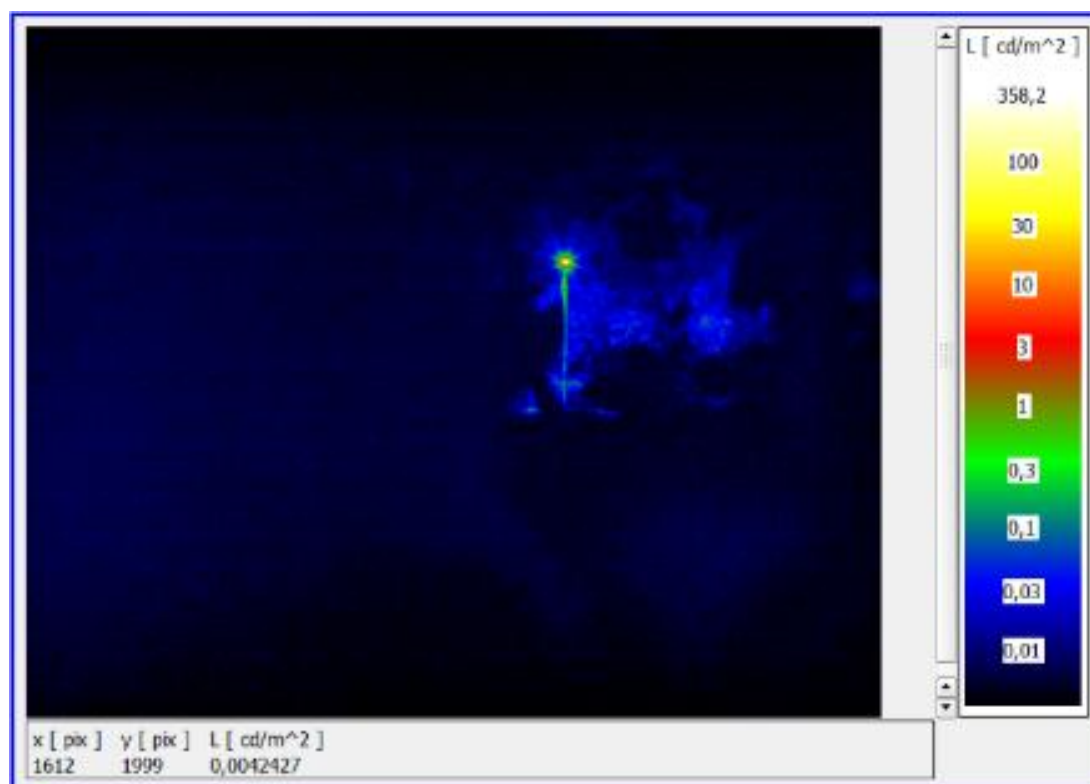
Det er derfor viktig å understreke at studien må betraktes som en case-studie. Funnene gir verdifull innsikt i hvordan kunstig belysning kan påvirke insektsamfunn under de undersøkte forholdene, men generaliserbarheten er begrenset. For å styrke grunnlaget og for å kunne trekke mer generelle konklusjoner vil det være nødvendig å gjennomføre tilsvarende undersøkelser i flere uavhengige studieområder og under ulike miljøforhold. Dette gjelder særlig områder med andre typer leveområder, landskapsstruktur og lysforhold, inkludert mer nordlige områder hvor de sesongmessige variasjonene i dagslys og mørke er enda større enn i Sør-Norge.

Flatehogst ved det mørke feltet

Etter oppstart av forsøket i mai 2023 ble det i juni 2023 gjennomført uvarslet flatehogst i deler av skogen mellom Hortensveien og det mørke feltet. Dette førte til at fire av de 12 fellene (A11, A21, A31, A41) har fått en direkte siktlinje til den belyste veien som ligger rundt 200 m unna. Siden irradiansen avtar raskt med avstanden fra lyskilden er det sannsynlig at påvirkningen har vært liten over denne avstanden, men vi kan ikke utelukke at enkelte lysfølsomme, nattaktive insekter kan ha oppfattet radiansen fra lampene, uttrykt som luminans i Figur 42 og Figur 43, og reagert på dette.



Figur 42: Luminansbilde fra insektfelle A11 mot vei. Her ble en del av skogen hogget midt i vekstsesongen som skulle skjerme fellene A11, A21, A31 og A41 fra veilyset.



Figur 43: Luminansbilde fra insektfelle A21 mot vei.

Forskjeller i vegetasjon mellom feltene

Som tidligere nevnt, bidro vegetasjon, med unntak av tredekning, i liten grad i den statistiske modellen. Likevel er det svært sannsynlig at forskjeller i vegetasjonen mellom de to forsøksfeltene har påvirket fangstmengdene. Generelt er det svært vanskelig å finne to naturlige områder med helt lik vegetasjonssammensetning og struktur. For å unngå påvirkning av ulik vegetasjon er det mulig å kun bruke ett forsøksfelt og registrere insekter gjennom avvekslende perioder med belysning og slukking. Dette krever imidlertid dobbelt så mange feltbesøk for hver fangstperiode og er derfor langt mer ressurskrevende. Ved å registrere under mørke og belyste forhold etter hverandre (istedenfor samtidig) kan i tillegg føre til større variasjoner i værforhold og dermed også påvirke resultatene.

At fellene i det mørke området dekket et noe større område enn i det belyste feltet, kan også ha påvirket resultatene. At fellene i det mørke feltet samlet sett dekket et noe større areal enn fellene i det belyste feltet, kan ha hatt betydning for registrert artsmangfold, ettersom et større geografisk område i utgangspunktet kan romme flere ulike insektarter. Sammenligningen av fangstmengder mellom feltene antas derimot ikke å være påvirket av forskjellen i feltstørrelse, ettersom de statistiske analysene er basert på forventet insektmengde per felle, ikke totalt antall individer per felt.

Mulig langtidseffekt av tidligere belysning i det mørke feltet

Vanligvis er turstien i det mørke feltet belyst i mørkeperioden i det tidsrommet folk i området går tur morgen og kveld, men slås automatisk av kl 23. I den perioden vi samlet insekter var lysene slått av hele døgnet. Samtidig er det viktig å merke seg at området har vært eksponert for kunstig lys i begrensede tidsrom morgen og kveld gjennom mange år før datainnsamlingen.

Dette kan ha gitt langtidseffekter på insektfaunaen i området, selv om lyset var slått helt av under datainnsamlingen. Slike effekter kan blant annet være endret insektmengde og artssammensetning. Over tid kan også atferdsmessige tilpasninger ha oppstått, for eksempel i form av redusert lysunnvikelse eller endret døgnaktivitet hos enkelte grupper, sammenlignet med et område som aldri har vært utsatt for kunstig belysning. Uten historiske insektdata, er det imidlertid ikke mulig å påvise om det har funnet sted slike langtidsendringer.

Dermed representerer det mørke feltet i denne studien heller et historisk påvirket, men midlertidig mørklagt miljø, snarere enn et helt upåvirket mørkeområde. Eventuelle forskjeller mellom feltene må derfor tolkes i lys av dette, ettersom kontrasten mellom feltene kan være noe mindre enn mellom et permanent belyst og et permanent mørkt område. Perioden uten belysning i datainnsamlingen gir samtidig et godt utgangspunkt for å analysere kortsiktige responser hos insektfaunaen ved bortfall av kunstig lys. Slik kunnskap er direkte relevant i en forvaltningskontekst der tiltak som redusert eller tidsstyrt belysning vurderes.

5 Konklusjon

Forsøkene i denne studien har gitt oss ny kunnskap om insektmangfold og artssammensetning i et belyst veimiljø sammenlignet med et mørkt område. Selv om denne studien har vært begrenset til kun ett studieområde og ikke tillater å skille lysets effekter tydelig fra andre veirelaterte effekter, bekrefter resultatene våre mange av funnene fra tidligere studier fra ulike land. Blant annet registrerte vi gjennomgående lavere fangstmengder i det belyste feltet enn i det mørke feltet. Samtidig observerte vi noen forskjeller på mindre romlige skalaer innenfor feltene. For enkelte insektordener var fangstmengdene høyere ved lysmastene enn i feller plassert lenger unna lyskildene, noe som kan antyde en lokal tiltrekningseffekt av veilyset.

Resultatene understreker også betydningen av å ta hensyn til både sesongvariasjon og artsspesifikke forskjeller når effekter av kunstig lys skal vurderes. Responsene varierte betydelig mellom insektgrupper og gjennom sesongen, noe som viser at generaliseringer på tvers av arter og leveområder kan være vanskelig. Dette er særlig relevant under nordiske forhold, der store sesongmessige endringer i naturlige lysforhold kan påvirke hvordan insekter responderer på kunstig lys.

Studien viser samtidig hvor komplekst samspillet mellom insekter, leveområder og menneskelig påvirkning er. Insekter påvirkes sjelden av kun én enkelt faktor, men av et samspill av blant annet vegetasjon, klima, værforhold, ressurstilgang, landskapsstruktur og ulike former for menneskelig påvirkning, som forurensning, trafikk og kunstig lys. Selv om eksperimentelle studier kan bidra til å isolere effektene av kunstig belysning, vil responsene som observeres under kontrollerte forhold ikke nødvendigvis være direkte overførbare til naturlige miljøer, der mange påvirkningsfaktorer virker samtidig.

Kunnskapsgrunnlaget fra nordiske områder er fortsatt begrenset, og store forskjeller i insektenes økologi, leveområder og geografiske utbredelse gjør forskning på effekter av kunstig lys spesielt krevende. Selv om våre data ikke gjør det mulig å isolere effekten av kunstig lys fra andre miljøfaktorer knyttet til et belyst veimiljø, dokumenterer studien tydelige forskjeller i både insektmengde og artssammensetning mellom de undersøkte feltene og felleplasseringene. Resultatene er derfor relevante i videre vurderinger av hvordan veirelaterte miljøfaktorer, inkludert belysning, kan påvirke insekter og andre organismer. Dette kan være et viktig utgangspunkt for å vite litt mer om hvordan man kan ta hensyn til insekter ved belysning av veier.

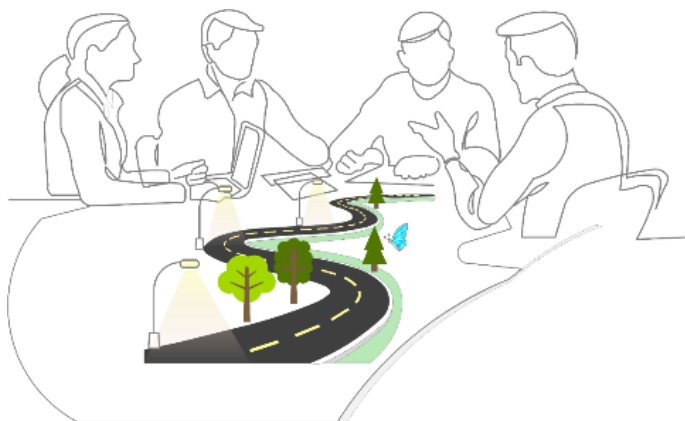
Selv om kunnskapsgrunnlaget fortsatt er begrenset, bør planlegging og drift av belysningsanlegg så langt som mulig bygge på føre-var-prinsippet. Dette kan innebære å vurdere omfang, plassering, lysstyrke, spektralsammensetning og driftstid opp mot lokale naturverdier og leveområder med mange arter som er sårbare for lysforurensing. Samtidig er det behov for flere studier fra ulike typer leveområder, klimasoner og breddegrader, samt lengre tidsserier og undersøkelser av flere insektgrupper, før det kan trekkes mer generelle konklusjoner om betydningen av veily for insektmangfold i Norge.

Til tross for disse begrensningene har prosjektet gitt viktig ny kunnskap om insektforekomst og artsmangfold i belyste veimiljøer under nordiske forhold. Studien er, så vidt vi kjenner til, den første undersøkelsen av insekter langs belyste veistrekninger i Norge, og kombinasjonen av tradisjonelle fangstmetoder og DNA-baserte analyser har gitt et godt bilde av både mengde,

artsrikdom og artssammensetning. Resultatene viser at responsene varierer mellom insektgrupper, mellom år og gjennom sesongen, og understreker dermed behovet for lokalt tilpassede vurderinger. Nettopp denne kompleksiteten er et av de viktigste funnene fra studien, og gir et viktig grunnlag for videre forskning og forvaltning av veilys under nordiske forhold. Prosjektet har også bidratt med omfattende metodisk erfaring og et verdifullt datagrunnlag som kan brukes som referanse for framtidige studier og ved videre utvikling av mer miljøvennlige løsninger for veilys.

Ikke minst har prosjektet også vist at gode studier av effekter av kunstig lys tar tid. Samtidig er resultatene i dette prosjektet i stor grad i tråd med tidligere forskning og etablerte faglige forventninger. Vi mener derfor at dagens kunnskapsgrunnlag, selv om det fortsatt er ufullstendig, er tilstrekkelig til å iverksette mer bærekraftige belysningstiltak allerede nå. Slike tiltak bør samtidig følges opp og evalueres, slik at de kan justeres når ny kunnskap og erfaring blir tilgjengelig over tid.

Del II: Bærekraftig veilys – balansert veilys for fotgjengere, bilførere og økosystem



1 Prosjektkontekst og problemstilling

1.1 Norsk kontekst og brukerbehov

Trafikantenes sikkerhet og komfort blir betydelig redusert etter mørkets frembrudd, særlig på veier som mangler godt utformet og vedlikeholdt belysning (van Bommel 2014). Veilys installeres for å forbedre sikkerhet og synlighet, samt for å øke førernes komfort og årvåkenhet (Tetri mfl. 2017; Wood 2020). I Norge reguleres veilys innenfor det nasjonale rammeverket for veiplanlegging. Statens vegvesens standard N100 fastsetter krav til utforming av veier og gater, inkludert veilys og infrastruktur for fotgjengere og syklister. Et særtrekk ved den norske konteksten er at gang- og sykkelveier ofte ikke belyses som helt separate systemer. I stedet kan de få lys fra veilysanlegget som betjener kjørebanelen, når traseene går parallelt med bilveien. NEK 600 omtaler eksplisitt parallelle gang- og sykkelveier og angir at når en gang- eller sykkelvei går langs en hovedvei, belyses kjørebanelen i henhold til valgt veiklasse, mens gang- og sykkelanlegget samtidig må oppfylle egne krav til belysningsklasse. Veiledningen viser også funksjonen til felles belysning avhenger av geometrien: dersom mastene står mellom kjørebanelen og den parallelle gang- og sykkelveien, kan det være mulig å oppnå tilfredsstillende belysning for begge. Hvis avstanden blir for stor, kan det derimot være nødvendig med egen belysning for gang- og sykkelanlegget. Veilyset er likevel hovedsakelig utformet med bilførere som primær brukergruppe (Statens vegvesen 2021, 2023), noe som kan påvirke hvor godt fellesbelysningen ivaretar fotgjengeres og syklisters behov for synlighet og opplevd trygghet. Denne standardbaserte og brukerorienterte tilnærmingen reiser et sentralt spørsmål i belysningsdesign: Hvilke lysmålinger er best egnet til å vurdere visuell ytelse og komfort for ulike grupper av trafikanter? Et viktig skille går mellom luminansbaserte målinger, som primært brukes for

motorisert trafikk, og illuminansbaserte målinger, som vanligvis er mer relevante for fotgjengere og syklister. Begrepene og deres bruk utdypes i Kapittel 2.

Utover valget av fotometriske målemetode avhenger utformingen av veilys av flere andre egenskaper, blant annet lysutbytte, jevnhet, blending og den romlige og spektrale fordelingen av lys. I de senere årene har utviklingen innen belysningsteknologi, særlig overgangen til lysdioder (LED-lys), skapt nye muligheter for å optimalisere veilys med hensyn til både energieffektivitet og visuell ytelse. Samtidig har valgte LED-kilder ofte høyere korrelert fargetemperatur enn tidligere lyskilder. Denne utviklingen har skapt bekymring for mulige effekter på både synlighet og økologiske systemer (Falchi mfl. 2011; Pawson & Bader 2014).

1.2 Bærekraftig veilys

Elektrisk belysning kan også ha betydelige miljømessige konsekvenser (Hölker mfl. 2021; Jägerbrand & Spoelstra 2023; Sanders mfl. 2021), og bidra til astronomisk lysforurensning (Bará & Falchi 2023). Bærekraftig belysning innebærer å balansere menneskelige behov med miljøansvar. For veilys betyr dette å gi tilstrekkelig lys til å støtte synlighet, sikkerhet, komfort og orientering, samtidig som unødvendig energibruk begrenses, lysforurensning reduseres og skade på omgivelsene unngås. Van Bommel (2014) beskriver dette som en avveining mellom belysningens positive virkninger og dens negative miljøeffekter. De negative effektene omfatter blant annet bruk av farlige eller ikke-fornybare materialer, energisløsing og tilhørende utslipp, samt lysforurensning som påvirker beboere, astronomer, dyreliv og vegetasjon.

Bærekraftig belysning kan forstås gjennom:

- Effektive lyskilder og armaturer
- Lys kun ved behov
- Redusert lysspredning og himmelglød
- Trygghet, trivsel og inkludering
- God sikt uten lysforurensning

I vei- og gateområder innebærer dette blant annet å hjelpe bilførere med å oppdage farer og myke trafikanter, samt å gjøre det lettere for fotgjengere å orientere seg, oppdage hindringer, se ansikter og samhandle sosialt. Belysningen bør også bidra til en følelse av trygghet etter mørkets frembrudd. En belysningsløsning kan derfor ikke regnes som bærekraftig dersom den sparer energi, men samtidig skaper dårlige synsforhold, ubehag eller utrygghet for brukerne eller sprer lys uhensiktsmessig i omgivelsene. Bærekraftig belysning vurderes dermed ikke bare ut fra hvor godt den belyser veien, men også ut fra hvor godt den kontrollerer lys utenfor målområdet.

Lys om natten kan, påvirke både søvn og døgnrytme (Christensen mfl. 2026; Davis mfl. 2023; Paksarian mfl. 2020). Rapporten om lysforurensning i Norge påpeker at lysets innvirkning på trafikkulykker, som nevnt over, antakelig er den største faktoren knyttet til helse. Den oppsummerer også rapporter som antar at lysforurensning kan være knyttet til bredere helsemessige konsekvenser (Christensen mfl. 2026). Flere sykdommer har vært undersøkt, men det er ofte vanskelig å påvise klare årsakssammenhenger mellom lyseksposering og effekter fordi andre relaterte faktorer også spiller inn. Rapporten understreker samtidig at det fortsatt finnes viktige kunnskapshull, særlig om langtidseffekter under reelle utendørs eksponeringsforhold.

De økologiske konsekvensene av kunstig lys om natten er også betydelige, se Del I når det gjelder insekter og litteratur på andre arter. Forfatterne fremhever at slike effekter er spesielt relevante på høye breddegrader, der de naturlige sesongvariasjonene i lys allerede er store, og hvor kunstig belysning derfor kan gi ekstra sterke biologiske forstyrrelser. Andre studier viser at dårlig kontrollert belysning også kan påvirke dyreliv og vegetasjon. Kortbølget lys kan være særlig biologisk virksomt, men responsen varierer mellom arter og avhenger av både lysmengde og spektral sammensetning (Bergan mfl. 2026; Candolin & Filippini 2025; Christensen mfl. 2026; Owens mfl. 2020; Voigt mfl. 2021).

Samlet viser disse forholdene at bærekraftig veilyss må vurderes ut fra mer enn synlighet og energibesparelse. En belysningsløsning kan være teknisk effektiv og visuelt velfungerende, men likevel gi unødvendig oppadrettet lys, lysspredning eller spektrale utslipp som forstyrrer økosystemer eller mennesker i nærheten. Nøye planlegging, god optisk kontroll og tverrfaglige vurderinger er derfor sentrale i utviklingen av framtidige belysningsstrategier (Christensen mfl. 2026; Corsini mfl. 2025; Durmus mfl. 2024; Longcore mfl. 2018; Schulte-Römer mfl. 2019). Bærekraftig belysning bør dermed forstås som en balansert løsning som støtter menneskelig bruk, samtidig som den reduserer unødvendig belastning på helse, biologisk mangfold og nattemiljøet.

1.3 Prosjektets mål og delstudier

Vårt samarbeid med Statens vegvesen har gjennom flere år vært rettet mot studier og vurderinger av veilyss i Norge, med særlig vekt på de økologiske effektene av veilyss, som omtalt i Del I. Målet med Del II har vært å undersøke strategier for å redusere lysforurensning og vurdere hvordan tiltakene kan påvirke både fotgjengere og bilførere. Delstudiene 1–4 ble gjennomført i det samme caseområdet i Tønsberg som insektstudien i Del I, men tok for seg ulike forskningsspørsmål, slik det beskrives i de følgende kapitlene.

Arbeidet har gitt bedre forståelse av lysforurensning fra veilyss og avveiningene som må gjøres når tiltak skal utvikles. Prosjektet synliggjør særlig behovet for belysningsløsninger som i større grad forener trafikantenes behov for synlighet og sikkerhet med hensynet til økosystemer og nattemiljø. Resultatene gir et grunnlag for videre utvikling av en mer balansert, bærekraftig og kontekstsensitiv praksis for veilyss.

2 Sentrale begreper og vurderingsparametere for bærekraftig veilys

Belysning har stor betydning for hvordan mennesker oppfatter og bruker uteområder etter mørkets frembrudd. Den hjelper oss med å orientere oss, oppdage hindringer og andre trafikanter, og forstå omgivelsene rundt oss. Samtidig handler belysning ikke bare om å gjøre et område lysere. Hvor mye lys som finnes, hvilken farge lyset har, hvordan det er fordelt, og hvor det treffer, påvirker både synlighet, komfort og opplevd trygghet. Godt gjennomtenkt belysning kan derfor gi god synlighet uten økte lysnivåer.

For å forstå utendørsbelysning er det nyttig å kjenne til noen grunnleggende begreper. **Illuminans**, målt i lux (lx, (lm/m²)), beskriver hvor mye lys som faller på en flate. I praksis kan illuminans brukes til å beskrive hvor mye lys som treffer veibanen, en gangvei, en veig, et øye eller en gjenstand.

Lysstyrke blir oppgitt i candela (cd, lumen per romvinkelenhet, lm/sr), **Luminans** (cd/m²) beskriver hvor lys en flate fremstår når den sees fra en bestemt retning. Det er viktig å skille mellom illuminans og luminans fordi illuminans er den mengden lys som treffer oss uansett fra hvilke kilder eller reflekterende flater, mens luminans er en verdi som er knyttet til overflaten av en bestemt kilde, altså hvor intens den ser ut for vårt øye. I veilys brukes veibanens luminans vanligvis som primærparameter for motorisert trafikk, fordi veidekket utgjør den visuelle bakgrunnen i førerens vanlige blikkretning. For fotgjengere og syklistene er illuminansbaserte størrelser vanligvis mer hensiktsmessige: **horisontal illuminans** beskriver belysningen på vei- og gangflater, **vertikal illuminans** belysningen på vertikale flater og brukes blant annet ved intensivbelysning av overgangsfelt, mens **halvsylindrisk illuminans** kan brukes til å beskrive belysningen av ansikter og andre vertikale menneskelige trekk i gatebildet.

Et annet viktig begrep er **korrelert fargetemperatur** (CCT), målt i kelvin (K). CCT beskriver en lyskildes opplevde fargetone langs en varm–kald-skala. Lav CCT, som 2200 K, gir et varmere og mer rødfarget lys, mens høyere CCT, som 4000 K, gir et kjøligere og hvitere lys. **Fargegjengivelse** beskriver hvor godt en lyskilde gjengir fargene på objekter sammenlignet med en referanselyskilde. Dette er viktig fordi farger kan hjelpe oss med å skille mellom objekter, overflater, skilt, klær og ansikter. Disse egenskapene henger sammen med lyskildens **spektrale effektfordeling** (SPD), som beskriver hvor mye energi lyskilden sender ut ved ulike bølgelengder. Enkelt sagt viser SPD hvilke deler av spekteret og hvor mye av hver del som finnes i lyset. **Fargegjengivelsesindeks** (forkortet CRI, fra engelsk **Colour Rendering Index**, eller noen ganger Ra) er et mål på hvor nøyaktig en lyskilde gjengir fargene på gjenstander, sammenlignet med naturlig dagslys eller en ideell referanselyskilde, med skalaen fra 0 til 100, der 100 representerer perfekt fargegjengivelse (tilsvarende dagslys).

Kontrast er også et sentralt begrep. Et objekt blir synlig først når det skiller seg tydelig nok fra bakgrunnen. En fotgjenger, et dyr eller en hindring i veibanen må ha tilstrekkelig kontrast mot omgivelsene for å kunne oppdages i tide. I tillegg påvirker lysets romlige fordeling hvor lett omgivelsene kan leses visuelt. Store forskjeller mellom lyse og mørke områder kan gjøre det vanskeligere å oppdage farer, mens et svært flatt og jevnt lys kan redusere dybdeoppfattelsen og gjøre omgivelsene mindre tydelige. God utendørsbelysning avhenger derfor ikke bare av lysnivået, men også av jevnhet, lysretning og visuell sammenheng.

Mål for visuell ytelse og lyskvalitet

De ulike målene beskriver forskjellige sider ved lyskvalitet og visuell ytelse og bør derfor tolkes i sammenheng. CCT angir lysets opplevde fargetone, men gir i seg selv ikke informasjon om fargegjengivelse eller synsskarphet (Durmus, 2022). CRI brukes som mål på fargegjengivelse, men samsvarer ikke alltid med faktisk visuell ytelse, særlig ved lave lysnivåer. CRI har også flere kjente begrensninger og er derfor foreslått erstattet eller supplert med andre mål, som fargefidelitet (Rf) (Davis & Ohno 2009).

Verken illuminans eller luminans alene gir full informasjon om hvordan lysets spektrale sammensetning påvirker synsopplevelsen.

S/P-forholdet beskriver forholdet mellom en lyskildes skotopiske og fotopiske lysutbytte, altså hvordan spekteret vektet for syn under henholdsvis svært lave og høyere lysnivåer. Fordi målet avhenger av lysets spektrale sammensetning, kan det gi en indikasjon på hvordan en lyskilde støtter enkelte synsoppgaver ved mesopiske lysnivåer, altså i overgangen mellom skotopisk og fotopisk syn, der både stav- og tappesystemet bidrar til synsopplevelsen. Det sier derimot ikke alene noe om samlet visuell ytelse eller om hvor mye lys som faktisk er tilgjengelig. Brukt sammen med andre lysmål kan S/P-forholdet likevel inngå i vurderingen av belysningsløsninger for bilførere og fotgjengere under ulike utendørsforhold.

Parametere for miljø- og økologiske vurderinger

Når miljøeffekter skal vurderes, blir andre egenskaper ved belysningen viktige i tillegg til dem som beskriver menneskelig syn. I denne sammenhengen er det ikke nok å vite hvor mye lys som treffer veibanen. Det er også nødvendig å vurdere hvor mye lys som forlater anlegget i uønskede retninger, hvor langt det sprer seg ut i omgivelsene, og hvilken spektral sammensetning lyset har.

For økologiske vurderinger er spektral effektfordeling (SPD) særlig viktig. Biologiske responser hos dyr og planter avhenger av bølgelengde, men også av blant annet lysmengde, retning, tidspunkt og eksponeringsvarighet på andre måter enn hos mennesker. Ulike biologiske responser hos samme art kan ha ulik spektralrespons f.eks. synkroniseres døgnrytmene best av blått lys, mens mennesker ser grønt lys bedre enn blått. Mange arter har en annen spektral følsomhet enn mennesker, og enkelte er også følsomme for stråling utenfor menneskets synlige spektrum. Kortbølget lys i den blå delen av spekteret kan være særlig biologisk virksomt hos en rekke arter, men responsen er artsspesifikk. CCT kan gi en grov indikasjon på om en lyskilde er varmere eller kaldere, men kan ikke alene beskrive økologisk påvirkning på en pålitelig måte, fordi to lyskilder med samme CCT kan ha svært ulik spektral sammensetning.

Et annet viktig forhold er lysets spredning til tilgrensende områder, som vegetasjon langs veien, åpne terrengområder eller vannflater. Økologiske forstyrrelser oppstår ikke bare på grunn av lys som sendes oppover, men også når lys trenger inn i områder som egentlig ikke skulle vært belyst. Dette kan vurderes ved hjelp av fotometriske målinger, som horisontal eller vertikal illuminans utenfor målområdet, og radiometriske målinger, som irradians. Irradians beskriver hvor mye strålingsenergi som treffer en flate per arealenhet og måles i watt per kvadratmeter (W/m^2). I motsetning til illuminans, som er vektet etter menneskets synsfølsomhet, beskriver irradians fysisk stråling uavhengig av hvordan mennesker ser. Radiometriske størrelser som irradians er derfor mer relevante enn illuminans ved vurdering av biologiske effekter på dyr og planter. Når miljøvurderingen gjelder bølgelengdespesifikke effekter, er spektral irradians eller andre spektralt oppløste radiometriske data nødvendig.

Helhetlig vurderingsramme

Dette skillet er viktig for studiene som presenteres i denne rapporten. En belysningsløsning som fungerer godt for bilførere, gir ikke nødvendigvis like gode forhold for fotgjengere, og en løsning som fungerer godt visuelt, kan likevel føre til unødvendig lysspredning eller uønskede økologiske effekter. Bærekraftig veilys krever derfor en bredere vurderingsramme, der menneskelig synlighet, visuell komfort, lysfordeling og miljøkonsekvenser sees i sammenheng.

3 Delstudier

Det ble gjennomført fire delstudier i to forsøksområder i tillegg til insektstudien som er beskrevet i Del I. Delstudiene hadde som mål å undersøke hvordan alternative belysningsløsninger påvirket fotgjengere, bilførere, veibanen og omkringliggende terreng under reelle feltforhold.

De tre første delstudiene ble gjennomført i forsøksområde I (Figur 44) og tok for seg hvordan en alternativ, antakelig mer miljøtilpasset belysningsløsning påvirket henholdsvis fotgjengere, veibanen og omkringliggende terreng, sammenlignet med en konvensjonell veilysløsning. Den fjerde delstudien ble gjennomført i forsøksområde II og omhandlet hvordan forskjeller i korrelert fargetemperatur (CCT) og spektral effektfordeling (SPD) i PC-amberfargede og hvite LED-armaturer påvirket bilføreres vurdering av små kritiske objekters synlighet og fotgjengeres vurdering av ansiktets vennlighet, gangarealets synlighet og fargenes synlighet.

De følgende delkapitlene presenterer formål, metode, resultater og diskusjon for hver delstudie.

3.1 Delstudie 1: Effekter av naturtiltak i veilyset (svakere, varmere og bedre avskjermet lys) på ansiktssynlighet

3.1.1 Innledning

Veilys langs gang- og sykkelveier skal støtte orientering og oppfattelse av andre mennesker. Samtidig kan tiltak som lavere lysfluks, varmere lys og mer kontrollert lysfordeling redusere energibruk og uønsket lys i omgivelsene. Det er derfor relevant å undersøke hvordan slike samlede endringer påvirker lysfeltet og fotgjengeres vurdering av ansikter og omgivelser.

Veilys som også skal ivareta fotgjengere, bør støtte mer enn synligheten av gangflaten. Sammenlignet med bilførere og syklistene beveger fotgjengere seg saktere og retter oppmerksomheten i flere retninger. De mottar derfor i stor grad visuell informasjon om blant annet gangveien, mulige hindringer, andre mennesker, fasader og de nærmeste omgivelsene. Belysningen bør dermed støtte orientering, trafiksikkerhet, opplevd trygghet og visuell komfort. Disse kvalitetene kan ikke beskrives ved hjelp av én enkelt lysparameter (van Bommel 2014).

Lysnivå, opplevd trygghet og opplevd lyshet

Sammenhengen mellom illuminans og fotgjengeres opplevde trygghet er undersøkt i en rekke studier. Relevante lysnivåer oppgis ofte å ligge i området 2–10 lx, men resultatene gir ikke grunnlag for å fastsette ett universelt optimalt nivå uavhengig av sted og belysningsssituasjon (Fotios mfl. 2017; Fotios mfl. 2019; Fotios mfl. 2015; Peña-García mfl. 2015). Studiene tyder på at økt lysnivå kan styrke opplevelsen av trygghet, særlig ved svært lave utgangsnivåer, men at mer lys ikke nødvendigvis gir en tilsvarende forbedring når et tilstrekkelig nivå er nådd.

Også lysets spektrale sammensetning kan påvirke hvordan et område vurderes. Ved samme fotopiske lysnivå ble en gate belyst med hvitt metallhalogenlys (MH) oppfattet som både lysere og tryggere enn den samme gaten belyst med amberfarget høytrykksnatriumlys (HPS) (Rea mfl. 2009). Tilsvarende forskjeller mellom hvitt lys og HPS-lys er rapportert i andre undersøkelser (Knight 2010; Peña-García mfl. 2015).

Himschoot mfl. (2024) undersøkte selvrapportert trygghet ved 3000 K og monokromatisk amberlys (560 nm) ved fire illuminansnivåer i et parklignende universitetsarboretum. Deltakerne rapporterte høyere trygghet ved 3000 K enn ved amberlys og høyere trygghet ved 5,0 lx enn ved 0,5 lx. Studien undersøkte imidlertid ikke deltakernes faktiske evne til å løse visuelle oppgaver. Resultatene kan derfor ikke brukes som dokumentasjon på forskjeller i visuell ytelse.

Andre studier viser at spektrale preferanser avhenger av sammenhengen. I en amerikansk nasjonalpark ble en blanding av rødt og hvitt lys vurdert mer positivt enn hvitt lys med hensyn til blant annet visuell komfort og trygghet (Fristrup mfl., 2024). Forskjellen mellom dette resultatet og resultatene til Himschoot mfl. (2024) kan blant annet skyldes ulike spektre, lysnivåer, omgivelser og brukergrupper. Funnene illustrerer dermed at opplevd trygghet ikke kan forklares utelukkende ved hjelp av CCT eller skillet mellom «hvitt» og «varmt» lys.

CCT-preferanser og betydningen av kontekst

Studier av korrelert fargetemperatur (CCT) tyder på at varmt til nøytralt hvitt lys ofte vurderes positivt i gate- og nærmiljøer. I en feltstudie i Beograd ble veily lys med 3000 K vurdert mer positivt enn en sammenlignbar løsning med 4000 K med hensyn til blant annet lysfarge, gjengivelse av ansikter og samlet inntrykk. Deltakerne var imidlertid universitetsstudenter, og forfatterne understreket behovet for undersøkelser med mer representative brukergrupper og flere lokaliteter (Davidovic mfl. 2019).

Guenat mfl. (2025) sammenlignet veily lys med 2700 K, 4000 K og 6500 K i en sveitsisk feltstudie. Deltakerne ga det varmere lyset et mer positivt subjektivt inntrykk, men CCT hadde ingen påvist effekt på opplevd trygghet, affekt eller selvrapportert stress. Den fysiologiske stressresponsen fulgte heller ikke den subjektive preferansen. Resultatene viser derfor at preferanse, opplevd trygghet og fysiologisk respons må behandles som forskjellige utfall.

Nordiske studier peker heller ikke i én entydig retning. Finske feltstudier har vist positive vurderinger av lys omkring 3000 K og av lysfarger som ble oppfattet som varme og behagelige (Nikunen mfl. 2014; Paakkinen mfl. 2014). I en svensk fullskala laboratoriestudie ga én LED-løsning bedre visuell oppgaveytelse, men ble samtidig vurdert som mindre behagelig (Rahm & Johansson, 2018). Fordi løsningene også skilte seg i CRI, S/P-forhold og fotometriske egenskaper, kan resultatet ikke tilskrives CCT alene.

Dokumentasjonen er dermed utilstrekkelig til å fastslå en særskilt nordisk CCT-preferanse. Preferanser må forstås i sammenheng med blant annet illuminans, lysfordeling, spektral sammensetning, fargegjengivelse, synsoppgave, stedets karakter og tidligere erfaringer (Bodrogi mfl. 2016; Calvillo Cortés & Falcón Morales 2016; Hao mfl. 2022; Petrulis mfl. 2018).

Fargegjengivelse og visuell ytelse

Fargegjengivelse kan være relevant for fotgjengeroppgaver som å identifisere objekter, skille mellom farger og oppfatte informasjon fra andre mennesker. Det er imidlertid viktig å skille mellom fargeavhengige oppgaver og visuelle oppgaver som hovedsakelig bygger på lyshetskontrast.

Fotios og Cheal (2007) fant at lyskildens spektrale sammensetning i liten grad påvirket ytelsen i akromatiske oppgaver (måling av synsskarphet med akromatiske mål og deteksjon av akromatisk kontrast), med unntak av en høyere kontrastterskel under lavtryksnatriumlys. Fargeidentifikasjonen var derimot bedre under metallhalogenlys enn under natriumlys.

Samtidig ble ytelsen redusert ved lavere illuminans i alle oppgavene. Bedre spektrale egenskaper kunne dermed ikke fullt ut kompensere for en reduksjon i lysnivå.

Fargegjengivelse kan dermed være relevant for fargeavhengige oppgaver, men høy CRI gir ikke automatisk bedre trygghet eller trafiksikkerhet. Betydningen avhenger av den konkrete synsoppgaven og må vurderes sammen med illuminans, kontrast og lysfordeling.

Preferanse, opplevd lyshet og visuell ytelse kan derfor følge forskjellige mønstre, noe som er særlig relevant når armaturer med flere samtidige forskjeller sammenlignes.

Oppfattelse av ansikter og lysfordeling

Ansiktsgjenkjenning er også mye studert og brukes ofte som indikator på fotgjengeres opplevde trygghet og sikkerhet. Van Bommel (2014) påpeker at fotgjengere både trenger oversikt over området og tilstrekkelig visuell informasjon om andre mennesker til å kunne vurdere om de kan utgjøre en trussel. Det krever at både kroppen, ansiktet og ansiktsuttrykk kan oppfattes. En halvsylindrisk illuminans på litt under 1 lx i ansiktshøyde kan være tilstrekkelig for å støtte identifikasjon av ansikter på omtrent 4 meters avstand, som tilsvarer starten på den såkalte offentlige sonen mellom fremmede (van Bommel, 2014). Studier som har sammenlignet amberfarget HPS-lys med hvite lyskilder (MH og LED), har gitt blandede resultater. Tre studier fant ingen signifikant forskjell i ansiktsgjenkjenning mellom MH og HPS (Fotios mfl. 2017; Knight 2010; Rea mfl. 2009), mens to rapporterte at lyskilder med høy fargegjengivelse forbedret ansiktsgjenkjenningen ved samme fotopiske lysnivå (Lin & Fotios 2015; Yao mfl. 2009). Fotgjengeres visuelle ytelse om natten påvirkes dermed av flere samvirkende faktorer, blant annet lysnivå, spektral sammensetning, fargegjengivelse, blending og avstanden mellom observatør og mål.

Veilys i områder der fotgjengere ferdes, bør derfor ikke bare vurderes ut fra hvor mye lys som treffer bakken, men også ut fra hvordan den støtter sosial synlighet, romlig orientering, oppfattelse av ansikter, komfort og trygghet. Emosjonelle ansiktsuttrykk og stop-distance-prosedyren er relevante i eksperimentelle studier av fotgjengeres persepsjon. Litteraturen tyder samlet på at illuminans er viktig, men ikke tilstrekkelig som eneste mål på belyningskvalitet.

Synsapparatet har stor evne til å tilpasse seg lave lysnivåer gjennom mørkeadaptasjon. Det innebærer at øynene gradvis blir mer følsomme når det blir mørkt, og at synet i større grad styres av stavene, som støtter syn i svakt lys, enn av tappene, som er viktigst i dagslys og for fargesyn. Prosessen gjør det mulig å oppfatte omgivelsene ved relativt lav belysning, forutsatt stabile lysforhold uten sterke kontraster eller blending. Dette har betydning for utforming av belysning langs gangarealer. Fremfor å fokusere ensidig på høye lysnivåer bør det også legges vekt på en luminansfordeling som støtter synsfunksjonen og begrenser blending. I denne studien ble lysfordelingen beregnet og sammenstilt med deltakernes vurderinger.

Kontekst og formål

Formålet var å undersøke hvordan en antatt mer bærekraftig armatur påvirket lysforholdene, og hvordan forholdene ble vurdert av inviterte forsøksdeltakere, sammenlignet med en konvensjonell armatur. Gjennom sammenligningen søkte studien å belyse hvordan bærekraftstiltak kan gjennomføres uten å redusere opplevd trygghet og visuell kvalitet. I Norge varierer lysforholdene mye gjennom året, og om vinteren reflekterer snødekket en stor del av lyset. Forsøket ble derfor gjentatt under både snødekte og snøfrie forhold for å undersøke hvordan årstidsvariasjonen påvirket lysforholdene og opplevelsen av belysningen.

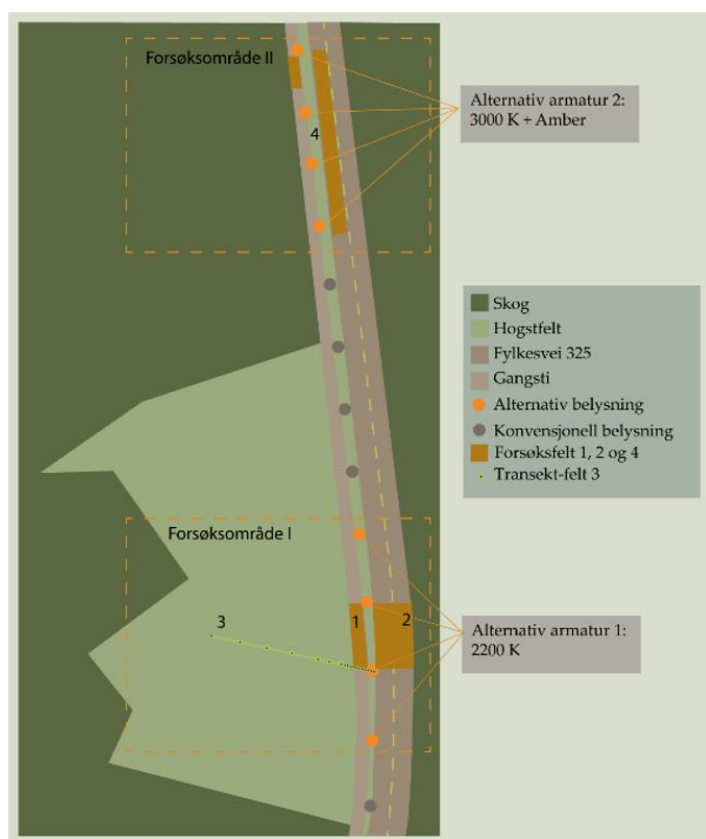
Oppfattelse av ansikter er viktig i mellommenneskelig kommunikasjon, og flere studier har undersøkt hvordan belysning påvirker opplevd trygghet i offentlige rom, særlig gjennom gjenkjenning av ansiktsuttrykk (Fotios & Johansson 2019). Lysfeltet rundt ansiktet påvirker dets visuelle fremtoning. Siden studien omhandler lysfordeling, ble tredimensjonale, hodeformede objekter (heretter kalt lysprober) brukt som visuelle stimuli i den subjektive delen. Resultatene er også publisert i en fagfellelvurdert artikkel i tidsskriftet *Buildings*, i spesialutgaven *Lighting in Buildings – 2nd Edition* (Wåseth mfl. 2025b).

3.1.2 Metode

Forsøksområde

Feltstudien ble gjennomført i forsøksområde 1 på gang- og sykkelvei ved Fylkesvei 325 (Figur 44 og Figur 45).

Forsøksområde I består av et 250 meter langt forsøksfelt langs Fylkesvei 325, hvor tre av studiene ble gjennomført. Feltet omfatter kjørebane, en langsgående gang- og sykkel vei på 3,4 m, og en tre meter bred rabatt mellom kjørevei og gang- og sykkel vei, samt tilgrensende terreng langs veien. Terrenget på den ene siden av veien er et hogstområde med generelt lav vegetasjon, med unntak av enkelte høye trær. Lysmastene er plassert mellom kjørebane og gangvei og er utformet for å belyse både vei og gang- og sykkelareal. Ulike deler av feltet ble benyttet i hver delstudie. I dette feltet ble fire nye lysarmaturer montert på eksisterende master, samtidig som de opprinnelige armaturene ble beholdt. De nye armaturene ble montert under de eksisterende, og det ble installert en bryter i hver mast for å gjøre det enkelt å skifte mellom de to belysningsløsningene.



Figur 44: Oversikt over forsøksfelt for studier av lysintervensjoner i Del 2 av rapporten. Forsøksfeltet overlapper delvis med område B i Del 1 av arbeidet relatert til insektstudier.



Figur 45: Foto av forsøksområde I med lysmaster plassert mellom gang- og sykkelvei (på Figur 1 angitt som gangsti) og veibane. Lysmålinger og forsøk er utført på gang- sykkelvei, vei og i et transekt som strekker seg fra lysmastene og ut i terrenget til venstre på bildet.

Belysning

Lysmastene i forsøket er ni meter høye trestolper, plassert to meter fra veikanten (basert på opplysninger fra Nasjonal veidatabank, NVDB). Avstanden mellom mastene er 30 meter. Armaturene er montert på utliggerarm og er derfor plassert høyere enn selve mastetoppen. Ifølge NVDB er monteringshøyden 10 meter over bakken, men feltmålinger tyder på at den faktiske høyden er noe lavere, anslagsvis rundt ni meter.

De eksisterende armaturene er av typen Schréder Ampera og har LED-moduler med en nominell lysfluks på cirka 14 000 lm og en effekt på 132 W. Oppgitt korrelert fargetemperatur (CCT) er 4000 K, mens målinger med spektrometer viste 3700 K.

Som alternativ løsning i forsøksområde I ble armaturer av typen Thorn Isaro Pro montert på fire av mastene (se Figur 46). Armaturene har oppgitt CCT på 2200 K (målt til 2340 K), en effekt på 38 W og en lysfluks på 4820 lm. De ble montert under de eksisterende armaturene, åtte meter over bakken, på en 0,5 meter lang utliggerarm.



Figur 46: Thorn Isaro pro, montert som alternativ armatur i forsøksområde I.

Forsøksdesign og gjennomføring

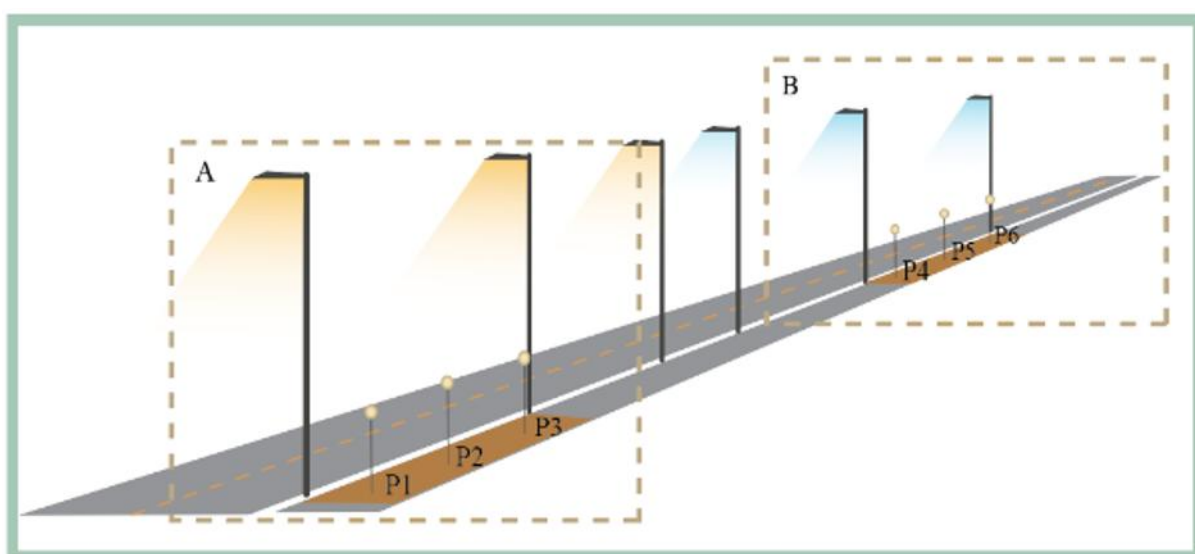
Målet var å undersøke forskjeller i deltakernes vurderinger av ansikter under to belysningskonfigurasjoner (konvensjonell og alternativ), under to miljøforhold (med og uten snø) og ved ulike lysprobeposisjoner i forhold til armaturene. To av armaturtypene ble benyttet: en konvensjonell armatur beregnet for denne typen kjørevei og en armatur som anses som mer bærekraftig på grunn av lavere lysfluks, varmere fargetemperatur og en lysfordeling som begrenser strølys, heretter kalt Alternativ 1. Armaturtypene er oppsummert i Tabell 5Tabell 1.

Tabell 5: Teknisk spesifikasjon for armaturkonfigurasjonene som ble brukt i forsøksområde I og de tre første delstudier.

Armaturtype	Konvensjonell	Alternativ 1	Alternativ 2
CCT (K)	4000	2200	2200
CRI	>70	>70	>70
Lysstrøm (lm)	14000	4820	4820
Lysfordeling	Medium road	Street comfort	Street comfort
Effekt (W)	132	38	38
Stolpeavstand (m)	30	30	30
Monteringshøyde (m)	9	8	8
Utliggerarm (cm)	100	50	50
Avstand fra vei (cm)	50	50	50
Avskjerming	Nei	Nei	Ja

Datainnsamlingen fant sted under astronomisk natt, da solen sto mer enn 18 grader under horisonten. Gangveien brukes hyppig av fotgjengere, joggere og syklister, og det var ingen synlige lyskilder i området utover veilyset. Studien ble gjennomført i januar 2024, med snø på både gangveien og omkringliggende terreng og en temperatur på -16°C . I oktober 2024 ble forsøket gjentatt under snøfrie forhold (tørr asfalt) ved $+4^{\circ}\text{C}$.

Målingene ble utført på seks posisjoner, P1–P6, som vist i Figur 47. Tre posisjoner var plassert mellom de to sentrale lysmastene i hver armaturgruppe, henholdsvis 5, 15 og 25 meter fra den første masten. Målehøyden var 1,5 meter over bakken, som tilsvarer omtrentlig ansiktshøyde for en stående person. På hver posisjon ble det plassert en ansiktsformet lysprobe, og det ble gjennomført kubiske lysmålinger i samme punkt. Observatørene vurderte ansiktene og lysforholdene fra en posisjon to meter foran hver lysprobe. Luminansbilder ble tatt fra de samme posisjonene for å registrere deltakerne så.



Figur 47: Tre hodeformede lysprober ble plassert mellom to lysmaster for den alternative- (P1-P3) og den konvensjonelle (P4-P6) løsningen.

Deltakere

Deltakerne ble rekruttert via sosiale medier og e-postlister ved en nærliggende universitetscampus. Totalt deltok 29 personer under snøforhold og 37 personer under snøfrie forhold. Deltakerne var personer i ulike aldersgrupper, og alle oppga at de hadde normalt syn eller syn korrigert til normalt nivå.

Alle deltakerne fikk informasjon om studien og ga skriftlig samtykke før de deltok. Deltakere under 18 år hadde samtykke fra foresatte. Som takk for deltakelsen mottok alle et gavekort på 150 kroner.

Prosedyre

Ved oppmøte fikk deltakerne en kort forklaring på hvordan forsøket skulle gjennomføres. De gikk deretter gjennom to belyste strekninger og vurderte seks ansiktsformede lysprober plassert i områder med to ulike typer belysning: en alternativ armaturtype og en konvensjonell armaturtype (Figur 48).

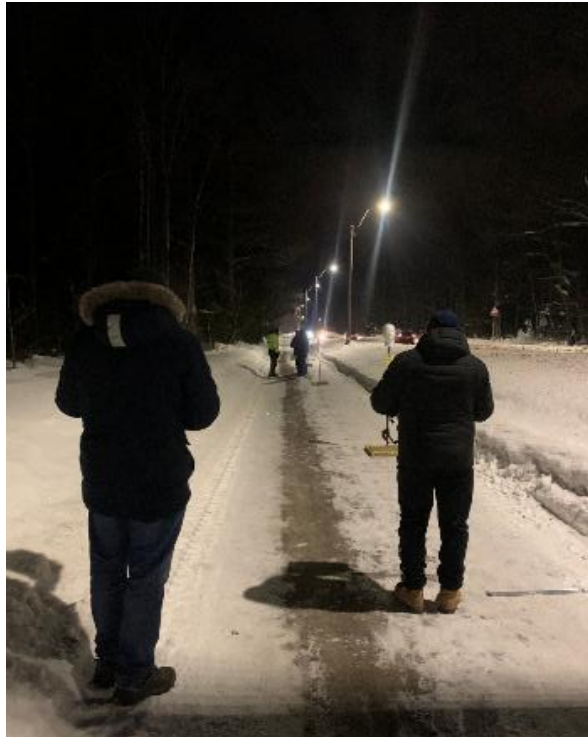
Ved hver lysprobe stoppet deltakerne ved en fast markering og svarte på fire spørsmål om hvordan de opplevde ansiktet og området rundt. Spørsmålene handlet om hvor godt opplyst ansiktet og området var, om ansiktet virket vennlig, og om de følte seg komfortable i det belyste området. Svarene ble gitt på en 7-punktskala. Begrepene «godt opplyst», «vennlig» og «komfortabel» ble valgt for å beskrive henholdsvis visuell kvalitet, emosjonell vurdering og opplevd trygghet/komfort. Etter at forsøket var avsluttet, returnerte deltakerne til startpunktet for en kort oppsummering og mulighet til å stille spørsmål om studien.

Begrepene «godt opplyst», «vennlig» og «komfortabel» ble valgt for å beskrive henholdsvis visuell kvalitet, emosjonell vurdering og opplevd trygghet/komfort.

Lysmålinger

I tillegg til de subjektive dataene ble det samlet inn objektive data. Kubiske lysmålinger ble gjennomført med et spektroradiometer orientert i seks retninger på en tenkt målekube ved hver posisjon (P1–P6), 1,5 meter over bakken. Målehøyden er basert på eksisterende standarder for beregning av vertikal og halvsylindrisk belysning på gangveier.

Illuminans på ulike flater samt korrelert fargetemperatur (CCT) og spektral effektfordeling (SPD) ble målt i begge forsøksområdene med spektroradiometeret Spectis 1.0 Touch + Flicker (GL Optics), se Figur 49. Ved lave lysnivåer ble en Salli-diffusor brukt for å øke målesystemets følsomhet og sikre et tilstrekkelig datagrunnlag (se Figur 49). Instrumentets nedre målegrense for spektral registrering er 6 lx. I nærheten av armaturen ble full spektral informasjon registrert, mens det ved lavere lysnivåer bare ble målt illuminans (lx).



Figur 48: Ansiktsformede lysprober plassert på tre posisjoner mellom to lysstolper, ble evaluert av fotgjengere med spørreskjema, her under snødekte omgivelser.



Figur 49: Utstyr til lysmåling. Til venstre: Luminanskamera LMK 6, Technoteam. Til høyre: Spektorradiometer: GL Optics Spectis 1.0

Luminansbilder ble tatt for å supplere de kubiske målingene, særlig med hensyn til ansiktskontrast (Figur 50). Bildene ble tatt med et kalibrert luminanskamera (LMK 6) med $V(\lambda)$ -filter og 8 mm linse. Kameraet ble plassert i samme høyde som lysprobene. Luminansdata fra en tredimensjonal ansiktsmodell gir et mer realistisk grunnlag for å analysere lysforholdene.

Luminans (cd/m^2) er et fotometrisk mål på lyset som sendes ut eller reflekteres fra en overflate i en bestemt retning, vektet etter det menneskelige øyets lysfølsomhet. Som forklart under «Sentrale begreper og vurderingsparametere for bærekraftig veilys», er luminansmålinger på veibanen en standard målemetode etter NS-EN 13201-3:2015 (Standard Norge 2015). I delstudiene 1–4 ble luminansbaserte målinger brukt til ulike formål: (i) kontrastanalyse på gang- og sykkelvei, (ii) registrering av luminanskontrast på avstand i terrenget og av luminansfordelingen fra armaturene og over veibanen og (iii) sammenligning av luminans på veibanen.

Belysningsstyrke (illuminans) var blant de viktigste målestørrelsene i analysene. Det ble målt vertikal og horisontal illuminans og gjennomført illuminansbaserte kubiske målinger.

Kubiske lysmålinger kan brukes til å studere lysfeltet (eng. light field), det vil si hvordan lyset er fordelt i et område med hensyn til både sted og retning. Begrepet omfatter direkte og reflektert lys og gir en mer helhetlig beskrivelse av lysmiljøet enn enkeltmål som illuminans eller luminans. Lysfeltet kan brukes til å analysere lysmengde, lysretning, diffushet og mulige sammenhenger med subjektive opplevelser av omgivelsene.

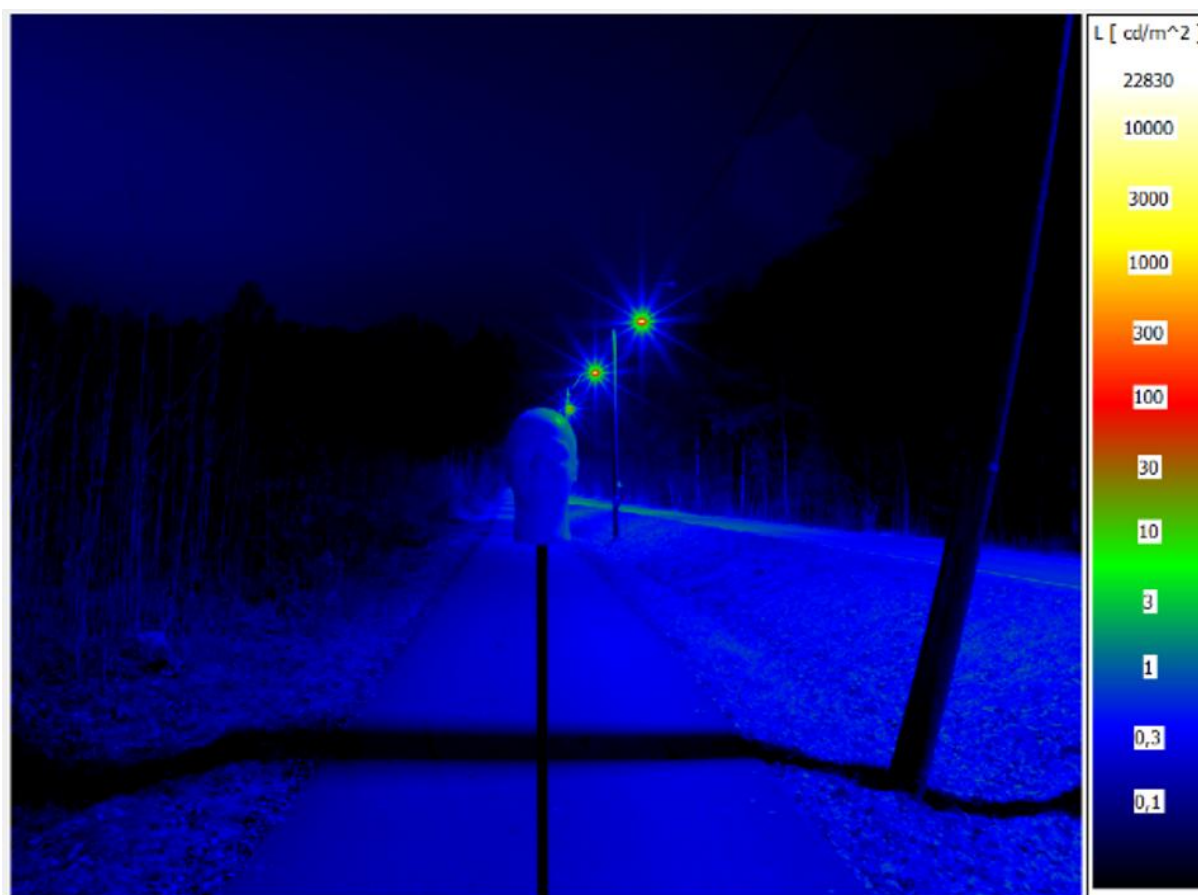
Ved kubiske målinger registreres belysningsstyrken i hver retning av en kube. Dataene brukes til å beregne lysdensitet, lysets gjennomsnittlige retning (lysvektor) og diffushet (se Wåseth mfl., 2025a). Metoden beskriver dermed lysets romlige egenskaper og supplerer målinger av horisontal og vertikal illuminans og luminans. Den ble brukt på og ved gang- og sykkelveiene og i første del av transektmålingene i Delstudie 3.

I Delstudie 1 ble instrumentet nullstilt og kalibrert for å korrigere for intern støy. Målingene ble utført i hodehøyde, 150 cm over bakken, i tråd med europeiske standarder for veilys når

belysning av ansiktet, eller lysmodellering, er viktig (CEN, 2016). Kubiske målinger ble gjennomført på og langs gang- og sykkelveien og i et transekt i terrenget.

Korrelert fargetemperatur (CCT), spektral effektfordeling (SPD) og illuminans ble målt for å dokumentere armaturenes faktiske egenskaper. CCT-målingene ble blant annet brukt til å kontrollere at den konvensjonelle belysningen i forsøksområde I lå nær 4000 K, og at den alternative løsningen lå nær 2200 K, samt til å beskrive forskjellene mellom hvit og amberfarget belysning i Delstudie 4. Dette var relevant fordi flere av delstudiene undersøkte hvordan varmere og mer miljøtilpassede lyskilder påvirket mennesker og omgivelser. Målingene ga dermed et grunnlag for å beskrive og sammenligne løsningene og vurdere mulige sammenhenger mellom spektral sammensetning, visuelle forhold og miljøpåvirkning.

Der spekteret ikke kunne måles direkte på grunn av lave lysnivåer, ble det lagt til grunn at spektralfordelingen hadde omtrent samme form som i nærliggende målte områder. De målte illuminansverdiene ble deretter brukt som grunnlag for å estimere SPD i disse områdene.



Figur 50: Eksempel på luminansbilde som er tatt for å vurdere luminans i ansikt og omgivelser.

3.1.3 Analyse

Resultatene fra det subjektive, spørreskjemabaserte forsøket ble sammenstilt med objektive data fra kubiske målinger og luminansmålinger av lysprobene. Formålet var å identifisere sammenhenger som kan forklare hvilke lyskvaliteter som støtter oppfattelsen av ansikter og omgivelser ved ferdsel langs gang- og sykkelveier. Analysen bygget dermed på kubiske lysmålinger, luminansmålinger og subjektive vurderinger av lysprobene.

De kubiske illuminansdataene ble først beregnet etter framgangsmåten beskrevet under «Lysmålinger». Følgende variabler inngikk: horisontal og vertikal illuminans, lysdensitet (light density), gjennomsnittlig illuminans, diffushet, lysvektorens størrelse og retning samt frontal illuminans.

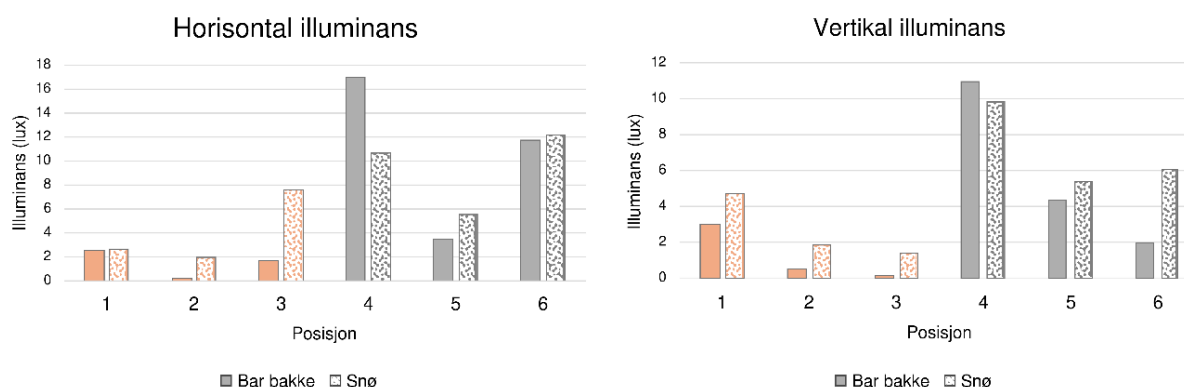
Luminansdata for ansiktet ble inkludert i analysen, og kontrast ble brukt som indikator på hvordan ansiktsdetaljene fremtrådte. Kontrasten uttrykker hvor tydelige variasjonene i luminans er, og brukes til å beskrive synligheten av detaljer i et visuelt felt. Ved kontrastberegningen ble Michelson-kontrast benyttet (Wåseth mfl. 2025). Michelson-kontrast varierer mellom 0 og 1, der 0 betyr ingen kontrast (helt jevn luminans), mens verdier nær 1 indikerer høy kontrast mellom lyse og mørke områder.

De objektive parameterne gjorde det mulig å undersøke hvordan belysningen endret seg langs gang- og sykkelvei mellom to lysmaster, mellom armaturtypene og mellom snødekt og bar bakke. Ved å sammenstille parameterne fra de kubiske målingene og luminansbildene med de subjektive vurderingene kunne vi også identifisere faktorer med betydning for opplevelsen av andre fotgjengere og omgivelsene.

3.1.4 Resultater

Objektive lysmålinger

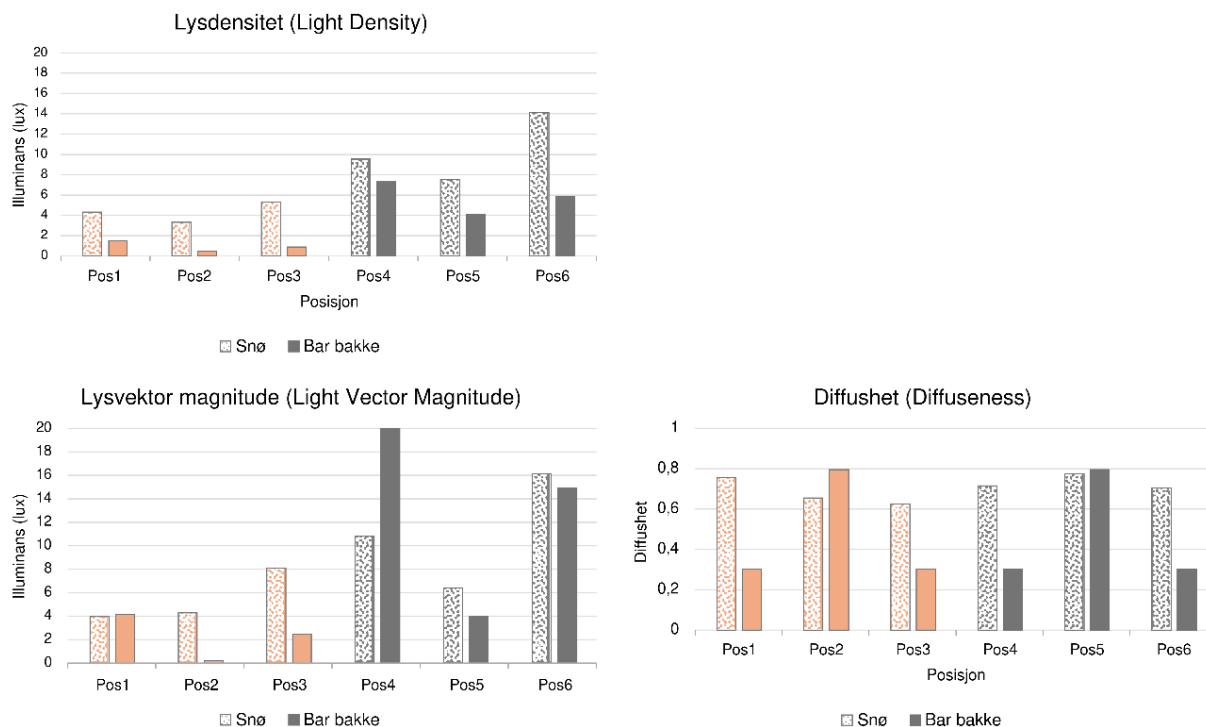
Resultatene viser betydelig variasjon i horisontal og vertikal illuminans mellom armaturtypene, måleposisjonene og snødekte og snøfrie forhold. Figur 51 viser variasjonen ved posisjonene P1–P6, der P1–P3 representerer den alternative armaturen og P4–P6 den konvensjonelle. Som forventet var illuminansen lavere for den alternative armaturen, som hadde betydelig lavere lysfluks. Horisontal illuminans var lavere ved P2 og P5 enn ved henholdsvis P1, P3, P4 og P6. Vertikal illuminans avtok gradvis med økende avstand fra den første masten. For den konvensjonelle armaturen (grå farge) førte snøens høye reflektans til at belysningsstyrken økte igjen ved den siste posisjonen.



Figur 51: Horisontal og vertikal illuminans for hver posisjon, to armaturtyper. Beige farge indikerer alternativ belysning, tekstureret fyll representerer snødekke.

Figur 52 viser beregnet lysdensitet, lysvektorens størrelse og diffushet basert på de kubiske lysmålingene. Snø har høy albedo og reflekterer derfor mye av lyset som treffer den. Dette påvirket resultatene tydelig: Lysdensiteten var høyere ved snødekke enn ved bart underlag. Forskjellen var statistisk signifikant ($t(10) = 1,943$, $p = 0,040$).

Snø påvirket også hvor jevnt lyset ble fordelt. Ved snødekke var diffusheten mer stabil og lå mellom 0,6 og 0,8, mens den uten snø varierte fra 0,2 til 0,8. Også denne forskjellen var signifikant ($t(10) = 2,246$, $p = 0,024$).



Figur 52: Resultater fra kubiske lysmålinger som viser hvordan lyskvalitetene lysvektor magnitude, lysdensitet og diffushet varierer mellom de ulike posisjonene. Beige farge indikerer alternativ belysning, tekstureret fyll representerer snødekke. X markerer en frontal lysvektor, det vil si at lyset hovedsakelig treffer lysproben forfra.

Uten snø hadde avstanden til armaturene stor betydning. Midt mellom to armaturer (P2 og P5) var lyset jevnere fordelt (diffushet rundt 0,8), mens det nær armaturene var mer retningsbestemt (diffushet rundt 0,3). Lysvektorens størrelse, som beskriver styrken på den retningsbestemte lyskomponenten, viste det motsatte mønsteret: Den var større nær armaturene og avtok med økende avstand.

Subjektive vurderinger

De subjektive vurderingene av lysprobene, analysert sammen med de objektive dataene, viste at vertikal illuminans i ansiktshøyde hadde betydning for hvor godt belyst ansiktet ble oppfattet. Dette er forventet, fordi vertikal illuminans i større grad enn horisontal illuminans beskriver hvor mye lys som faktisk treffer ansiktet forfra. Resultatet indikerer også at lysets retning er sentral for ansiktsoppfattelsen. Når lyset hovedsakelig kom bakfra, ble ansiktet mørkere og kunne få negativ kontrast mot omgivelsene, det vil si fremstå mørkere enn bakgrunnen. I forsøket ga dette lavere subjektive vurderinger av både hvor godt belyst ansiktet fremstod, og hvor vennlig det virket. Funnene understreker betydningen av å kontrollere lysretningen og kontrastene mot omgivelsene.

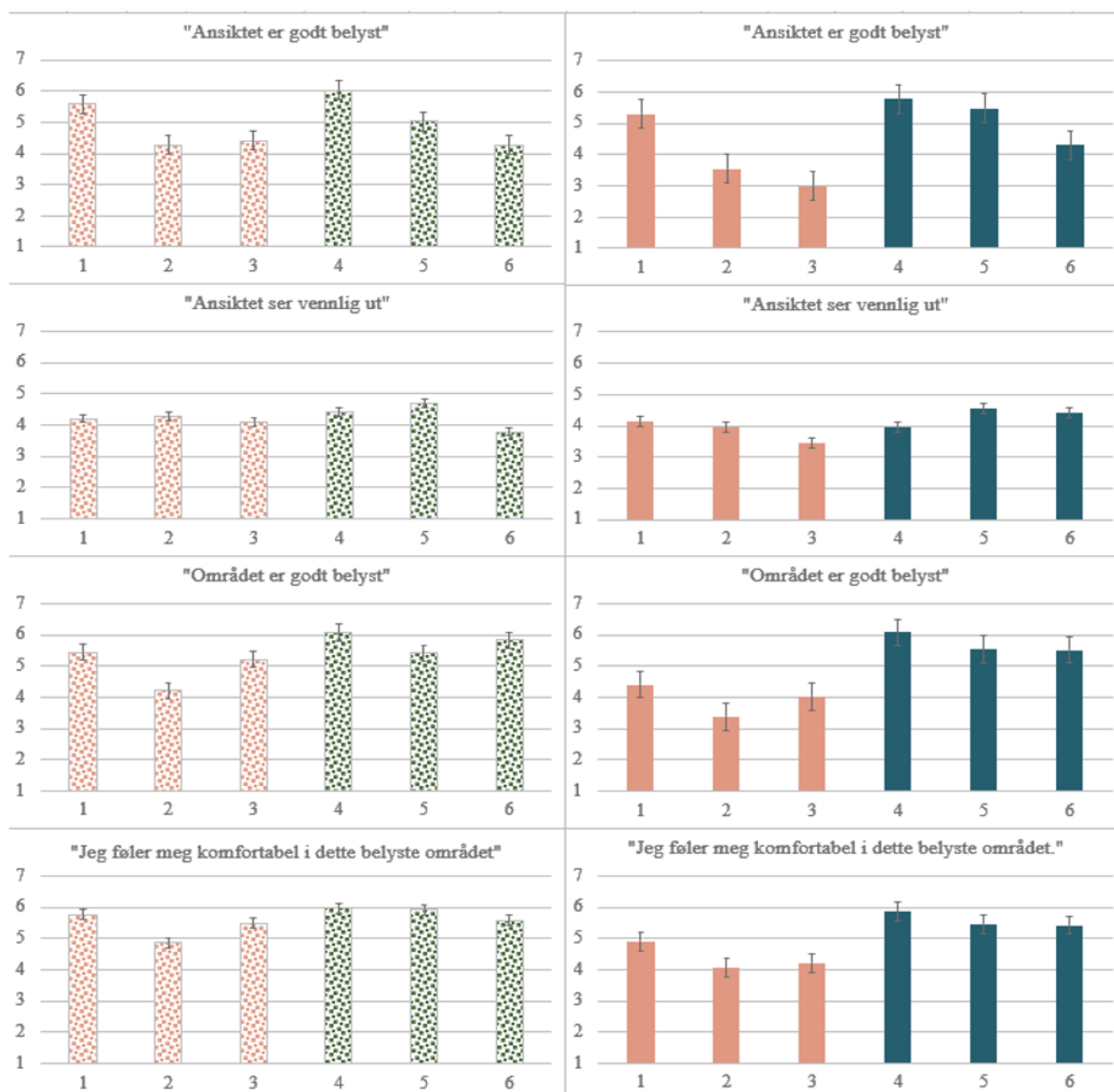
Lysvektorens størrelse angir hvor sterk den retningsbestemte delen av lyset er, altså hvor mye av lyset som kommer tydelig fra én retning i stedet for å være jevnt og diffust fordelt. Den angir derimot ikke hvilken retning lyset kommer fra. En sterk retningsbestemt komponent kan

derfor være gunstig eller ugunstig avhengig av om lyset treffer ansiktet forfra, fra siden eller bakfra. Frontalvektoren ble derfor også inkludert i analysen for å beskrive hvor godt lysretningen støttet synligheten av ansikter og ansiktsuttrykk. Variabelen er markert med X i Figur 52.

Snøfrie forhold var knyttet til lavere komfort og større variasjon mellom posisjoner og armaturtyper enn snødekte forhold (Figur 53). Snøen gjorde lyset mer diffust og jevnt fordelt og ga mer ensartede vurderinger fra posisjon til posisjon. For vurderingen av om ansiktet var godt belyst (Q1), fikk P1 og P4, som lå nærmest armaturene og hadde frontal illuminans, høyest skår ved snødekke. Vurderingene av vennlighet (Q2) varierte lite, med unntak av P6, som fikk lavere skår. P6 hadde samtidig høyest målt horisontal illuminans og de laveste vurderingene av hvor godt belyst og vennlig ansiktet fremstod. Resultatet illustrerer begrensningen ved å bruke horisontal illuminans alene som mål på visuelle forhold.

Armaturtypen påvirket de subjektive ansiktsvurderingene mindre enn forventet ut fra den store forskjellen i illuminansnivå. Til tross for lavere lysnivå økte den alternative armaturen sannsynligheten for at ansiktene ble vurdert som godt belyst (spørsmål 1). Dette kan tyde på at lysfordeling, fargeegenskaper og spektral sammensetning kan ha større betydning enn lysmengden alene. Den konvensjonelle armaturen ble derimot foretrukket ved vurderingen av om området var godt belyst (spørsmål 3), trolig fordi større lysspredning gjorde omgivelsene lysere. For spørsmål 4, om opplevd komfort i det belyste området, var det ingen signifikant forskjell mellom armaturene. Ingen av dem ble dermed vurdert som klart bedre enn den andre på dette spørsmålet.

Samlet viser analysen at armaturtype, diffushet, lysfordeling og lysretning hadde betydning både for det målte lysfeltet og for hvordan lysmiljøet ble opplevd. Egenskapene ble samtidig påvirket av snødekke og avstand til lysmast. Snøen bidro gjennom refleksjon til et mer homogent og diffust lys, mens snøfrie forhold ga større variasjon og sterkere retningsbestemte komponenter. De subjektive vurderingene viste særlig betydningen av vertikal og frontal belysning for oppfattelsen av ansikter. Høy horisontal illuminans alene ga ikke nødvendigvis gode visuelle forhold, og den alternative armaturen kunne, til tross for lavere lysfluks, gi god opplevd ansiktsbelysning. Funnene støtter derfor en helhetlig tilnærming der kubiske målinger og subjektive vurderinger supplerer tradisjonelle lysmål.



Figur 53: Plot over gjennomsnittsverdien for svar for de fire spørsmålene, med verdier for snødekte omgivelser til venstre i teksturert fyll og verdier for bar bakke til høyre. Usikkerhetsstolpene representerer standardavvik.

3.1.5 Diskusjon

Noen av funnene kan peke på temaer som kan diskuteres og brukes i fremtidig planlegging: Subjektive vurderinger samsvarte bare delvis med målte lysnivåer, noe som tyder på at lysretning og kontrastforhold er viktige for oppfatningen av ansikter og omgivelser. Snøforhold endret lysnivå og hvor diffust lyset var, og bør derfor tas hensyn til ved lysplanlegging i nordiske miljøer. Lavere lysfluks ga ikke nødvendigvis dårligere subjektive vurderinger, noe som understreker at andre lysegenskaper enn lysmengde kan være avgjørende. Siden flere armaturegenskaper varierte samtidig, kan studien ikke identifisere hvilken enkeltfaktor som forklarer de observerte forskjellene, men våre studier kan gi retningslinjer for fremtidige studier av enkeltfaktorer.

Vertikal illuminans ser ut til å være mer relevant for ansiktssynlighet enn horisontal illuminans av åpenbare grunner, fordi ansiktets posisjon er vertikal i de fleste situasjoner. Belysningens vertikale komponenter bør derfor vurderes spesielt. Den komponenten er ikke alltid målt når man presenterer f.eks. lysforurensning i et område og bør vurderes sammen med horisontal illuminans i belysningsplanlegging. Resultatene kan ikke tolkes som dokumentasjon på økt trygghet, men viser at lysretning og det tredimensjonale lysfeltet påvirker vurderingen av ansiktssynlighet selv ved like horisontale lysnivåer.

Tidligere forskning viser også at gjennomsnittlig horisontal illuminans alene ikke alltid er den beste indikatoren på fotgjengeres opplevelse. Fotios, Liachenko Monteiro og Uttley (2019) fant at minimumsilluminans predikerte fotgjengeres opplevde trygghet (reassurance) bedre enn gjennomsnittlig illuminans. Samtidig beskriver Fotios og Gibbons (2018) spørsmålet om hvorvidt ansiktsrelaterte oppgaver bør karakteriseres ved vertikal eller horisontal illuminans, som fortsatt uavklart. Resultatene fra denne delstudien bidrar til denne problemstillingen ved å vise at retningen på lyset og vertikal illuminans hadde betydning for vurderingen av den tredimensjonale ansiktsmodellen.

Den konvensjonelle armaturen ble foretrukket ved vurderingen av omgivelsene, noe som er i samsvar med dens høyere belysningsstyrke og større lysspredning. For spørsmål 4, om hvor komfortabelt det føltes å gå i området, var det ingen tydelig forskjell mellom armaturene. Det ble dermed ikke påvist noen klar ulempe for opplevd komfort ved den alternative løsningen i denne undersøkelsen. Fravær av en tydelig forskjell dokumenterer imidlertid ikke at løsningene er likeverdige, og resultatet må tolkes i lys av utvalget, målemetoden og de undersøkte forholdene.

Samlet viser disse resultatene at lavere lysfluks ikke nødvendigvis ga tilsvarende lavere vurderinger av ansiktssynlighet eller komfort. Resultatene viser mer avgrenset at deltakernes vurderinger var knyttet til flere egenskaper ved lysfeltet enn den målte lysmengden alene.

Studien har samtidig enkelte begrensninger. Den statiske, ensfargede ansiktsproben representerer ikke variasjon i hudtone eller ansiktsdetaljer, og dynamiske faktorer som bevegelse og kroppsspråk inngikk ikke. I virkelige situasjoner vil observasjonstiden av andre personer være kortere, og flere visuelle signaler vil inngå i den sosiale vurderingen. Tidligere undersøkelser av fotgjengeres blikkatferd viser dessuten at observasjoner av andre mennesker gjerne er korte og skjer på avstand, noe som bør gjenspeiles i videre studier med mer realistiske ansiktsmodeller eller personer i bevegelse (Fotios, Uttley & Fox 2018).

Delstudien var heller ikke utformet for å dokumentere trafiksikkerhet, ulykkesrisiko eller økologiske effekter. Studien gir først og fremst kunnskap om hvordan endringer i lysfeltet

påvirket de undersøkte fotometriske og persepsjonsbaserte utfallene. Resultatene kan heller ikke uten videre generaliseres til eldre trafikanter, som kan ha redusert kontrastfølsomhet og større følsomhet for blanding.

Delstudien viser at horisontal illuminans alene ikke beskrev vurderingen av ansiktssynlighet. Vertikal og frontal illuminans, lysretning og snøforhold bidro til å forklare variasjonen mellom posisjonene. Disse parameterne bør derfor vurderes når veilys også skal ivareta fotgjengere. Studien dokumenterer ikke trafiksikkerhet eller økologisk effekt, og slike konsekvenser må undersøkes separat.

3.2 Delstudie 2: Fotometrisk sammenligning av konvensjonell og alternativ veilys på kjørebane og gang- og sykkelvei

3.2.1 Innledning

I Delstudie 1 ble den alternative belysningsløsningen analysert med vekt på fotgjengeres opplevelse av belysningen på gang- og sykkelvei. Delstudie 2 retter oppmerksomheten mot de fotometriske forholdene på selve kjørebane og den parallelle gang- og sykkelveien. Forsøksområdet og belysningsløsningene er beskrevet i kapittel 3.1.1 og vist i Figur 44 og Tabell 5. Denne mer avgrensede studien ble gjennomført for å vurdere belysningen opp mot kravene til veilys i veinormal N100, NEK 600:2025 og NS-EN 13201 (Standard Norge 2015). Den alternative løsningen kombinerte lavere lysfluks og CCT med en annen monteringshøyde og lysfordeling enn den konvensjonelle løsningen. Siden flere egenskaper ble endret samtidig, vurderte delstudien den samlede belysningsløsningen og isolerte ikke effekten av enkeltparametere.

Begrepene luminans og illuminans er forklart i kapittel 2. For kjørebane er luminans den sentrale vurderingsparameteren fordi den beskriver lyset fra veidekket i en bestemt observasjonsretning. Målingene ble derfor utført fra posisjoner som representerte bilførerens perspektiv.

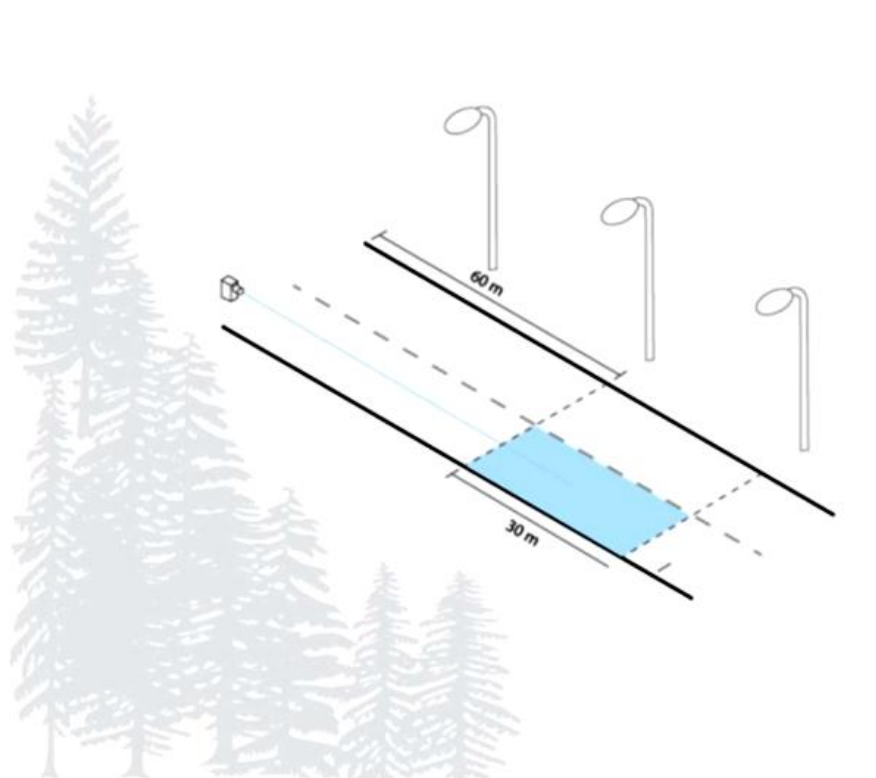
Formålet var å sammenligne den konvensjonelle og den alternative belysningsløsningen med hensyn til gjennomsnittlig luminans, total jevnhet og langsgående jevnhet på kjørebane, samt horisontal illuminans på den parallelle gang- og sykkelveien. Forskningsspørsmålet var hvilke fotometriske forskjeller som kunne påvises mellom løsningene, og i hvilken grad de målte verdiene samsvarte med kravene til belysningsklasse M2 og relevante P-klasser. Studien undersøkte ikke ulykkesrisiko, føreratferd eller økologiske effekter direkte.

3.2.2 Metode

Feltforsøket ble gjennomført på veibanen i forsøksområde I, som er beskrevet i kapittel 3.1.2 og vist i Figur 44. Målingene ble utført på fylkesvei 325 i Tønsberg. Veien er 7,7 meter bred, har fartsgrense 70 km/t og ble opplyst å tilhøre belysningsklasse M2. Den konvensjonelle og den alternative belysningsløsningen er spesifisert i Tabell 5. Ett kjørefelt ble stengt under datainnsamlingen for å sikre tilgang til måleområdet.

Luminansmålingene ble gjennomført under to belysningsforhold: (i) konvensjonell belysning med CCT på 4000 K og monteringshøyde på 9 meter, og (ii) den alternative belysningen med CCT på 2200 K, monteringshøyde på 8 meter og lavere lysfluks. De tekniske forskjellene mellom løsningene fremgår av Tabell 5.

Målefeltet mellom to lysmaster ble merket opp med kritt på asfalten. Mastene hadde en innbyrdes avstand på 30 meter. Målenettet bestod av 30 målepunkter, fordelt på tre punkter i bredden og ti i lengderetningen. Horisontal illuminans ble målt i det samme nettet. Måleoppsettet er vist i Figur 54 der målefeltet i østlig kjørefelt er markert.



Figur 54: Illustrasjonen viser måleoppsettet på veibanen. Det blå området angir målefeltet, hvor det er etablert totalt 30 målepunkter fordelt på 10 punkter i lengderetningen og 3 punkter i bredden. Luminansbilder ble tatt fra en avstand på 60 meter, samt fra 30 og 8 meter fra målefeltet.

Luminansbildene ble tatt med et luminanskamera plassert 8, 30 og 60 meter fra målenettet. Målingen ved 60 meter ble brukt i sammenligningen med standardkravene, mens 30 og 8 meter ble inkludert som kontrollavstander. For hver av de to belysningsløsningene ble det tatt bilder i begge kjøreretninger, totalt 12 bilder. Bildene ble analysert i LMK LabSoft 4, og de utledede verdiene dannet grunnlag for de videre beregningene og sammenligningene.

3.2.3 Resultater

Veistrekningen tilhører belysningsklasse M2. Følgende minimumskrav ble lagt til grunn i sammenligningen i henhold til veinormal N100:

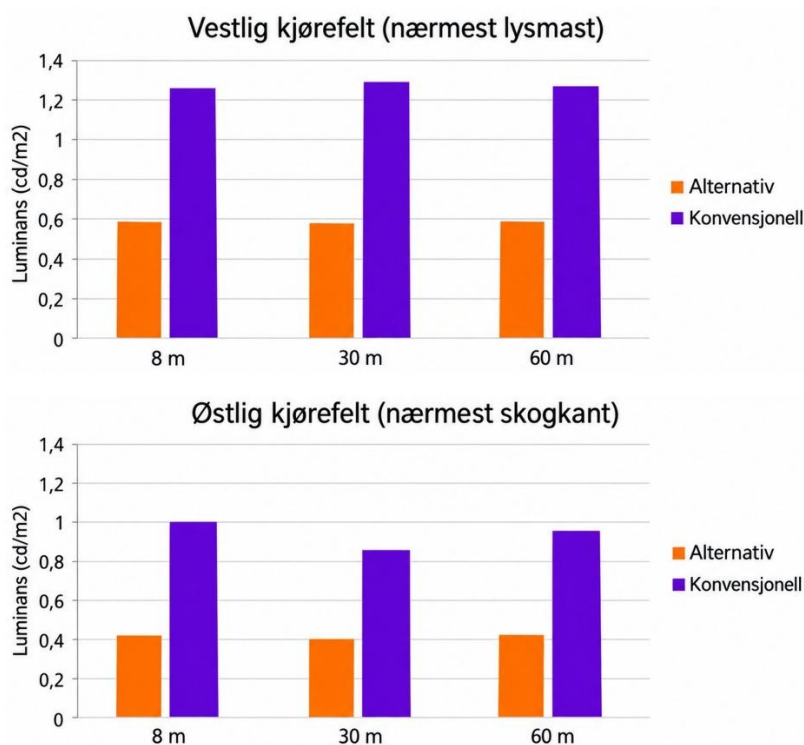
- Gjennomsnittlig luminans (L_m) $\geq 1,5 \text{ cd/m}^2$
- Total jevnhet (U_o) $\geq 0,40$
- Langsgående jevnhet (U_l) $\geq 0,70$
- Blending (TI) $\leq 10 \%$

Resultatene nedenfor ble sammenlignet med disse grenseverdiene. TI ble ikke rapportert i datagrunnlaget og inngår derfor ikke i den videre resultatpresentasjonen. Siden både gjennomsnittlig luminans og langsgående jevnhet lå under M2-kravene, oppfylte ingen av løsningene samtlige krav til M2.

Luminans på veibanen

Ved standardavstanden på 60 meter oppfylte ingen av belysningsløsningene kravet til gjennomsnittlig luminans for M2. I kjørefeltet nærmest lysmastene var den høyeste gjennomsnittlige luminansen $1,27 \text{ cd/m}^2$ med den konvensjonelle løsningen, omtrent 15 % under kravet på $1,5 \text{ cd/m}^2$ (Figur 55). Med den alternative løsningen var gjennomsnittlig luminans $0,58 \text{ cd/m}^2$, omtrent 61 % under M2-kravet.

I kjørefeltet nærmest skogen var gjennomsnittlig luminans $0,97 \text{ cd/m}^2$ med den konvensjonelle løsningen. Dette er omtrent 35 % under M2-kravet og marginalt under kravet til gjennomsnittlig luminans for M3 på $1,0 \text{ cd/m}^2$. Med den alternative løsningen var verdien $0,42 \text{ cd/m}^2$, omtrent 72 % under M2-kravet.

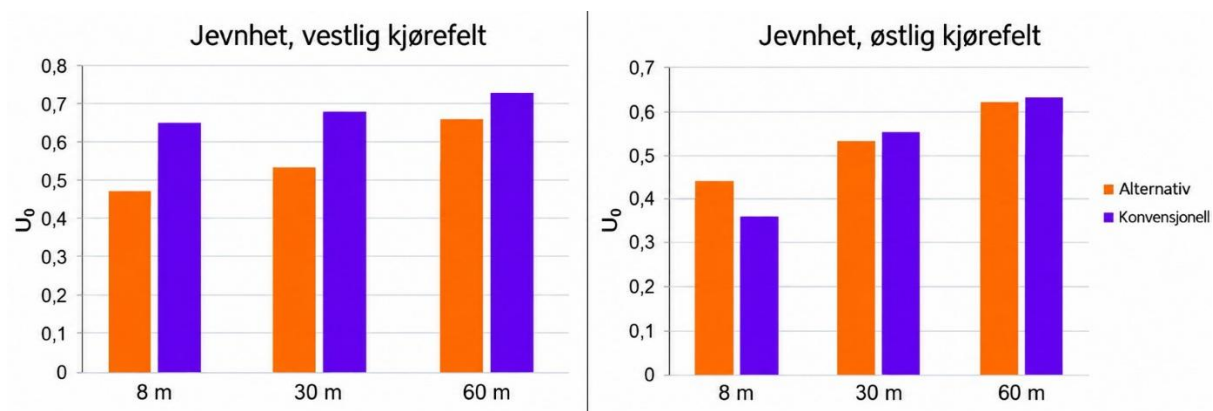


Figur 55: Gjennomsnittlig luminans i vestlig (øverst) og østlig (nederst) kjørefelt, basert på bilder tatt ved tre ulike avstander og for to armaturtyper.

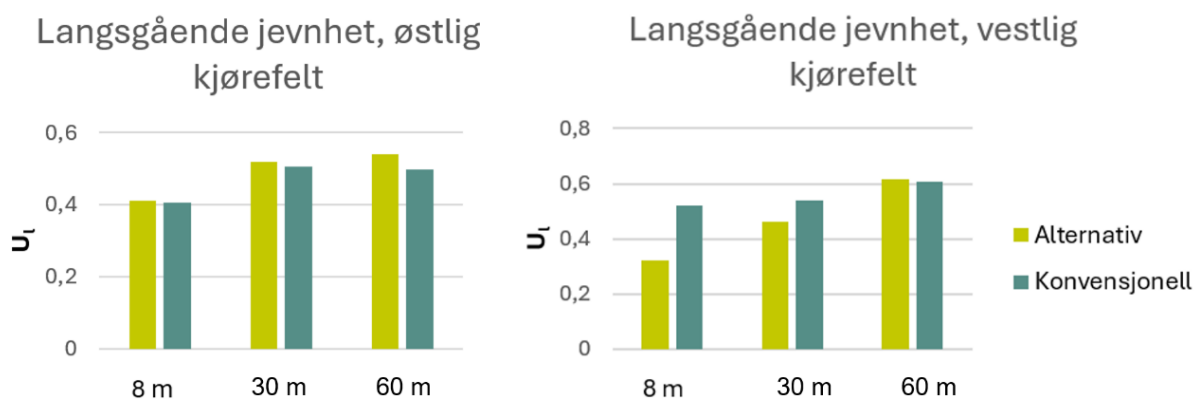
Jevnhet og langsgående jevnhet

De fleste målingene av total jevnhet (U_0) oppfylte minimumskravet på 0,40. Unntaket var den konvensjonelle løsningen ved kontrollavstanden på 8 meter i det østlige kjørefeltet nær skogsområdet. Målingene ved 30 og 60 meter lå over grenseverdien. Resultatene ved de tre observasjonsavstandene er vist i Figur 56.

Ingen av de målte verdiene for langsgående jevnhet (U_1) oppfylte M2-kravet på 0,70 (Figur 57). Den høyeste verdien var 0,62 for den alternative armaturen ved 60 meters avstand, mens den laveste var 0,32 for den alternative armaturen ved 8 meters avstand.



Figur 56: Jevnhet basert på luminansbilder på tre avstander for Alternativ og Konvensjonell armaturtype.



Figur 57: Langsgående jevnhet basert på luminansbilder tatt på tre avstander for de to armaturtypene «Alternativ» og «Konvensjonell».

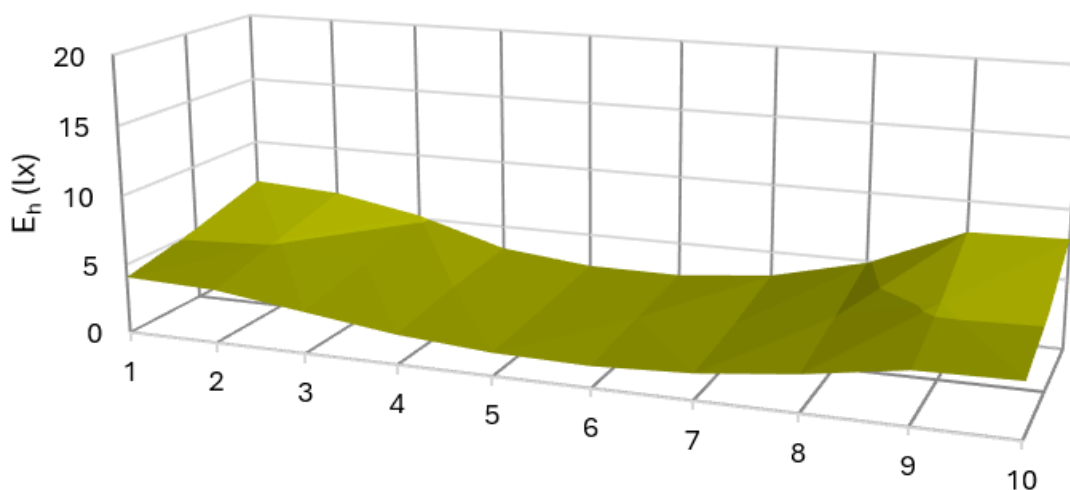
Lysmålinger på gang- og sykkelvei

Horizontal illuminans (E_h) ble målt på bakkenivå på gang- og sykkelveien. Som beskrevet i Kapittel 1 angir P-klassene krav til opprettholdt gjennomsnittlig og minste horisontal illuminans for blant annet fortau og gang- og sykkelveier. Lavere klassenummer innebærer høyere krav.

Med den alternative løsningen varierte E_h fra omtrent 1,5 til 7,9 lx. Gjennomsnittlig illuminans var 3,9 lx og minimumsverdien 1,53 lx. Verdiene oppfyller grenseverdiene for P5 ($\bar{E} \geq 3,0$ lx og $E_{\min} \geq 0,6$ lx), men gjennomsnittsverdien ligger under kravet til P4 på 5,0 lx. Fordelingen i målenettet mellom to lysmaster er vist i Figur 58.

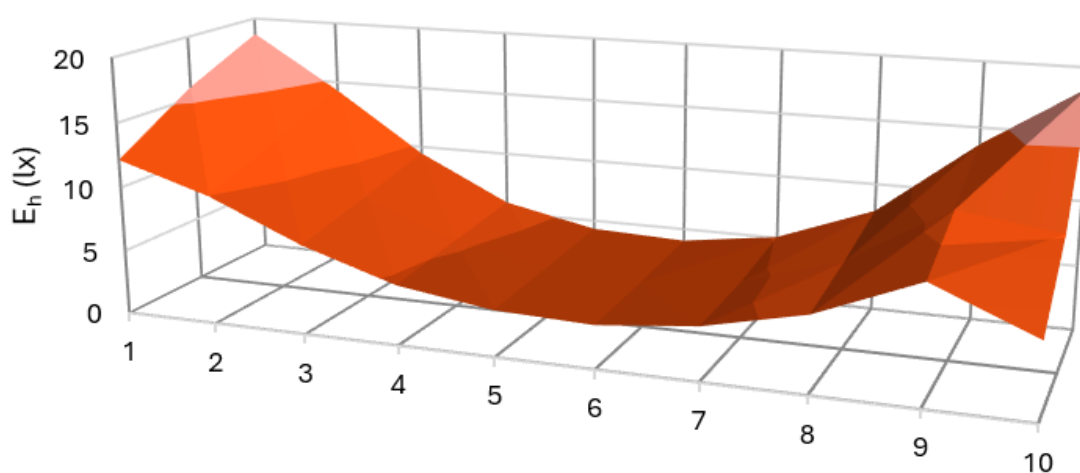
Med den konvensjonelle løsningen varierte E_h fra omtrent 3,3 til 18,7 lx. Gjennomsnittlig illuminans var 8,3 lx og minimumsverdien 3,3 lx. Verdiene oppfyller grenseverdiene for P3 ($\bar{E} \geq 7,5$ lx og $E_{\min} \geq 1,5$ lx), men ikke gjennomsnittskravet til P2 på 10 lx. Fordelingen med den konvensjonelle armaturen er vist i Figur 59.

Horisontal belyningsstyrke på bakkeplan (alternativ belysning)



Figur 58: Horisontal belyningsstyrke på gangstien med alternativ armaturtype, målt i målefeltet mellom to lyktestolper. Målinger er utført på bakkeplan.

Horisontal belyningsstyrke på bakkeplan (konvensjonell belysning)



Figur 59: Horisontal belyningsstyrke på gangstien med konvensjonell armaturtype, målt i målefeltet mellom to lyktestolper. Målinger er utført på bakkeplan.

3.2.4 Diskusjon

Ved standardavstanden på 60 meter oppfylte ingen av løsningene M2-kravene til både gjennomsnittlig luminans og langsgående jevnhet (Tabell 6). Den konvensjonelle løsningen lå relativt nær kravet til gjennomsnittlig luminans, men kan ikke klassifiseres som M3 på grunnlag av denne parameteren alene. Verdien i kjørefeltet nærmest skogen var dessuten marginalt under $1,0 \text{ cd/m}^2$, og de øvrige klassekravene må også være oppfylt. Den alternative løsningen ga vesentlig lavere luminans. Total jevnhet var i hovedsak over M2-grensen, mens langsgående jevnhet var under kravet for begge løsninger (Figur 56 og Figur 57). Dette tyder på at armaturenes lysfordeling, mastegeometri og plassering bør vurderes samlet, men studien isolerte ikke bidraget fra hver faktor. Den alternative konfigurasjonen var en forsøksløsning og var ikke optimalisert for å oppfylle M2. Resultatene bør derfor forstås som en undersøkelse av den samlede konfigurasjonen, ikke som en generell vurdering av armaturtypen eller av lav CCT.

Tabell 6: Sammenstilling av de viktigste fotometriske resultatene og de anvendte grenseverdiene.

Parameter	Grenseverdi	Konvensjonell	Alternativ
Gjennomsnittlig luminans, kjørefelt nærmest mastene (60 m)	M2: $\geq 1,5 \text{ cd/m}^2$	$1,27 \text{ cd/m}^2$	$0,58 \text{ cd/m}^2$
Gjennomsnittlig luminans, kjørefelt nærmest skogen (60 m)	M2: $\geq 1,5 \text{ cd/m}^2$	$0,97 \text{ cd/m}^2$	$0,42 \text{ cd/m}^2$
Total jevnhet (U_0)	M2: $\geq 0,40$	Oppfylt ved 30 og 60 m; ett avvik ved 8 m	Oppfylt i de rapporterte målingene
Langsgående jevnhet (U_l)	M2: $\geq 0,70$	Ingen måling oppfylte kravet	Ingen måling oppfylte kravet
Horisontal illuminans på gang- og sykkelvei (gjennomsnitt/minimum)	Relevant P-klasse	$8,3/3,3 \text{ lx} - \text{P3}$	$3,9/1,53 \text{ lx} - \text{P5}$

Studien målte ikke ulykker, føreratferd eller objektdeteksjon, og resultatene kan derfor ikke brukes til å fastslå hvordan de aktuelle løsningene påvirker trafiksikkerheten. Ulykkesstudier viser at veilyss kan være forbundet med redusert ulykkesrisiko i mørke, men sammenhengen mellom sikkerhet og lysnivå er ikke enkel. Wanvik (2009) fant en tydelig reduksjon i personskadeulykker på belyste nederlandske veier. I en studie av 440 veistreknere i Florida var høyere gjennomsnittlig horisontal illuminans forbundet med lavere nattlig ulykkesrisiko, mens større variasjon i illuminans var forbundet med høyere risiko (Yang mfl. 2019). En nyere studie fra Utah fant mer begrenset sikkerhetsgevinst ved å øke eksisterende illuminansnivåer og viste at sammenhengen mellom jevnhet og ulykker var avhengig av det gjennomsnittlige lysnivået (Runyan mfl. 2024). Litteraturen gir derfor ikke grunnlag for å anta at den observerte reduksjonen i luminans er trafiksikker, men heller ikke for å tolke mer lys som en entydig sikkerhetsgevinst i alle situasjoner.

På gang- og sykkelveien oppfylte de målte verdiene grenseverdiene for P5 med den alternative løsningen og P3 med den konvensjonelle løsningen. Resultatene fra Delstudie 1 viste samtidig at horisontal illuminans alene ikke forklarte vurderingene av hvor godt belyst eller vennlig ansiktene fremstod. Vertikal og frontal illuminans, lysretning, kontrast og snøforhold hadde også betydning (se diskusjonen i kapittel 3.1.5). Horisontal illuminans bør derfor vurderes sammen med andre egenskaper ved lysfeltet når belysningen skal ivareta fotgjengere.

På veier med lav årstdøgntrafikk og en parallell gang- og sykkelvei kan det være relevant å undersøke om en belysningsklasser som er mer tilpasset konteksten (som beliggenhet og bruk) kan gi tilfredsstillende forhold for begge trafikantgrupper. Delstudien viser et fotometrisk scenario der gang- og sykkelveien oppfylte P5, mens kjørebanelen lå under M2. Resultatet kan brukes som grunnlag for videre utprøving, men dokumenterer ikke at en svakere belysning av kjørebanelen er trafiksikker eller at gjeldende krav kan fravikes. En eventuell lavere dimensjonering må bygge på formelt klassevalg og risikovurdering, med dokumentasjon av blant annet årstdøgntrafikk, hastighet, konfliktpunkter, synsforhold og behovet for samordnet belysning av vei og gang- og sykkelanlegg. Den alternative løsningen hadde lavere CCT og lysfluks enn den konvensjonelle. Disse forskjellene kan være relevante for lysutslipp og økologisk påvirkning, men Delstudie 2 målte verken lysinntrenging i terrenget eller biologiske effekter. Som beskrevet under «Parametere for miljø- og økologiske vurderinger» gir CCT alene ikke tilstrekkelig informasjon om den spektrale effektfordelingen eller den økologiske virkningen. Høyere CCT innebærer heller ikke automatisk bedre fargegjengivelse eller kontrast; disse egenskapene avhenger av spektrum, lysnivå og synsoppgave. Den miljømessige vurderingen av løsningene må derfor ses i sammenheng med terrengmålingene i Delstudie 3 og insektstudien i Del I, mens visuelle virkninger av forskjellige spektre behandles nærmere i Delstudie 4.

Resultatene dokumenterer en fotometrisk avveining: Den alternative løsningen reduserte lysnivået på både kjørebanelen og gang- og sykkelveien, men oppfylte ikke M2-kravene til gjennomsnittlig luminans og langsgående jevnhet. Studien dokumenterer ikke en tilsvarende avveining i trafiksikkerhet eller økologisk effekt. Videre utvikling bør derfor kombinere bedre optisk kontroll, tilpasset montering og eventuell adaptiv styring med ny verifikasjon av alle relevante fotometriske krav. Dersom en lavere belysningsklasse vurderes på strekninger med lav trafikkmengde og parallelt gang- og sykkelanlegg, må dette undersøkes gjennom en egen risikovurdering og studier av visuell ytelse og trafiksikkerhet.

Studien har flere begrensninger. Den omfattet én forsøksstrekning med én mastegeometri og sammenlignet to komplette konfigurasjoner som samtidig skilte seg i lysfluks, CCT, monteringshøyde og lysfordeling. Det er derfor ikke mulig å avgjøre hvilken enkeltparameter som forårsaket forskjellene. En sammenligning ved samme lysfluks ville gjort det lettere å undersøke betydningen av spektrum, optikk og geometri isolert, men ville samtidig vært en annen sammenligning enn den mellom de to installerte løsningene. Blending (TI) manglet i datagrunnlaget, og studien gir derfor ikke grunnlag for en fullstendig vurdering av samsvar med M2. Studien undersøkte heller ikke om andre armaturer med lav CCT kunne gi høyere lysutbytte eller bedre optisk kontroll.

Den konvensjonelle løsningen lå nærmere kravet til gjennomsnittlig luminans for M2 enn den alternative, men ingen av løsningene oppfylte M2-kravene til både gjennomsnittlig luminans og langsgående jevnhet. På gang- og sykkelveien oppfylte den alternative løsningen grenseverdiene for P5, mens den konvensjonelle oppfylte P3. Resultatene viser behovet for å vurdere lysnivå, jevnhet, lysfordeling og begge trafikantgruppens behov samlet. Delstudien dokumenterer fotometriske forskjeller, men gir ikke alene grunnlag for konklusjoner om trafiksikkerhet eller økologisk effekt.

3.3 Delstudie 3: Effekter av naturtiltak (svakere, varmere og mer skjermet belysning) på lysets spredning og synlighet i terrenget

3.3.1 Innledning

Delstudien ble gjennomført i forsøksområde I, hvor transektet strakte seg fra veien og gang- og sykkelveien og videre inn i tilgrensende terreng. Studien tar utgangspunkt i behovet for bedre kunnskap om hvordan kunstig lys fra veilys sprer seg utenfor området som skal belyses. I dette delkapitlet brukes betegnelsen strølys om uønsket lysinntrenging i terrenget. Formålet var å undersøke hvordan tre belysningskonfigurasjoner påvirket lysets utbredelse, og hvordan snødekke og skyforhold endret denne utbredelsen. Det ble gjennomført kubiske lysmålinger, målinger av horisontal og vertikal illuminans og opptak av luminansbilder. Metodene beskriver ulike sider ved lysets romlige fordeling og synlighet på avstand.

En økologisk orientert vurdering av belysning omfatter blant annet lysets spektrale sammensetning, intensitet, varighet og romlige fordeling. Delstudie 3 undersøkte den romlige fordelingen ved hjelp av fotometriske målinger. Biologiske responser eller økologiske effekter ble ikke målt direkte i denne delstudien. Ettersom illuminans og luminans er vektet etter menneskets synsfølsomhet, kan kjennskap til de størrelsene ikke alene beskrive arters spektrale eksponering, men det er mulig å regne om til andre vektete spektra hvis spektrene til lyskildene er kjent.

Strølys kan belyse naturområder utenfor målområdet og bidra til endrede lysforhold i habitater langs veien. Mulige økologiske konsekvenser av kunstig lys om natten er omtalt i Del I.

Kubiske lysmålinger ble brukt for å supplere tradisjonelle målinger av horisontal og vertikal illuminans. Metoden og de beregnede lysfeltparameterne er beskrevet i kapittel 3.1.2.

Lysfeltparameterne beskriver hvordan lyset varierer med sted og retning, mens luminansbildene viser hvordan armaturene og bakgrunnen fremstår fra bestemte observasjonsposisjoner. Delstudien undersøkte ikke menneskers subjektive lysopplevelse.

Delstudien tok utgangspunkt i følgende forskningsspørsmål:

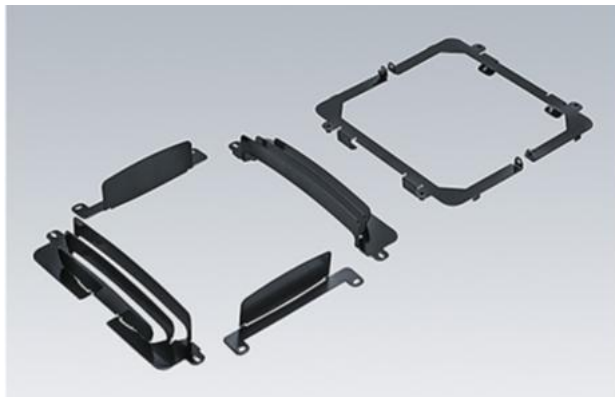
1. Hvordan endres horisontal og vertikal illuminans og luminans med avstanden fra veien for den konvensjonelle armaturen og de alternative armaturkonfigurasjonene?
2. Hvor stor tilleggsreduksjon i strølys gir avskjerming, og hvordan påvirkes måleresultatene av snødekke og skyforhold?
3. Hvilken tilleggsinformasjon gir kubiske lysmålinger og luminansbilder sammenlignet med horisontal og vertikal illuminans?

3.3.2 Metode

Studien ble gjennomført som en feltundersøkelse i forsøksområde I. Feltområdet, veigeometrien, masteplasseringen og armaturenes hovedegenskaper er beskrevet i Kapittel 3.1.2 og Tabell 5. Lysmålingene ble utført langs et transekt som strakte seg fra punktet under armaturen, over gangveien og videre 90 meter inn i tilstøtende terreng. All datainnsamling foregikk under astronomisk natt, som innebærer at solen var mer enn 18° under horisonten.

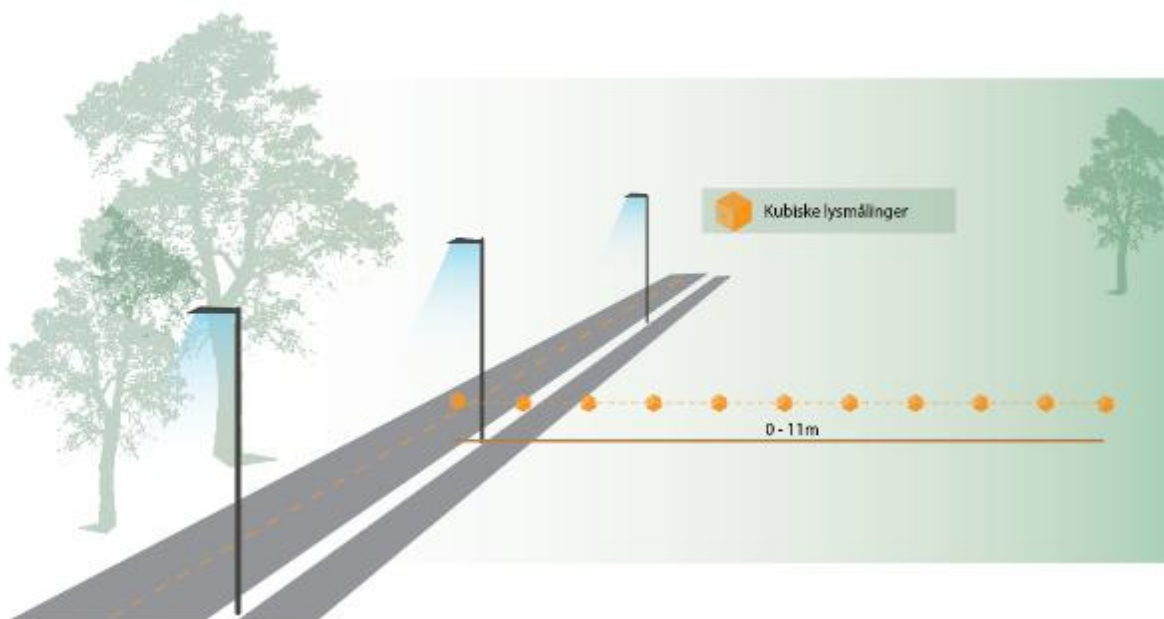
Tre ulike belysningskonfigurasjoner ble undersøkt: (i) en konvensjonell LED-armatur (4000 K, høy lysytelse); (ii) en alternativ armatur med lavere lysnivå og varmere fargetemperatur (2200

K); (iii) en tilsvarende alternativ armatur utstyrt med avskjerming (Figur 60). Målingene ble utført under fire ulike omgivelsesforhold: klar himmel, overskyet himmel, snødekt under klar himmel og snødekt under overskyet himmel. I én måleserie under klar himmel bidro fullmånen til bakgrunnsbelysningen.



Figur 60: Den modulære louveren (lamellskjermen) som ble montert rundt lysåpningen på Alternativ 2-armaturen. Louvren består av separate skjermelementer som kan kombineres for å begrense lysutstrålingen i ulike retninger. Foto: Thorn Lighting.

I den første delen av transektet (Figur 61), fra like under armaturen og de første 11 meter, ble kubiske lysmålinger benyttet i en høyde på 1,5 meter. Dette muliggjorde beregning av parametere som lysdensitet, diffushet og lysvektor i det første segmentet. Hensikten var å undersøke om disse lyskvalitetene kan gi en mer helhetlig beskrivelse av lysspredningen fra armaturene, og dermed si mer om hvordan lyset faktisk fordeler seg i omgivelsene.

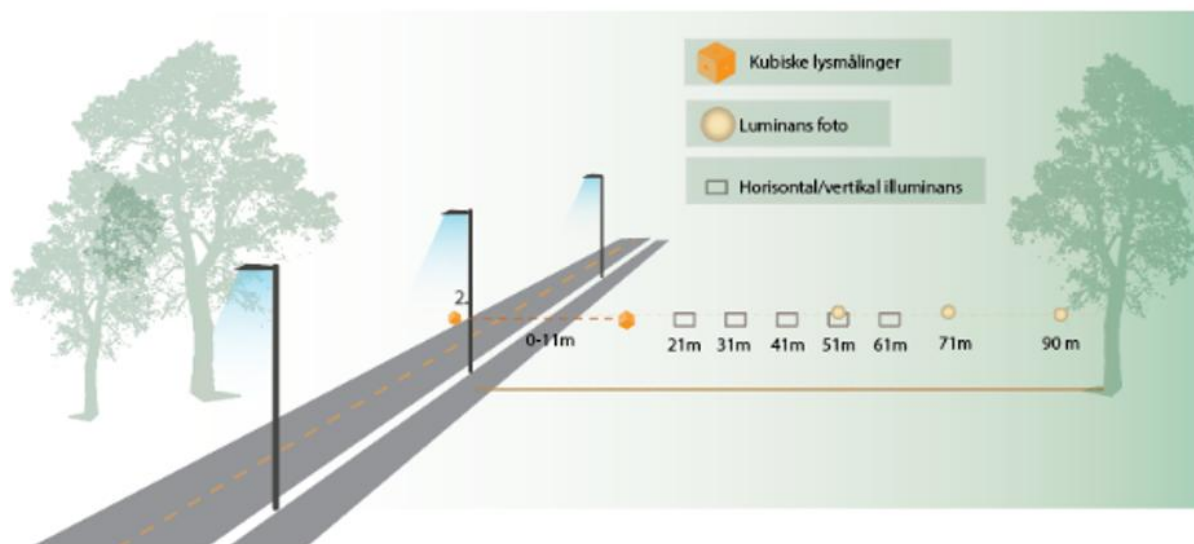


Figur 61: Første del av transektet der kubiske lysmålinger ble gjennomført på 11 punkter i 1,5 meter høyde.

Fra 11 til 61 meters avstand ble illuminans målt hver 10. meter i et horisontalt, oppovervendt plan og i et vertikalt plan vendt mot veien (Figur 62). Luminansbilder rettet mot armaturene, terrenget og himmelen ble tatt fra 50, 70 og 90 meters avstand. På grunn av kameraets begrensninger ved lave temperaturer foreligger det ikke luminansbilder for alle kombinasjoner av armatur, avstand, snødekke og skyforhold.

Tre målemetoder ble benyttet: kubiske illuminansmålinger i seks retninger, horisontal og vertikal illuminans og luminansbilder. Instrumenter og framgangsmåten for kubiske målinger

og luminansbilder er beskrevet i kapittel 3.1.2. Fra de kubiske målingene ble lysdensitet, diffushet og lysvektor beregnet. Illuminans ble analysert som funksjon av avstand, belsningskonfigurasjon og omgivelsesforhold. Luminansbildene ble brukt til å beskrive luminansnivåer og kontrast i forhåndsdefinerte bildeområder. Analysen inkluderte beregning av lysfeltparametere, samt statistiske beskrivelser av luminansfordeling og kontrast i utvalgte områder.

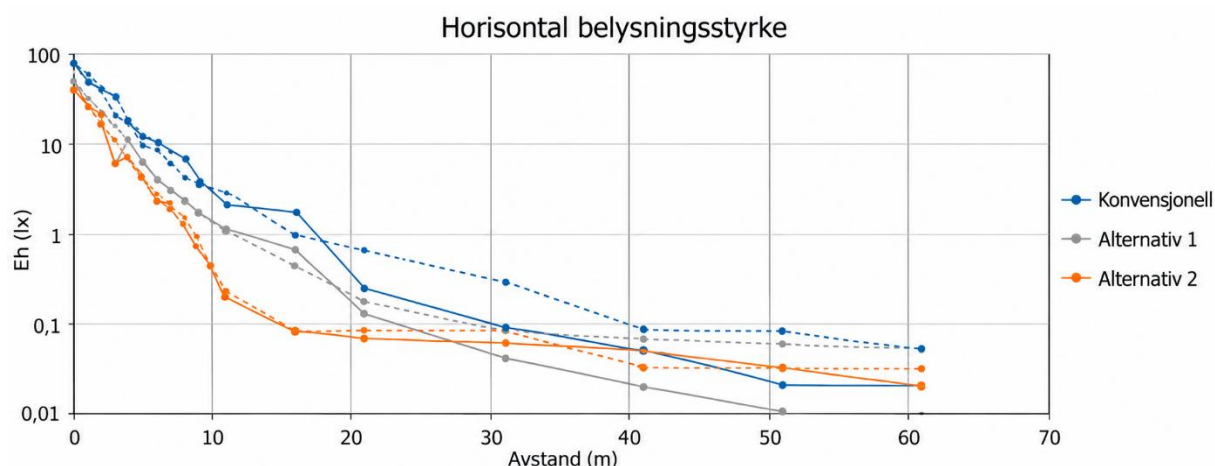


Figur 62: Transektet fra armaturen og 90 meter inn i terrenget, med punkter for kubiske målinger, horisontal og vertikal illuminans og luminansbilder.

3.3.3 Resultater

Illuminans som funksjon av avstand og konfigurasjon

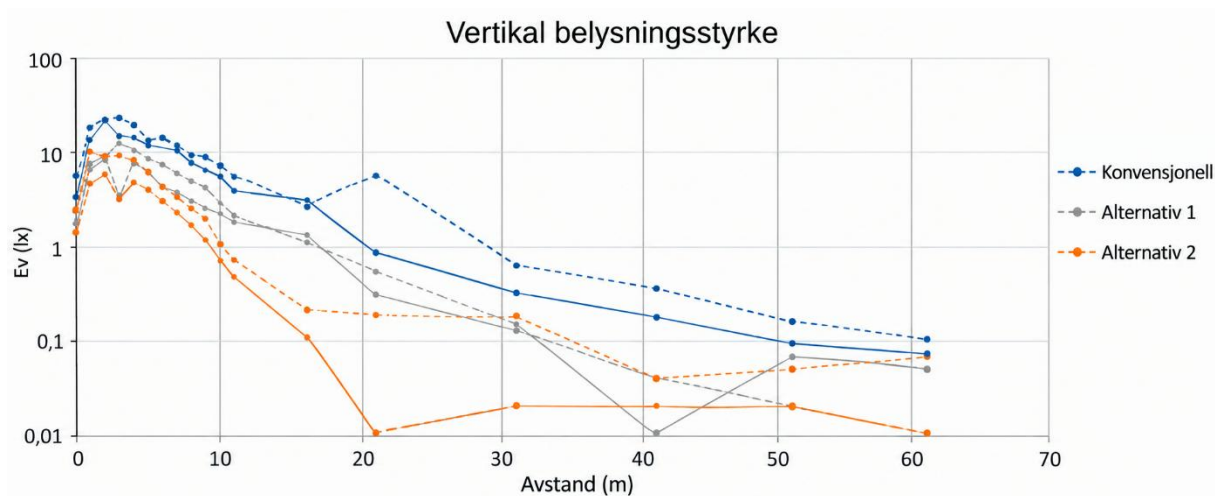
Figur 63 viser horisontal illuminans som funksjon av avstanden fra veien. For alle tre konfigurasjonene avtok illuminansen raskt, særlig innenfor de første 10–15 meterne. Lenger fra armaturen nærmet målingene seg et bakgrunnsnivå som i større grad var påvirket av omgivelseslyset. I måleserien for Alternativ 2 under klar himmel økte nivået ved større avstand samtidig som fullmånen belyste måleområdet. Denne delen av kurven kan derfor ikke tolkes som en effekt av armaturen alene.



Figur 63: Horizontal belsningsstyrke, plottet i logaritmisk skala for de tre armaturkonfigurasjonene. Langtrukken linje representerer klar himmel, stiplet linje representerer snø og klar himmel.

De alternative konfigurasjonene ga gjennomgående lavere horisontal illuminans i terrenget enn den konvensjonelle konfigurasjonen. Alternativ 1 ga en rapportert reduksjon på opptil 45 %, mens avskjermingen i Alternativ 2 ga en ytterligere reduksjon på 16,6 %. Til sammenligning var den nominelle lysfluksen 65,6 % lavere for den alternative armaturen enn for den konvensjonelle (4820 lm mot 14 000 lm; Tabell 5). Den målte reduksjonen i terrenget kan derfor ikke forklares eller normaliseres ut fra lysfluks alene, fordi konfigurasjonene også skilte seg i optikk, monteringshøyde og lysfordeling. Resultatene viser at både den alternative armaturens lavere lysutbytte og den ekstra avskjermingen bidro til å begrense strølyset i den undersøkte konfigurasjonen.

Vertikal illuminans viste et lignende avstandsmønster (Figur 64), men maksimumsnivået lå om lag 2–3 meter fra punktet under armaturen. Alternativ 1 ga opptil 55 % lavere vertikal illuminans enn den konvensjonelle konfigurasjonen, og Alternativ 2 ga en ytterligere reduksjon på 19,5 % sammenlignet med Alternativ 1. Resultatene dokumenterer en tilleggseffekt av avskjermingen for den undersøkte konfigurasjonen.



Figur 64: Vertikal belsningsstyrke, plottet i logaritmisk skala for de tre armaturkonfigurasjonene. Langtrukken linje representerer klar himmel, stiplet linje representerer snø og klar himmel.

Virkning av snø og skydekke

Omgivelsesforholdene påvirket lysnivåene i terrenget betydelig. Sammenlignet med klare, snøfrie forhold økte horisontal illuminans under snøforhold. Skydekke påvirket også nivåene, men den største økningen ble målt ved kombinasjonen snø og overskyet himmel:

- Overskyet: ca. 39 % økning
- Snødekt og klart: ca. 116 % økning
- Snødekt og overskyet: opptil 350 % økning

Økningen var særlig tydelig fra om lag 20 meter og utover, der bidraget fra direkte lys var lavere.

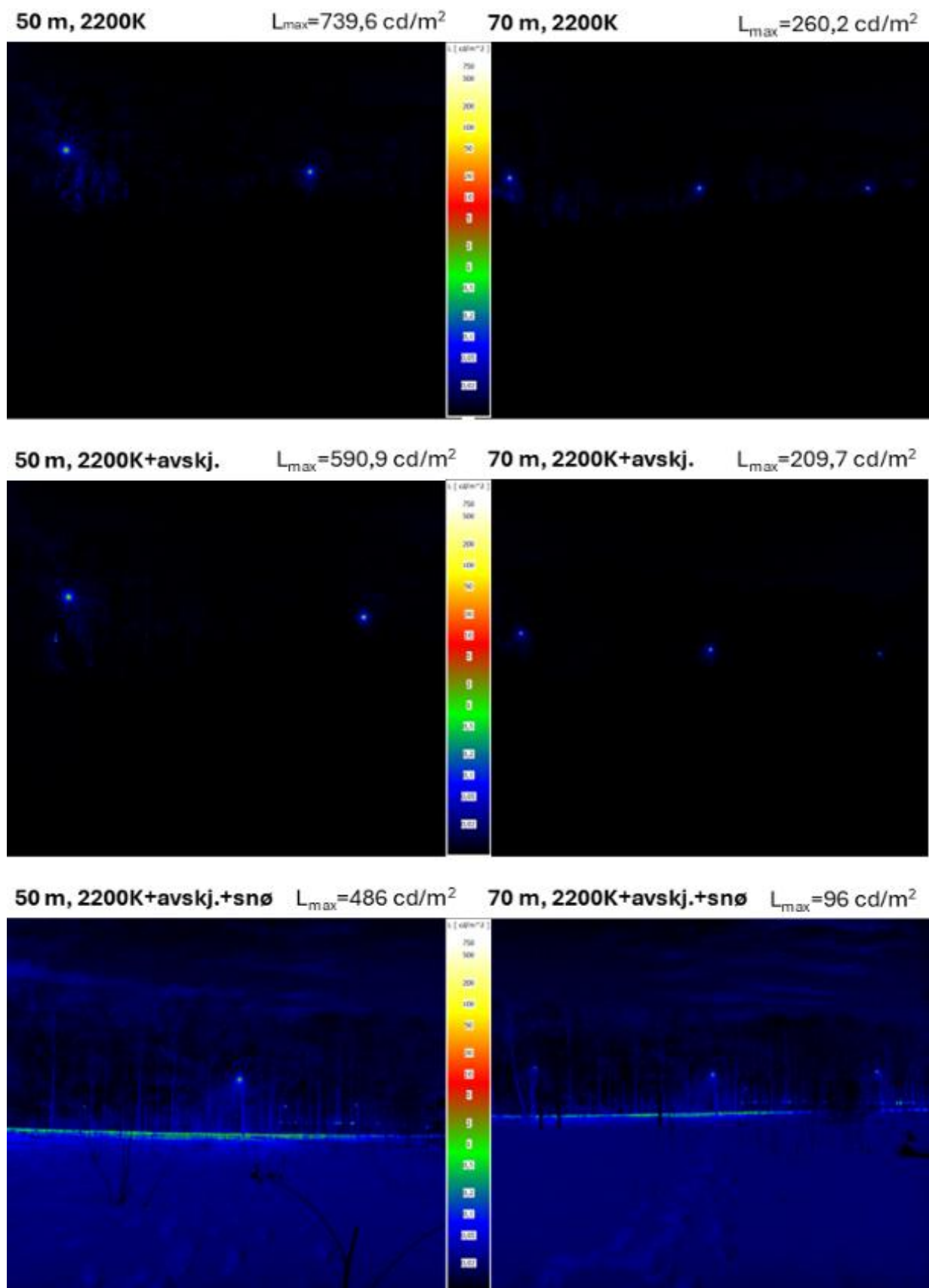
Lysfeltparametere

De kubiske målingene i de første 11 meterne viste at den retningsbestemte komponenten var tydeligst nær armaturen og avtok med økende avstand (Figur 63).

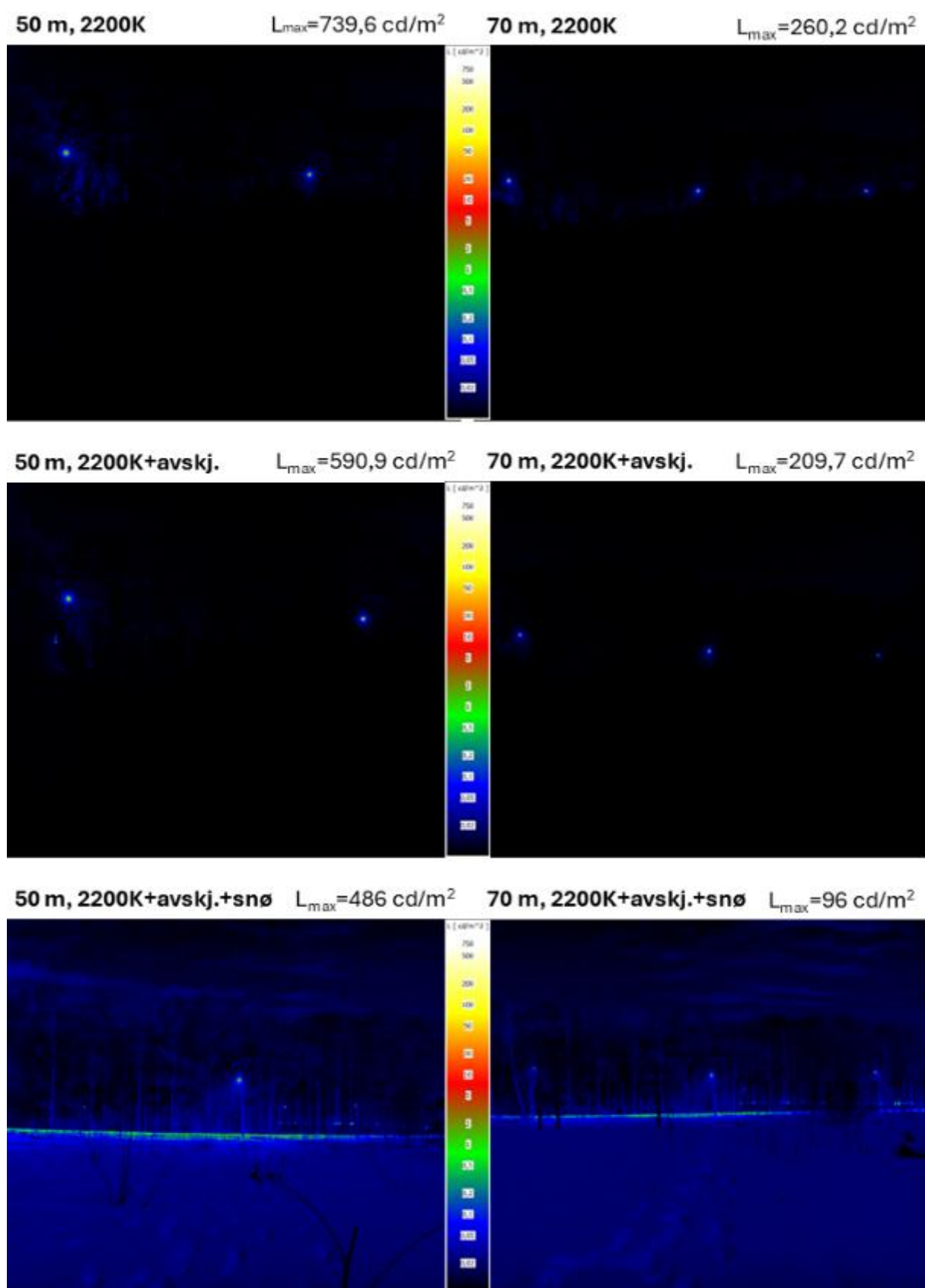
Under klare, snøfrie forhold var diffusheten om lag 0,30. Ved snødekke og klar himmel økte den til om lag 0,64, tilsvarende 112 %, mens den ved snødekke og overskyet himmel var om lag 0,56. Diffusheten økte også med avstanden fra armaturen. Disse målingene viser at lysfeltet var mer homogent i de snødekte måleseriene.

Luminansbilder og synlighet på avstand

De tilgjengelige luminansbildene viste høyere maksimal luminans for den konvensjonelle armaturen enn for den alternative armaturen ved sammenlignbare avstander og omgivelsesforhold (Figur 65 og Figur 66). Avskjermingen reduserte de lyseste bildepunktene og gjorde lyspunktet tydelig mindre fremtredende, men armaturen var fortsatt synlig på avstand. Ved 70 m viste sammenligningen mellom 4000 K-armaturen og den avskjermede 2200 K-armaturen den samlede forskjellen mellom konfigurasjonene. Siden konfigurasjonene samtidig skilte seg i lysfluks, spektral sammensetning og avskjerming, kan bidraget fra hvert enkelt tiltak ikke skilles fra hverandre. Under snøforhold økte luminansen i bakken og bakgrunnen, slik at kontrasten mellom armaturen og omgivelsene endret seg. Det forelå ikke luminansbilder av den uskjermede 2200 K-armaturen under snøforhold. Fordi det ikke foreligger bilder for alle kombinasjoner av konfigurasjon og omgivelsesforhold, gir materialet først og fremst en kvalitativ sammenligning.



Figur 65: Luminansbilder av 2200K armatur tatt fra 50m og 70m avstand.



Figur 66: Luminansbilder av 2200K armatur tatt fra 50m og 70m avstand.

3.3.4 Diskusjon

Delstudien viste at lysmengden i terrenget avtok raskt med avstanden fra veien, og at bakgrunnslys og refleksjoner fikk større relativ betydning lenger fra armaturen. Begge alternative konfigurasjoner ga lavere horisontal og vertikal illuminans enn den konvensjonelle konfigurasjonen, og avskjermingen ga en ytterligere reduksjon. Resultatene besvarer dermed de to første forskningsspørsmålene, men gjelder de konkrete konfigurasjonene og måleforholdene som ble undersøkt.

Forskjellen mellom konvensjonell og alternativ konfigurasjon må ses i lys av at den alternative armaturen hadde 65,6 % lavere nominell lysfluks. Den observerte reduksjonen i horisontal illuminans i terrenget var opptil 45 %, og forskjellen kan derfor ikke tilskrives lavere lysfluks alene. Monteringshøyde, optikk, lysfordeling, refleksjoner og måleforhold virket samtidig. Avskjermingen ga derimot en sammenligning innenfor samme alternative armaturtype og dokumenterte en tilleggseffekt på 16,6 % for horisontal og 19,5 % for vertikal illuminans.

Snødekke og skyforhold hadde stor betydning for de målte nivåene. Den rapporterte økningen var størst ved kombinasjonen snø og overskyet himmel. Dette er forenlig med at snø øker refleksjonen fra bakken og at skyer endrer spredningen av lys, men forsøket skilte ikke mellom alle bidragene til bakgrunnsbelysningen. Fullmånen påvirket dessuten én av seriene. Omgivelsesforholdene må derfor registreres og behandles som en del av målekonteksten ved sammenligning av veilys i nordiske forhold.

Den foreliggende resultatbeskrivelsen oppgir ikke skjermeffekten separat for snø og barmark. Det kan derfor ikke konkluderes med at avskjermingen hadde større prosentvis virkning under snøforhold. Det kan heller ikke fastslås om kombinasjonen av lavere lysfluks, varmere spektrum og avskjerming ga en synergieffekt. Dette krever en analyse av interaksjoner mellom tiltakene basert på sammenlignbare rådata og, ideelt sett, en forsøksdesign der faktorene varieres uavhengig.

Avskjerming som tiltak i vei- og gatebelysning

Den dokumenterte tilleggseffekten av louvern viser at bakover- og sideutstrålt lys bør vurderes i tillegg til oppadrettet lys når vei- og gatebelysning grenser til natur- og skogsområder. Avskjerming må samtidig prosjekteres sammen med den øvrige optikken. Den må ikke redusere nødvendig belysning, jevnhet eller blendingskontroll på kjørebane eller fortauet. Som vist i Delstudie 2 oppfylte den alternative forsøkskonfigurasjonen ikke M2-kravet på den aktuelle veistrekningen; en implementeringsløsning må derfor dimensjoneres på nytt og dokumenteres mot relevante belysningsklasser.

I Alternativ 2 ble Thorn Isaro Pro-armaturen utstyrt med en ekstern, modulær louver, også omtalt som en lamell- eller blendingsskjerm, montert rundt lysåpningen. Louvresettet består av separate skjermelementer som kan konfigureres for å begrense lysutstrålingen foran, bak, mot venstre eller mot høyre. I forsøket ble louvern benyttet for å redusere lysutstrålingen mot det tilgrensende terrenget. Produsenten oppgir at settet kan settes sammen i mer enn 15 konfigurasjoner. Louvern er et separat og armaturspesifikt tilbehør til Isaro Pro, mens andre produsenter tilbyr integrerte eller fabrikkspesifiserte avskjermingsløsninger. Det er derfor ikke grunnlag for en generell påstand om at armaturer ikke produseres med innebygd eller tilpasset lyskontroll.

Louvern avskjærer lys som allerede er produsert, og reduserer derfor ikke armaturens elektriske effekt. Integrert optikk eller samtidig dimming kan derimot gi mulighet for

energibesparelse, men dette ble ikke undersøkt i delstudien. Selve louveren innebærer en begrenset tilleggskostnad sammenlignet med utskifting av hele armaturen og kan ettermonteres etter at armaturen er installert. Dette gjør avskjerming til et praktisk og kostnadseffektivt tiltak, særlig i områder der redusert lysutstråling mot natur- og skogsområder er ønskelig. Ettermontering kan likevel kreve lift, arbeid på stedet og eventuelt trafikkregulering. Den viktigste lystekniske ulempen er at louveren endrer lysfordelingen og kan redusere nyttig lys i de skjermede retningene. Virkningen på belysningsnivå, jevnhet og blending på kjørebanen og fortauet må derfor kontrolleres gjennom lysberegninger eller målinger.

Resultatet kan heller ikke overføres direkte til vanlige 3000 K-armaturer med høyere lysfluks. En sterkere armatur kan gi en større absolutt reduksjon når lyset skjerms, mens den prosentvise virkningen avhenger av armaturens lysfordeling, optikk, montering og overflaterrefleksjon.

Økologisk tolkning

Luminansbildene dokumenterer visuell eksponering av armaturene, men viser ikke i seg selv biologisk effekt. Resultatene kan likevel drøftes mot studier av nattaktive insekter. Bolliger mfl. (2022) fant i et feltforsøk at diffusorarmaturer fanget 16 % flere insekter enn standardarmaturer, og at andelen fangede insekter var lavere ved 1750 K enn ved 3000 og 4000 K. Studien isolerte ikke luminanskontrast som eneste årsak. Dietenberger mfl. (2024) fant redusert insektattraksjon ved målrettet og skjermet veilys. Dette støtter avskjerming som et relevant tiltak, uten å dokumentere effekten for den aktuelle lokaliteten. Den målte tilleggseffekten av louveren i Delstudie 3 dokumenterer på tilsvarende måte redusert fotometrisk eksponering i det tilgrensende terrenget, men ikke en biologisk effekt.

Seymoure mfl. (2026) rapporterte at det at armaturens lysende overflate, som hadde høy luminans, var synlig på avstand, kunne være viktigere enn mengden lys målt i oppadrettet retning (horisontal irradians) for tiltrekning av flygende insekter, og at en mer skjermet lyskilde reduserte, men ikke fjernet, flight-to-light-responsen. Fabian mfl. (2024) viste at kunstig lys kan forstyrre insekters flygeretning gjennom en dorsal lysrespons. Owens og Lewis (2018) framhever på tilsvarende måte avskjerming og kontrollert lysfordeling som mulige avbøtende tiltak. Samlet indikerer disse studiene og resultatene fra Delstudie 3 at avskjerming kan være økologisk relevant ved å redusere både synligheten av lysende overflater med høy luminans og mengden lys som når det omkringliggende habitatet. Om færre organismer faktisk påvirkes, må imidlertid undersøkes gjennom biologiske målinger, blant annet resultatene i Del I.

Delstudie 3 viste at de alternative armaturkonfigurasjonene ga lavere horisontal og vertikal illuminans i terrenget enn den konvensjonelle konfigurasjonen, og at avskjerming ga en ytterligere reduksjon for den undersøkte armaturen. Snødekke, skyforhold og fullmåne påvirket målingene og må inngå som dokumenterte kontekstfaktorer. Kubiske målinger, illuminansmålinger og luminansbilder ga komplementær informasjon om lysets retning, avstandsavhengighet og synlighet. Studien målte ikke biologiske effekter, trafikk sikkerhet eller energibesparelse, og resultatene kan ikke overføres direkte til andre armaturer. Før implementering må skjerm-løsningen dokumenteres mot relevante belysningskrav. Videre studier og nøyaktige sammenligninger bør baseres på lyskilder og armaturer med sammenlignbar lysstrøm og lysfordeling i de aktuelle retningene.

3.4 Delstudie 4: Effekter av naturløstaket (amber-LED) på gjenstanders synlighet i kjørebanelen og gjenkjennelse av ansikter på gang- og sykkelveien

3.4.1 Innledning

Forskning på bilførerers visuelle ytelse viser at det er flere forhold som sammen avgjør hvor godt man ser om natten. Blant de viktigste er visuell adaptasjon, kontrast mellom objekt og bakgrunn og veibanens luminans. Lysadaptasjon beskriver hvordan øynene tilpasser seg det rådende lysnivået. For bilførere er dette særlig viktig fordi visuelle fremtoningen ofte er ujevnt noen deler av veien er lysere enn andre, og øynene rekker ikke å tilpasse seg hvert enkelt punkt umiddelbart. Det betyr at synligheten ikke bare avhenger av luminansen til et bestemt objekt, men også av det generelle luminansnivået føreren er tilpasset. Kromatisk adaptasjon viser til hvordan synssystemet tilpasser seg lyskildens spektrale sammensetning, og dette påvirker hvordan farger oppfattes under lyskilder med ulik korrelert fargetemperatur (CCT).

Forebygging av ulykker avhenger i stor grad av førerens evne til å oppdage og reagere på uventede objekter eller endringer i veibanen. For å studere dette har forskere brukt både dynamiske og statiske metoder. I dynamiske studier undersøkes prestasjonen mens deltakerne faktisk kjører, ofte ved å måle reaksjonstid eller oppdagelsesavstand. I statiske studier blir deltakerne i stedet bedt om å vurdere synlighet uten å kjøre bil. Begge tilnærmingene er nyttige, men de svarer på litt ulike spørsmål.

Under dynamiske forhold vil høyere luminansnivåer og større objekter som regel gjøre det lettere å oppdage det som finnes på eller langs veien. Studier har vist at luminansnivåer over 1 cd/m² langs veien kan forbedre synligheten under slike forhold (Gibbons mfl., 2012; Van Bommel & Tekelenburg, 1986). Samtidig øker ikke synligheten ubegrenset med mer lys. Når et visst nivå er nådd, kan ytterligere økning gi liten ekstra gevinst. Mer lys betyr derfor ikke nødvendigvis bedre synlighet; kontrast, lysfordeling og adaptasjonsforhold må også vurderes. Et høyere lysnivå kan for eksempel redusere kontrasten dersom både objektet og bakgrunnen belyses, eller svekke synligheten dersom økt luminans og blinding hever førerens adaptasjonsnivå. Det avgjørende er derfor hvordan belysningen påvirker luminanskontrasten i den aktuelle synsretningen, ikke bare hvor mye lys som tilføres.

Det er gjort relativt få studier av hvordan CCT påvirker bilførerers evne til å oppdage hindringer og vurdere synlighet. Akashi mfl. (2007) fant for eksempel at keramiske metallhalogenlamper (CMH) ga raskere reaksjonstid på beveielige mål enn høytrykksnatriumlamper (HPS) (Akashi mfl. 2007). En nyere studie av LED-belysning under tåkeforhold viste at trafikk synsstanden (TVD) økte både med høyere illuminans og høyere CCT (Hu mfl. 2022). Samtidig fant Davidovic mfl. (2019) at armaturer med 3000 K ga en liten fordel sammenlignet med 4000 K når det gjaldt å oppdage både små hindringer og fotgjengere, når fargegjengivelsesindeksen (CRI) var den samme (Davidovic mfl. 2019). Park mfl. (2023) viste også at effekten av CCT avhenger av værforholdene: høyere CCT ga bedre synlighet under normale forhold, mens lavere CCT ga lengre synsstand i tåke (Park mfl. 2023). Samlet tyder disse funnene på at effekten av lysets spektrale sammensetning på førerers synlighet er kontekstavhengig, og at det ikke finnes en enkel regel om at varmere eller kaldere lys alltid er best. Korrelert fargetemperatur, uttrykt i kelvin, kan derfor ikke alene brukes til å forutsi synligheten. Lyskildens spektrale sammensetning, fargegjengivelse, lysnivå og lysfordeling må vurderes sammen med synsoppgaven og værforholdene.

Dynamiske synlighetsstudier kan være tidkrevende, kostbare og vanskelige å kontrollere, blant annet fordi resultatene påvirkes av faktorer som alder, erfaring og individuelle forskjeller hos føreren. Derfor brukes det ofte statiske forsøk, der deltakerne vurderer synlighet uten å kjøre (Bacelar 2005; Bhagavathula mfl. 2019; Bozorg Chenani mfl. 2016; Gibbons & Hankey 2006; Janoff & Havard 1997; Ménard & Cariou 1994). Selv om slike forsøk ikke fullt ut gjenspeiler en reell kjøresituasjon, gjør de det lettere å isolere effekten av bestemte lysvariabler.

Et annet viktig forhold er betydningen av vertikal illuminans. Studier tyder på at vertikal illuminans fra billykter ofte er avgjørende for synligheten av objekter, fordi den belyser vertikale flater og gjør eventuelle objekter lettere å oppdage (Bullough & Skinner 2007). Dette er viktig fordi mange relevante trafikkobjekter, som fotgjengere, skilt og stolper, ikke ligger flatt på veibanen, men er vertikale eller tredimensjonale og derfor er avhengige av frontalt lys for å bli godt synlige. Ved motlys kan et objekt i stedet bli synlig som en mørk silhuett mot en lysere bakgrunn, slik det blant annet utnyttes ved tunnelbelysning. Samtidig avhenger virkningen av kontrastretningen mellom objektet og veibanen; frontlys kan både øke objektets luminans og redusere eller endre en negativ kontrast mot en belyst bakgrunn.

I litteraturen brukes flere standardiserte måleobjekter. CIE 88:2004 beskriver i forbindelse med tunnelbelysning et flatt målobjekt på 20 cm × 20 cm med 20 % reflektans, mens IES-metoden for small-target visibility (STV) bruker et målobjekt på 18 cm × 18 cm med 50 % reflektans (CIE 2004; Illuminating Engineering Society 2022). Denne typen objekt er ikke ment å forestille en bestemt gjenstand fra virkeligheten, men fungerer som et standardisert mål for å sammenligne synlighet under ulike lysforhold. Van Bommel beskriver «small-target visibility» (STV) som et synlighetsbegrep basert på nettopp et slikt flatt mål, observert under strengt definerte forhold når det gjelder størrelse, reflektans, avstand, observatørens plassering og observasjonstid (van Bommel 2014). Selv om mer realistiske mål også kan brukes, for eksempel fotgjengersilhuetter, dyr, personer i ulike klær eller trafikkskilt, har studier vist at slike abstrakte surrogatobjekter samsvarer rimelig godt med synligheten av faktiske mennesker og andre farer langs veien (Gibbons & Hankey 2006). Av denne grunn brukes forenklete mål fortsatt mye i forskning på veilys, særlig når formålet er å sammenligne lysforhold på en kontrollert og repeterbar måte.

Samlet viser litteraturen at bilføreres synssans om natten påvirkes av en kombinasjon av adaptasjon, kontrast, luminans, objektets egenskaper, værforhold og spektrale karakteristikk. God veilys for bilførere kan derfor ikke beskrives med én enkelt parameter, men må forstås som resultatet av flere forhold som virker sammen.

Andre faktorer som påvirker føreratferd og ulykkesrisiko

Trafikksikkerhet om natten avhenger av mer enn bare synlighet. Selv om veilys kan gjøre det lettere å oppdage farer og orientere seg, påvirkes ulykkesrisikoen også av veiutforming, værforhold, trafikkforhold, skilting og menneskelige faktorer.

Nyere studier viser at moderne bilbelysning med LED-kilder kan gi bedre synlighet om natten, men at effekten avhenger sterkt av veitype, bakgrunnsbelysning, værforhold og lysfordeling. På veier uten fast veilys er billyktene den viktigste lyskilden for føreren, og nyere forskning viser at det kreves relativt høye synlighetsnivåer for at små objekter skal oppdages pålitelig. Erkan mfl. (2023) fant at det under kontrollerte forhold i ikke-urbane omgivelser krevdes en visibility level (VL) på minst 13,35 for pålitelig objekteteksjon, mens mer realistiske feltforhold krevde VL-verdier nærmere 25 for at objekter skulle oppdages sikkert på de fleste

posisjoner. Samtidig viste en annen studie fra urbane veimiljøer at sterkere nærlys ikke nødvendigvis forbedret objektdeteksjonen når veien allerede var belyst. I slike situasjoner kan ekstra lys fra billyktene redusere den negative kontrasten som veilyset ellers skaper, og dermed i noen tilfeller gjøre objekter vanskeligere å oppdage, særlig på lengre avstander (Erkan, Hoffmann, Kreß mfl. 2023).

LED-frontlykter kan også gi økt blending, særlig når lysutbyttet er høyt, lysfargen er hvitere, eller lyktene er montert høyt på kjøretøyet. Samtidig viser nyere data at kjøretøy med frontlykter av god kvalitet har lavere ulykkesrisiko om natten. Adaptive og intelligente frontlyssystemer fremstår derfor som en lovende løsning, fordi de kan forbedre synligheten og samtidig redusere blending gjennom mer presis og situasjonstilpasset lysstyring. (Nkrumah mfl. 2024). Samlet tyder forskningen på at gevinsten ved LED-baserte billykter ikke bare handler om mer lys, men om riktig lysfordeling, god blendingskontroll og godt samspill med fast veily. Samspillet avhenger også av kontrasten mellom objektet og bakgrunnen og av hvilken retning lyset treffer objektet fra. Dette er særlig relevant når trafikksikre og bærekraftige belsningsløsninger skal vurderes i sammenheng. Utviklingen i billys gir likevel ikke i seg selv grunnlag for å redusere behovet for fast veily, fordi samspillet avhenger av blant annet veitype, kontrast, lysretning, motlys og kjøretøyets lyssystem. Bilparken vil dessuten i mange år bestå av kjøretøy med både eldre og nyere lyssystemer. Eventuelle endringer i veilyset må derfor ta hensyn til denne variasjonen og samtidig ivareta syklist, brukere av sparkesykkel og elsparkesykkel samt fotgjengere, som ikke nødvendigvis har like effektivt eller avansert lysutstyr som moderne biler.

Vei- og værforhold er særlig viktige fordi de kan endre seg raskt på kort sikt, og på lengre sikt kan endringer i klima føre til nye problemstillinger. Regn, tåke, snø og våt veibane kan redusere synligheten ved å svekke kontraster, øke refleksjoner og skape blending. Våte overflater kan også endre hvordan lyset reflekteres fra veien, noe som gjør det visuelle bildet vanskeligere å tolke. I tillegg påvirker veiens fysiske utforming, som kurvatur, kjørefeltbredde, overflatestruktur, bebyggelse langs veien og høydeforskjeller, hvordan føreren oppfatter farer og opprettholder kontroll. Trafikktetthet spiller også inn, siden stor trafikkmengde krever hyppigere beslutninger og mer visuell oppmerksomhet. Også tilstedeværelse, tydelighet og plassering av skilt og veioppmerking har betydning for føreratferd. God skilting og tydelig merking støtter beslutningstaking, mens dårlig vedlikeholdte eller svakt synlige skilt og markeringer kan øke risikoen for feil.

Førere varierer også med hensyn til alder, erfaring, tretthet, helse og synsevne, og alle disse forholdene påvirker hvordan de fungerer i trafikken om natten. Erfarne førere er ofte bedre til å forutse farer og håndtere redusert synlighet, mens mindre erfarne førere i større grad er avhengige av tydelige visuelle signaler og mer tilgivende lysforhold. Synsfunksjoner som synsskarphet, kontrastsensitivitet og eventuelle fargesynsvansker har også betydning for hvor godt objekter, skilt og oppmerking blir oppdaget og tolket. Eldre førere trenger ofte lengre tid til å tilpasse seg mørke, er mer følsomme for blending og har ofte redusert evne til å skille farger. Tretthet reduserer årvåkenhet og reaksjonsevne, mens alkohol- eller rusmiddelbruk øker ulykkesrisikoen uavhengig av hvor god belysningen er.

De siste tiårene har veily i stor grad gått fra høytrykksnatriumlamper (HPS) til mer energieffektive LED-systemer. Samtidig er kunstig lys om natten (ALAN) forbundet med blant annet himmelglød, økologiske forstyrrelser og uønsket lysinntrenging. LED-armaturer med høy CCT og en større andel kortbølget lys kan øke enkelte av disse virkningene. For å begrense

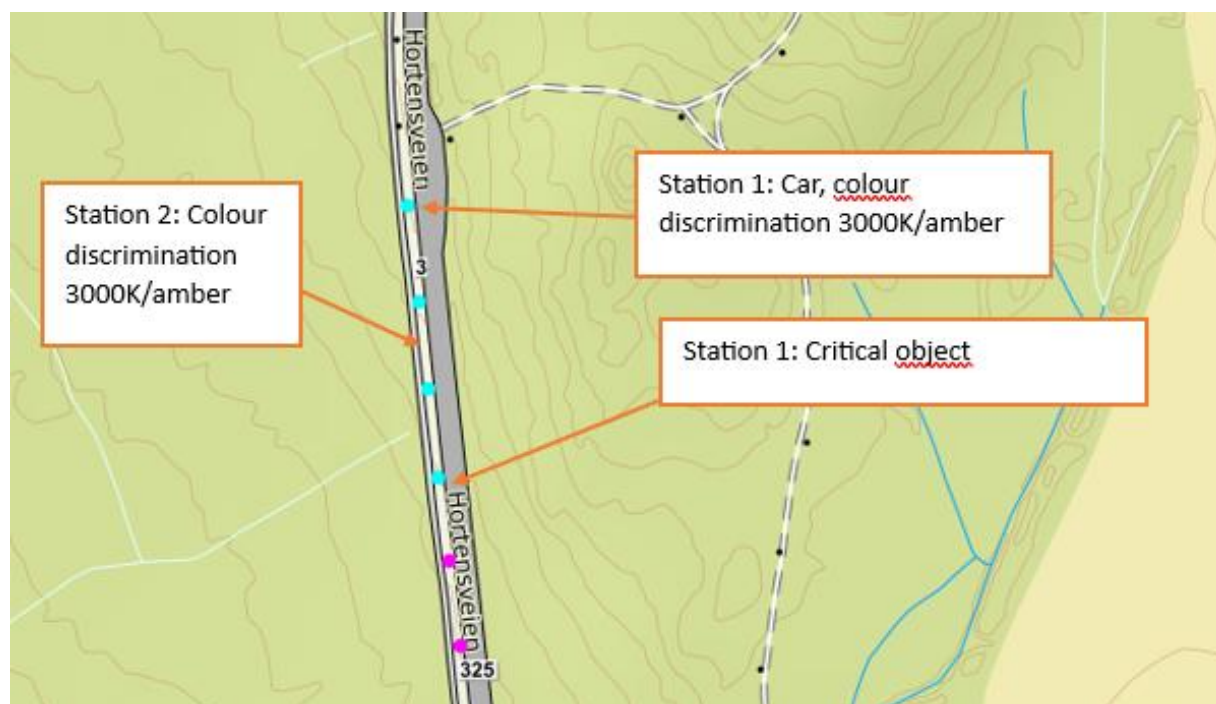
dem bør riktig mengde og kvalitet av lys brukes på riktig sted og til riktig tid. PC-amber LED kan redusere utslippet av kortbølget lys, men har vanligvis lavere lysutbytte enn hvite LED-løsninger, noe som skaper en avveining mellom energieffektivitet og miljøhensyn. Delstudie 4 undersøkte derfor hvordan PC-amber og hvitt LED-lys påvirket små måleobjekters synlighet for bilførere og, for fotgjengere, vurderingen av ansikters vennlighet samt synligheten av gangarealet og farger. Identitetsgjenkjenning og opplevd trygghet ble ikke undersøkt direkte.

I denne studien evaluerte vi hvordan to komplette belysningsbetingelser – PC-amber og hvitt LED-lys – påvirket utvalgte visuelle vurderinger hos bilførere og fotgjengere under reelle forhold. Spesifikt undersøkte vi sammenhengen mellom belysningsbetingelsen og bilføreres vurdering av synligheten til små kritiske objekter i ulike farger. I tillegg undersøkte vi fotgjengeres vurdering av hvor vennlige ansikter fremstod, gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet. Fordi betingelsene skilte seg i både CCT, SPD og CRI, kan effekten av CCT ikke isoleres fra de øvrige spektrale forskjellene.

Forskningsspørsmålene var:

1. Var vurderingen av små kritiske objekters synlighet forskjellig under PC-amber og hvitt LED-veilyd ved tilnærmet like fotopiske lysnivåer?
2. Var vurderingen av ansikters vennlighet forskjellig mellom belysningsbetingelsene?
3. Hvordan påvirket belysningsbetingelsen vurderingen av gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet?

Tre oppgavesett ble gjennomført i dette delområdet, fordelt på to stasjoner (Figur 67). Ved Stasjon 1 satt deltakerne i en bil i det sørgående, vestlige kjørefeltet og vurderte synligheten av små kritiske objekter på veibanen. Ved Stasjon 2 på gang- og sykkelvei vurderte deltakerne ansikters vennlighet, gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet. Resultatene er publisert i et fagfellevurdert tidsskrift (Durmus mfl., 2026).



Figur 67: Oversiktsbilde som viser posisjon for de ulike delene av eksperimentet, som ble utført både i vestlig kjørefelt (Stasjon 1) og på gang-sykkelvei (Stasjon 2).

3.4.2 Metode

Forsøksområde II

Forsøksområde II er et 120 meter langt forsøksfelt langs fylkesvei 235 med fartsgrense 70 km/h og en bredde på 7,7 meter. Forsøksstrekningen bestod av fire lysstolper med 30 meters avstand, noe som gir en samlet testlengde på 120 meter. Veien er klassifisert i belysningsklasse M2 i henhold til den europeiske standarden for veilys (EN 13201). Den overordnede plasseringen av forsøksområdene er vist i Figur 44, mens Stasjon 1 og 2 er vist i Figur 67.

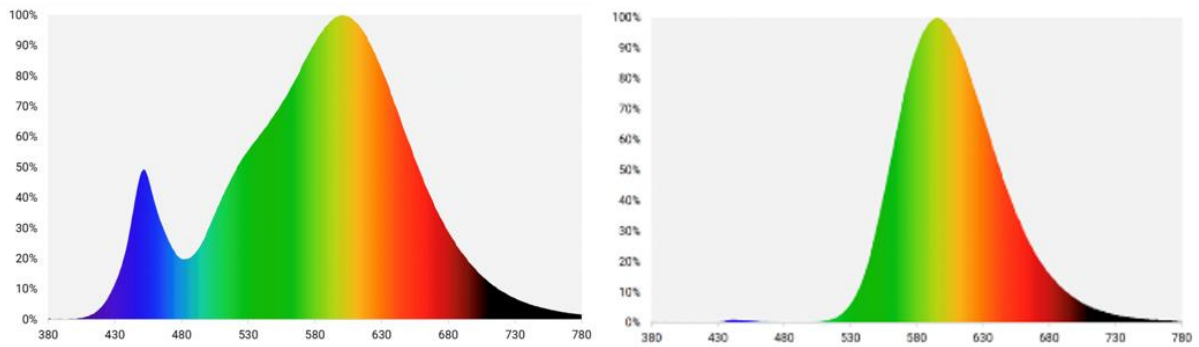
Belysning i forsøksområde II

Den opprinnelige belysningen på stedet bestod av tilsvarende hvite LED-armaturer som i forsøksområde I, med en fargetemperatur på 4000 K. Fire alternative Evolume-armaturer fra Fagerhult (Figur 68) ble installert på fire eksisterende lyktestolper. Evolume-armaturene ble montert under de eksisterende armaturene, 8 meter over bakken, på en 0,5 meter lang utliggerarm. Lysmastene hadde en avstand på 30 meter. De eksisterende armaturene ble slått av under forsøket. Armaturen og produsentens spektralfordelinger er vist i Figur 69 og Figur 70, og de tekniske spesifikasjonene er oppsummert i Tabell 7.

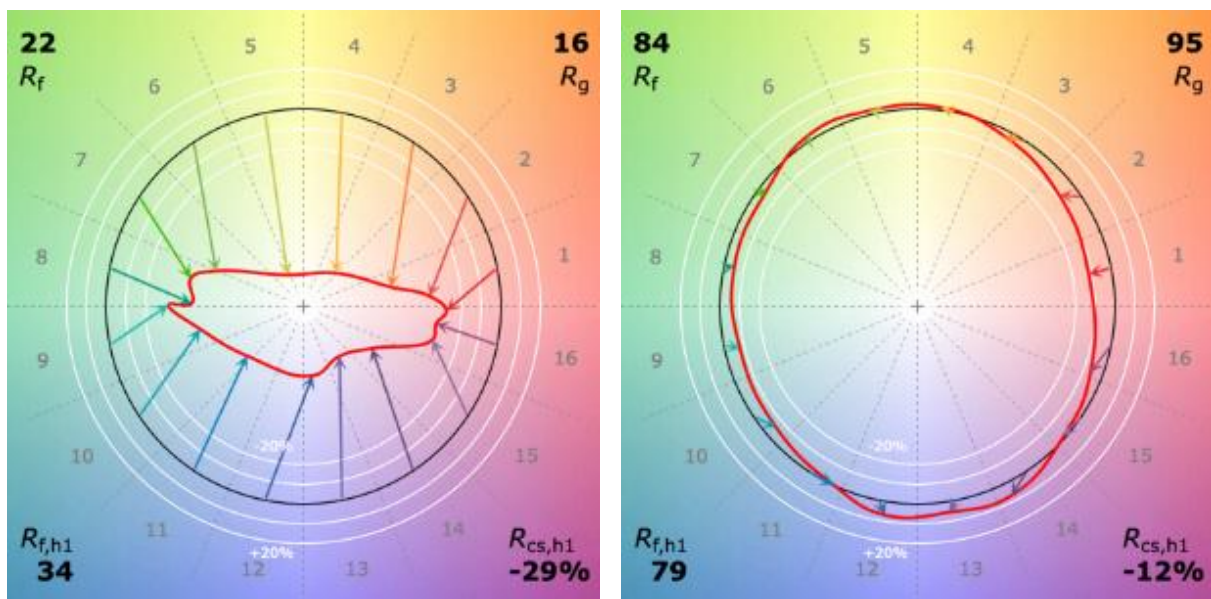


Figur 68: Evolume fra Fagerhult.

De alternative armaturene var utstyrt med to diodesett: (i) en fosforkonvertert PC-amber-LED med en nominell lysstrøm på 3400 lm og (ii) en hvit LED med 3000 K og en nominell lysstrøm på 8400 lm. PC-amber benytter en blåemitterende LED-brikke med fosforbelegg for å generere amberfarget lys, der det blå lyset i stor grad filtreres bort. Teknologien har høyere effektivitet og bedre fargegjengivelse enn tradisjonelle amber-LED-er, men lavere lysutbytte enn den hvite LED-en i armaturen. For å sikre tilnærmet like fotopiske lysnivåer i forsøket ble det hvite diodesettet derfor dimmet til nivået fra PC-amber-settet.



Figur 69: Relativ spektral effektfordeling for 3000 K til venstre og PC Amber til høyre, slik den er oppgitt av produsenten.



Figur 70: ANSI/IES TM-30-fargegjengivelseskarakteristikk for PC-amber (venstre) og 3000 K hvit (høyre).

Tabell 7: Teknisk spesifisering for armaturkonfigurasjonene som ble brukt i forsøksområde II, Delstudie 4.

Armaturtype	1. Hvit	2. Amber
CCT (K)	3000	1800
CRI R _a	81	40
Lysstrøm (lm)	8400	3400
Lys-fordeling	AGC-L4	AGC-L4
Effekt (W)	29,2	56
Stolpe-avstand (m)	30	30
Monterings-høyde(m)	8	8
Utligger-arm (cm)	50	50
Avstand fra vei (cm)	50	50
Avskjerming	Nei	Nei

Forsøksnivåene ble fastsatt med utgangspunkt i det høyest tilgjengelige lysutbyttet fra PC-amber-diodene og var lavere enn kravene til M2. Delstudien var derfor utformet som en

sammenligning av de to belysningsbetingelsene, ikke som en vurdering av standardoppfyllelse.

Begge diodesettene brukte samme optikk og linse, slik at den nominelle lysfordelingen på veien var den samme. De ble kalibrert til å gi tilnærmet like fotopiske lysnivåer på både kjørebane og gang- og sykkelvei, målt som illuminans og luminans. Små forskjeller mellom betingelsene bestod, slik Tabell 8 viser. Betingelsene skilte seg dessuten i CCT, SPD og CRI (Tabell 7). Eventuelle forskjeller i forsøksresultatene kan derfor ikke tilskrives CCT alene.

Tabell 8: Luminans for veibanen, måleobjektene og bakgrunnen under PC-amber LED og 3000 K hvit LED. Nærlyset var på, men hadde ingen målbar innvirkning på måleobjektens luminans ved 90 meter

Måleområde	Luminans	PC amber LED	3000 K hvit LED
Veibane	Gjennomsnittlig	0,16 cd/m ²	0,15 cd/m ²
	Minimum	0,05 cd/m ²	0,07 cd/m ²
	Maksimum	0,83 cd/m ²	0,96 cd/m ²
Måleobjekt	Grått objekt	0,19 cd/m ²	0,19 cd/m ²
	Bakgrunn (grått objekt)	0,40 cd/m ²	0,36 cd/m ²
	Grønt objekt	0,11 cd/m ²	0,12 cd/m ²
	Bakgrunn (grønt objekt)	0,46 cd/m ²	0,43 cd/m ²
	Brunt objekt	0,10 cd/m ²	0,09 cd/m ²
	Bakgrunn (brunt objekt)	0,34 cd/m ²	0,31 cd/m ²
	Gjennomsnittlig bakgrunns luminans	0,45 cd/m ²	0,45 cd/m ²

Deltakere og forsøksdesign

Det deltok 32 personer i studien, både kvinner og menn i alderen 16–70 år. Deltakerne ble rekruttert via sosiale medier og e-postlister ved Universitetet i Sørøst-Norge (USN). De fleste av deltakerne hadde gyldig førerkort, og alle ble vurdert til å ha tilstrekkelig syn for å kunne delta i forsøket. Informert samtykke ble innhentet før oppstart. Før testingen startet, fikk deltakerne tid til å tilpasse synet til lysforholdene på stedet. Deretter gjennomførte de vurderinger under to ulike armaturtyper i tilfeldig rekkefølge. Etter fullført deltakelse mottok deltakerne et gavekort som kompensasjon.

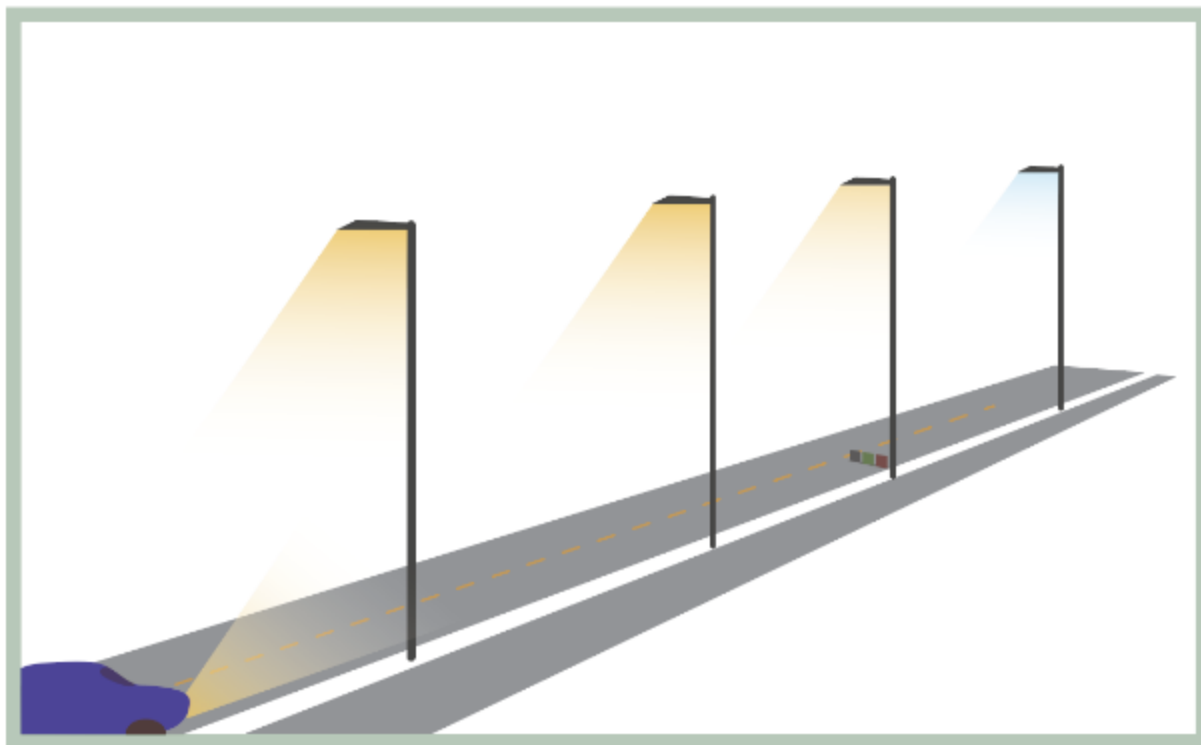
Stasjon 1: vurdering av små kritiske objekter

For å undersøke føreres vurdering av synligheten til små kritiske objekter på veibanen ble det benyttet flate objekter i tre farger: grå, grønn og brun. Objektene bestod av 20 × 20 cm store kryssfinerplater og var mattmalt i grått (N 5.0; 20 % reflektans), grønt (S5020-G; 30 % reflektans) og brunt (S6010-Y70R; 13 % reflektans). Objektene ble plassert på veibanen under den fjerde lysmasten, 90 meter fra en stasjonær bil. Avstanden ble valgt i samsvar med anbefalingene for STV og for å begrense påvirkningen fra bilens frontlys.

Deltakerne satt i forsetene på en Subaru Forester Hybrid, 2020-modell, med nærlyset slått på. Nærlyset bestod av PC-hvite LED-lyskilder med en CCT på omtrent 6400 K. Luminansmålinger med og uten nærlys viste at billyset ikke bidro til luminansen på måleobjektene ved den aktuelle avstanden. Vurderingene ble gjennomført når det ikke kom møtende kjøretøy, for å redusere påvirkningen fra blinding.

Synligheten ble vurdert på et sekstrinns ordinal skala fra 0 til 5, der 0 tilsvarte «ikke synlig» og 5 «svært godt synlig». Høyere verdi indikerte dermed bedre synlighet. Deltakerne hadde ingen

tidsbegrensning, men svartiden var minst to sekunder. Rekkefølgen på de to belysningsbetingelsene og de to forsøksstasjonene ble randomisert. Artikkelen oppgir ikke om rekkefølgen på de tre måleobjektene ble randomisert, eller om deltakerne som satt i de to forsetene, avga vurderingene uavhengig av hverandre. Forsøksoppsettet er vist i Figur 71.



Figur 71: Tre plater på 20x20 cm malt i grå, grønn og brun med 50% reflektans ble brukt som «kritisk objekt» for visuell test. Platene ble plassert 60 meter foran bilen der frontlyktene var tent.

Stasjon 2: vurdering av ansikter, gangareal og farger

Stasjon 2 er i samme område som Stasjon 1, men på gang- og sykkelvei (Figur 67). Her vurderte deltakerne hvor vennlige ansikter fremstod, gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet.

For å undersøke fotgjengeres vurdering av ansikter ble det gjennomført en oppgave basert på bilder fra FACES-databasen (Ebner mfl. 2010). Databasen inneholder ansikter med ulike emosjonelle uttrykk, kjønn og aldersgrupper. I denne studien ble 18 bilder benyttet, fordelt på tre uttrykk: sint, nøytral og glad (Figur 72). Bildene ble fargeprintet på matte, hvite A4-ark. Hvert ansikt ble vist i ett sekund på 10 meters avstand i randomisert rekkefølge. Deltakerne valgte mellom svaralternativene «vennlig» og «uvennlig». Prosedyren ble gjentatt under begge belysningsbetingelsene. Oppgaven målte vurdering av vennlighet, ikke identitetsgjenkjenning eller korrekt klassifisering av ansiktsuttrykk.

Deltakerne vurderte også gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet under hver belysningsbetingelse (Figur 73). Det ble ikke satt ut et separat målobjekt på gang- og sykkelvei.



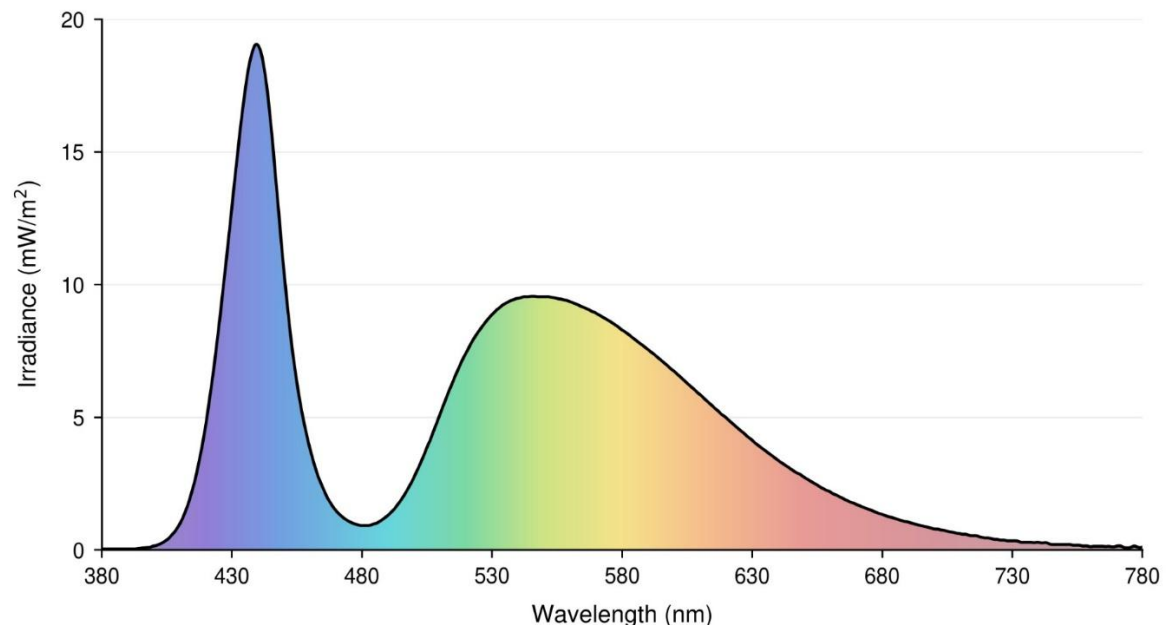
Figur 72: Bilder fra FACES-datasettet, med ansiktsuttrykkene sinne (øverste rad), nøytral (midterste rad) og glad (nederste rad) hos unge, middelaldrende og eldre kvinner og menn.



Figur 73: Luminansmålinger av veibanen og de kritiske objektene ble utført med et LMK-luminanskamera under begge lysinnstillingene.

Lysmålinger

De spektrale målingene av bilens frontlykter er presentert i Figur 74. Den målte korrelerte fargetemperaturen (CCT) for frontlyktene var 6413 K. Verdien gjelder forsøksbilen og dette måleoppsettet og kan ikke betraktes som representativ for alle moderne billykter.



Figur 74: Målt spektral effektfordeling for frontlyktene på forsøksbilen.

Før forsøkene ble det utført beregninger av forventet lysnivå på veibane og gang- og sykkelveien for å vurdere den nye armaturens samsvar med gjeldende krav til veilys. Beregningene viste at armaturen, som var delt i to sett med LED-brikker, ga et lysutbytte lavere enn det som kreves for denne veitypen. For formålet med forsøket ble disse lavere lysnivåene likevel akseptert. Lysutbyttet fra 3000 K-LED-en ble derfor justert til å tilsvare det lavere lysnivået fra PC-amber-LED-en.

3.4.3 Analyse

Analysene ble gjennomført separat for de tre oppgavene: vurdering av små kritiske objekter på veibanen, vurdering av ansikters vennlighet på gang- og sykkelveien og vurdering av gangarealets og fargenes synlighet. Beskrivelsen av gjennomsnittlig panelvurdering (Mean Panel Rating, MPR) og VL (visibility level) nedenfor gjelder bare de små kritiske objektene på veibanen.

Vurdering av små kritiske objekter på vei

Deltakernes vurderinger av synlighet, ofte omtalt som mean panel rating (MPR) i litteraturen om veilys (Ménard & Cariou 1994; Janoff 1992; Bacelar 2005), bygger vanligvis på en 5-punkts Likert-skala utviklet av Janoff mfl. (1989). I denne studien ble det brukt en tilsvarende ordinal 5-punkts skala (Bremond mfl. 2011; Chenani mfl. 2016) for å vurdere synligheten av de små kritiske objektene (small target visibility, STV). Deltakerne hadde ingen tidsbegrensning når de svarte. Vurderingene ble analysert med en kumulativ lenket blandet modell, som tok hensyn

til at hver deltaker ga flere vurderinger. Belysningsbetingelse, objektets fargeegenskap og beregnet VL inngikk som forklaringsvariabler, mens deltaker inngikk som tilfeldig effekt.

Visibility level (VL) er et mål på hvor godt et objekt kan sees mot bakgrunnen, basert på kontrast, lyshet og observatørens synsforhold. Målet brukes ofte i forskning på vei- og utendørsbelysning. VL angir hvor lett et objekt kan oppfattes, og bygger på en beregning av sannsynligheten for at en observatør kan oppdage objektet (Adrian, 1989). Verdien kan påvirkes blant annet av observatørens alder, observasjonstid, objektets størrelse i synsfeltet, objektets luminans, bakgrunnens luminans, kontrastretning og adaptasjonsluminans. I denne studien ble objekt- og bakgrunns luminans brukt for å beregne VL for hvert objekt og for hver deltaker.

Vurdering av ansiktets vennlighet på gang- og sykkel vei

Vurderingene av om ansiktene fremstod som vennlige eller uvennlige, ble analysert med en logistisk blandet modell. Belysningsbetingelse, ansiktsuttrykk, ansiktets aldersgruppe og kjønn inngikk som forklaringsvariabler. Samspillet mellom belysningsbetingelse og ansiktsuttrykk ble også undersøkt. Deltaker og ansiktsidentitet inngikk som kryssede tilfeldige effekter, slik at modellen tok hensyn både til gjentatte vurderinger fra samme deltaker og til systematiske forskjeller mellom ansiktsbildene. Hovedtolkningen bygger på resultater etter Holm-korreksjon for multiple sammenligninger.

Vurdering av gangareal og farger på pang- og sykkelvei

Gangarealets generelle synlighet og fargenes synlighet ble analysert i separate ordinale blandede modeller med deltaker som tilfeldig effekt. Belysningsbetingelse inngikk i begge modellene, mens deltakernes kjønn også inngikk i modellen for fargesynlighet. Vurderingen av gangarealet gjaldt synligheten av gang- og sykkelvei og de nærmeste omgivelsene som helhet, ikke deltakernes evne til å oppdage et bestemt objekt eller en hindring.

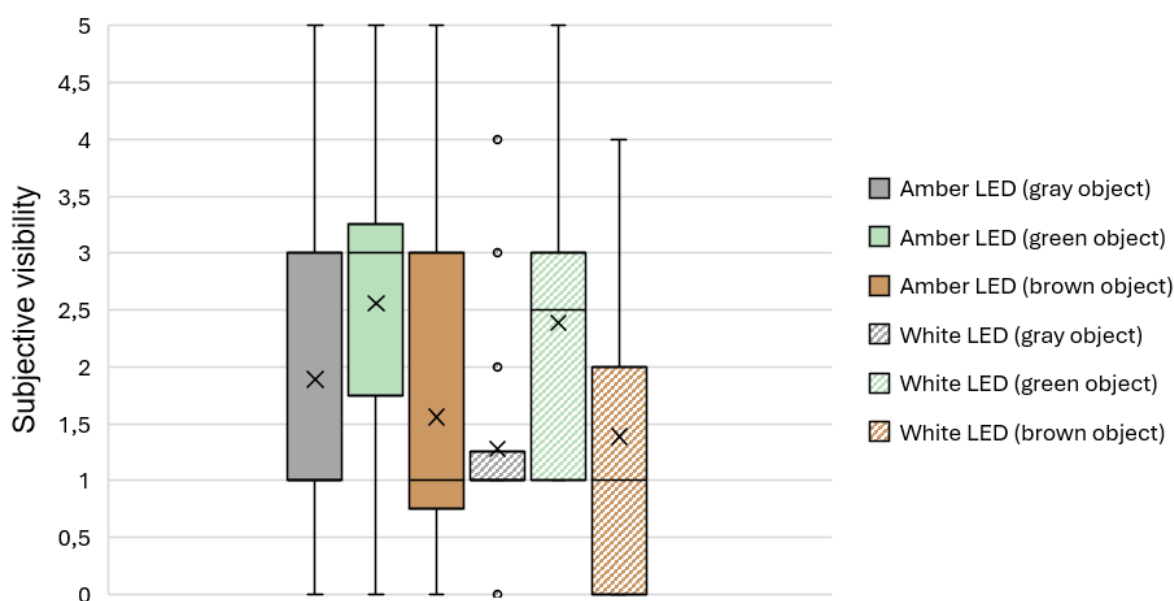
3.4.4 Resultater

Bilføreres vurdering av synligheten til små kritiske objekter

Høyere beregnet VL var signifikant forbundet med høyere subjektiv synlighetsvurdering. Jo høyere beregnet synlighet et objekt hadde, desto større var sannsynligheten for at deltakerne vurderte det som godt synlig.

Objektens fargeegenskap hadde også signifikant betydning for vurderingene. Deskriptivt fikk det grønne objektet de høyeste vurderingene under begge belysningsbetingelsene (Figur 75). Medianen var 3 under PC-amber og 2,5 under hvitt LED-lys, mens medianen for de grå og brune objektene var 1 under begge betingelsene. Derimot ble det ikke påvist en signifikant hovedforskjell mellom PC-amber og hvitt LED-lys ($p = 0,209$). Vurderingene var deskriptivt noe høyere under PC-amber, men denne forskjellen var ikke statistisk sikker. Fravær av en påvist forskjell dokumenterer imidlertid ikke at betingelsene er ekvivalente under andre lysnivåer, avstander eller kjøreforhold.

Samlet tyder resultatene på at objektets beregnede synlighet og fargeegenskap forklarte mer av variasjonen i vurderingene enn forskjellen mellom de to belysningsbetingelsene.



Figur 75: Deltakernes vurdering av hvor synlige tre målobjekter (grått, grønt og brunt) var på kjørebane under amberfarget LED-lys (ensfargede bokser) og hvitt LED-lys (stripede bokser). Den horisontale streken i boksen viser medianen, mens krysset viser gjennomsnittet. Boksen viser området der den midterste halvparten av vurderingene ligger. De tynne linjene over og under boksen viser de øvrige vurderingene, mens uvanlig høye eller lave enkeltverdier vises som punkter.

Fotgjengeres vurdering av ansiktets vennlighet

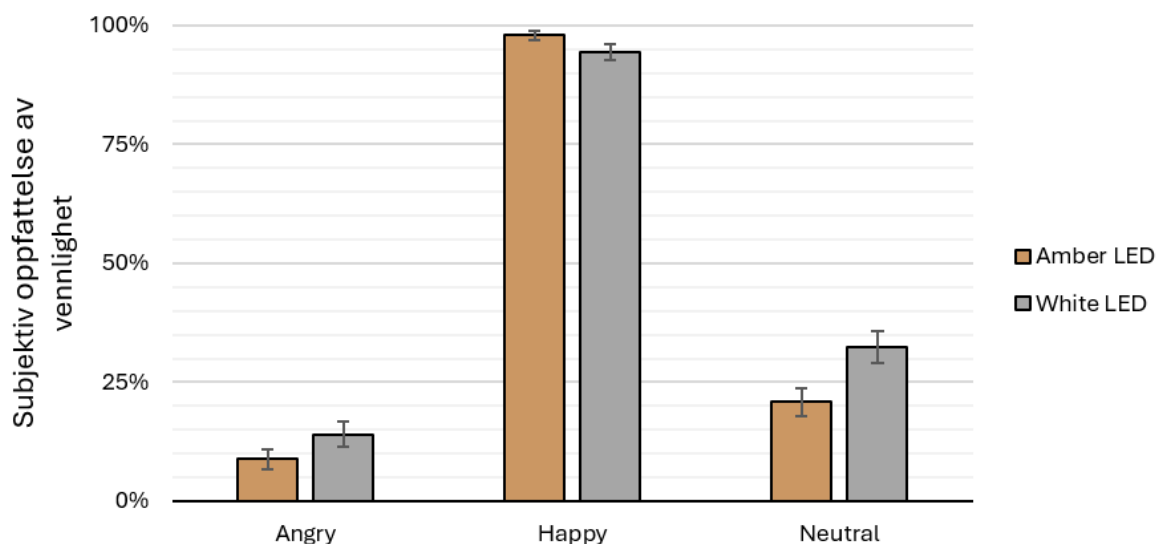
Resultatene viste at belsningsbetingelsen alene ikke hadde noen statistisk sikker betydning for om ansiktene ble vurdert som vennlige eller uvennlige (Figur 76). Når alle ansiktsuttrykkene ble sett under ett, ble ansiktene dermed ikke systematisk vurdert som mer eller mindre vennlige under PC-amber enn under hvitt lys. Det ble heller ikke påvist statistisk sikre effekter av ansiktets alder eller kjønn.

Analysen viste imidlertid et signifikant samspill mellom belsning og ansiktsuttrykk før det ble korrigert for multiple tester (Holm-korreksjonen). Dette betyr at den mulige virkningen av belsningen var forskjellig for de tre ansiktsuttrykkene. For nøytrale ansikter forekom vurderingen «uvennlig» oftere under PC-amber enn under hvitt lys.

Som forventet hadde selve ansiktsuttrykket klart størst betydning for vurderingen av vennlighet. Sinte ansikter ble hovedsakelig vurdert som uvennlige, glade ansikter som vennlige, mens nøytrale ansikter lå mellom disse ytterpunktene. Fordi fem ulike effekter ble testet i den samme modellen, ble resultatene korrigert med Holm-metoden for å redusere risikoen for tilfeldige funn. Etter denne korreksjonen var bare effekten av ansiktsuttrykk fortsatt statistisk signifikant. Samspillet mellom belsning og ansiktsuttrykk var ikke lenger signifikant. Forskjellen som ble observert for nøytrale ansikter, bør derfor forstås som en mulig tendens som må undersøkes videre, og ikke som sikker dokumentasjon på at PC-amber påvirker vurderingen av nøytrale ansikter.

Samlet sett ble det ikke påvist en robust forskjell mellom PC-amber og hvitt LED-lys i vurderingen av ansiktets vennlighet. Dette betyr likevel ikke at de to belsningsbetingelsene er dokumentert som likeverdige. Det begrensede antallet deltakere reduserte muligheten for å oppdage mindre forskjeller, særlig forskjeller knyttet til bestemte ansiktsuttrykk. Studien benyttet dessuten statiske, trykte ansiktsbilder som ble vist i ett sekund på 10 meters avstand. Resultatene gjelder derfor denne konkrete vurderingsoppgaven og kan ikke uten videre

overføres til møter med personer i bevegelse eller tolkes som direkte dokumentasjon på opplevd trygghet eller trafiksikkerhet.



Figur 76: Fordeling av deltakernes vurderinger av ansiktets vennlighet under PC-amber og hvitt LED-lys, fordelt etter ansiktsuttrykk.

Fotgjengeres vurdering av gangarealets og fargenes synlighet

Resultatene viste at deltakerne gjennomgående vurderte gangarealet som mer synlig under hvitt LED-lys enn under PC-amber. Det var samtidig store forskjeller mellom deltakerne. Lystypen hadde dermed betydning, men individuelle forskjeller forklarte en stor del av variasjonen i svarene.

Forskjellen mellom lysforholdene var tydeligere for vurderingen av farger. Deltakerne vurderte fargefeltene som vesentlig mer synlige under hvitt LED-lys enn under PC-amber. Analysen viste også at mannlige deltakere i dette utvalget gjennomgående ga lavere vurderinger av fargesynligheten enn kvinnelige deltakere. Resultatet gjelder imidlertid deltakerne i denne studien og bør ikke tolkes som en generell forskjell mellom kvinner og menn uten at det bekreftes i større studier.

3.4.5 Diskusjon

Studien sammenlignet PC-amber og hvitt LED-veilys ved tilnærmet sammenlignbare fotopiske lysnivåer under reelle feltforhold. Resultatene viser at betydningen av belysningen var avhengig av synsoppgaven. Det ble ikke påvist én generell fordel ved den ene løsningen; måleobjektets egenskaper, kontrastforhold og individuelle forskjeller mellom deltakerne hadde også betydning.

For de små kritiske objektene på veibanen ble det ikke påvist en generell forskjell mellom PC-amber og hvitt LED-lys. Beregnet synlighetsnivå og objektets fargeegenskap hadde større betydning for vurderingene. Dette støtter tidligere forskning som viser at CCT eller spektral sammensetning alene ikke gir en entydig prediksjon av synlighet, og at virkningen avhenger av blant annet synsoppgave, kontrast og værforhold (Hu mfl. 2022; Davidovic mfl. 2019; Park mfl. 2023). Samtidig fikk det grønne objektet de høyeste deskriptive vurderingene, noe som viser at objektets spektrale og luminansmessige egenskaper fortsatt hadde betydning.

Resultatet bør derfor ikke tolkes som at lysmengde alene var avgjørende, men at den samlede kontrasten mellom måleobjektet og bakgrunnen var viktig. Fordi belysningsbetingelsene samtidig var forskjellige med hensyn til CCT, spektral effektfordeling og fargegjengivelse, kan bidraget fra de enkelte lysparametrene ikke isoleres.

For ansiktsoppgaven ble det heller ikke påvist en robust forskjell mellom belysningsbetingelsene. Ansiktsuttrykket hadde vesentlig større betydning for vurderingen enn belysningen. Tendensen til at nøytrale ansikter oftere ble vurdert som uvennlige under PC-amber, var ikke statistisk sikker etter korreksjonen og kan skyldes både begrenset statistisk styrke og at nøytrale ansikter er mer tvetydige enn sinte og glade ansikter. Oppgaven målte dessuten vurdering av vennlighet, ikke korrekt identifikasjon av ansiktsuttrykk eller opplevd trygghet. Bruken av statiske bilder, kort eksponeringstid og én observasjonsavstand begrenser også overførbarheten til virkelige møter med personer i bevegelse.

Gangarealet og fargefeltene ble vurdert som mer synlige under hvitt lys. For gangarealet var det samtidig stor variasjon mellom deltakerne, og vurderingen gjaldt området som helhet, ikke deteksjon av hindringer eller sikker ferdsel. Det kan derfor ikke konkluderes med at den høyere vurderte synligheten nødvendigvis ga bedre trafiksikkerhet. Forskjellen var tydeligere for fargene, noe som er forventet fordi det hvite lyset hadde et bredere spektrum og bedre fargegjengivelse enn PC-amber. Studiens bidrag er å dokumentere at denne forskjellen også var tydelig under reelle feltforhold. Den observerte kjønnsforskjellen i vurderingen av farger gjelder dette utvalget og bør undersøkes i større studier.

PC-amber inneholder mindre kortbølget lys og kan derfor være relevant i områder der påvirkningen på nattmiljøet skal begrenses. Den økologiske fordelene ble imidlertid ikke målt direkte i denne delstudien, men antakelsene er basert på spektrale egenskaper og tidligere forskning. PC-amber har dessuten lavere lyseffektivitet enn hvite LED-løsninger og kan fortsatt inneholde noe blått lys. Dersom lysfluksen må økes for å oppfylle belysningskrav, kan deler av energi- og miljøgevinsten reduseres. Valg av løsning bør derfor ikke baseres på CCT eller betegnelsen «amber» alene, men på en samlet vurdering av spektral effektfordeling, lysnivå, lysfordeling, synsoppgaver, trafikkforhold og økologisk sårbarhet.

Studien var begrenset til en stasjonær bil, én observasjonsavstand, én vei- og armaturgeometri og to komplette belysningsspektre. Betingelsene skilte seg samtidig i CCT, spektral sammensetning og fargegjengivelse, og effektene kan derfor ikke tilskrives én enkelt lysparameter. Utvalget var forholdsvis begrenset, standardiserte synstester ble ikke gjennomført, og ansiktsoppgaven benyttet statiske bilder. Studien omfattet heller ikke livsløpsanalyser, økonomiske vurderinger eller direkte økologiske målinger. Videre forskning bør derfor undersøke flere lysnivåer, spektre, avstander og værforhold, større og aldersstratifiserte utvalg samt dynamiske trafikk situasjoner. Samlet støtter resultatene en kontekstbasert tilnærming der visuelle behov, energieffektivitet og miljøhensyn vurderes i sammenheng.

Del III: Anbefalte tiltak og videre kunnskapsbehov

1 Tiltak som ivaretar både naturmangfold og trafikksikkerhet

1.1 Tiltak for å redusere påvirkningen på insekter

Det er godt dokumentert at kunstig lys om natten kan ha negative effekter på både insekter og naturen, samtidig som belysning har viktige funksjoner for trafikksikkerhet og menneskelige aktiviteter. Både forskning publisert i fagfellelevurderte tidsskrifter og resultater i denne rapporten viser at problemstillingene rundt dette temaet er komplekse. Lys påvirker ikke isolert, men i samspill med mange andre faktorer. Effektene av kunstig lys avhenger dessuten både av lyskildens egenskaper, den romlige konteksten i forhold til landskapet rundt og den enkelte artens biologi, atferd og måten den oppfatter lys. Store kunnskapshull knyttet til insekters respons på lys og de faktiske økologiske konsekvensene under nordiske forhold bidrar ytterligere til denne kompleksiteten.

Per i dag finnes det ingen offisiell veileder for miljøvennlig belysning i Norge, men en sammenstilling av utvalgte tiltak finnes blant annet hos Fjeldaas & Wåseth (2019) og Bayr mfl. (2021). På internasjonalt nivå kom det i 2023 en egen veileder fra EU-kommisjonen med anbefalinger for tiltak som kan redusere miljøpåvirkningen av kunstig lys (European Commission 2023). Mange av anbefalingene der bygger på de fem hovedprinsippene fra Dark Sky International. Opprinnelig ble disse prinsippene utarbeidet først og fremst med tanke på å begrense den astronomiske lysforurensingen, og det er derfor knyttet noe usikkerhet til hvor effektive disse er i forbindelse med den økologiske lysforurensingen (Owens mfl. 2024). Selv om det har blitt gjennomført flere studier de siste årene som undersøker effekten av ulike typer lysdesign og teknologiske løsninger på insekter, er resultatene fra disse til dels sprikende – blant annet fordi studiene fokuserer på ulike insektgrupper og undersøker lysarmaturer under veldig forskjellige forhold, noe som kan gjøre det vanskelig å sammenligne resultater på tvers av studiene.

Owens mfl. (2024) har nylig gjennomført en kritisk gjennomgang av den eksisterende forskningen knyttet til de fem prinsippene fra Dark Sky International. Studien viser at effektiviteten av tiltakenes effekter på insektene varierer i stor grad – med uttak av å unngå belysning der det ikke er nødvendig som, ikke uventet, ansees som det mest effektive tiltaket.

Unngå belysning helt eller delvis

Det enkleste og mest effektive tiltaket for å redusere negative effekter av kunstig lys er å unngå bruk av belysning der det ikke er nødvendig. Dette er et tiltak som er relativt enkelt å gjennomføre for privatpersoner på egen eiendom, men som kan være mer utfordrende på offentlig grunn der det stilles strengere krav til belysning.

I mange tilfeller vil det være krav til belysning for å ivareta trafikksikkerheten, og fullstendig fjerning av veilys er derfor ikke alltid hensiktsmessig. Det vil være viktig at Statens vegvesen går grundig gjennom de eksisterende veilyskravene og forsikrer seg om at det bare er veilyskrav der hvor lyset har en vesentlig ulykkesreducerende effekt og der ikke andre tiltak vil kunne gjøre mye av samme nytten (Statens vegvesen, 2025b).

Et mulig kompromiss er å begrense belysningen til deler av døgnet med høy trafikk, og slå lyset av midt på natten når trafikken er lav. Som et alternativ til nattslukking kan også sesonglukking vurderes, der veilyset slås av i sommerhalvåret, når påvirkningen på insekter antas å være størst, mens belysningen opprettholdes i den mørke årstiden.

Statens vegvesen gjennomførte i 2024 to pilotprosjekter for å undersøke effekten av henholdsvis (a) permanent fjerning av veilys og (b) nattslukking av veilys (Statens vegvesen 2025a, 2025b). I prosjektet med fjerning av belysning ble veilys langs to korte strekninger (om lag 2 km) i henholdsvis Vestfold og på Vestlandet fjernet permanent. Strekningene ble valgt fordi de lå utenfor tettsteder og i områder der sannsynligheten for negativ påvirkning på naturmangfoldet ble vurdert som høy. Det andre prosjektet Statens vegvesen gjennomførte i 2024 omfattet nattslukking av veilys langs fire utvalgte teststrekninger, der lyset var slått av i perioden 2. april til 15. oktober mellom kl. 00 og 05 (Statens vegvesen 2025b).

Statens vegvesen peker på en rekke supplerende tiltak som kan bidra til å ivareta trafikksikkerheten ved helt eller delvis slukking av veilys. Dette inkluderer blant annet bruk av antiblendingssystemer i kjøretøy, økt bruk av reflektorer langs veikanten, forbedret veioppmerking og tiltak for å øke bruken av refleks blant myke trafikanter (Statens vegvesen 2025b). Tilbakemeldingene på begge prosjektene har stort sett vært positive, men erfaringene tyder på at nattslukking har et noe større aksept i befolkningen enn fjerning av lys (Statens vegvesen 2025b).

Ved siden av nattslukking og sesonglukking finnes også adaptiv belysning, der lyset kun aktiveres i korte tidsrom når trafikanter passerer. Slike løsninger er allerede tatt i bruk. Hvor lenge belysningen er på vil avhenge av trafikkmengden og vil dermed være variabel og til dels uforutsigbar. Ved høy trafikk kan lyset i praksis bli stående på nesten kontinuerlig, mens ved lave trafikkmengder vil systemet kunne gi lange sammenhengende mørkeperioder.

Kunnskapen om hvor effektive slike avgrensede mørkeperioder er som tiltak, er fortsatt begrenset. Noen studier indikerer at for eksempel nattslukking alene ikke reduserer de negative effektene på insektene på kveldstid og i første halvdel av natten der insektaktiviteten vanligvis er størst, men at det i det minste kan gi insekter som har blitt fanget i lyset en mulighet til å komme seg videre (Hao mfl. 2023, Kasai mfl. 2024). Videre kan nattslukking føre til unaturlige lysoverganger og en studie fra Heinen mfl. (2023) har dokumentert at nattslukking faktisk virket mer negativ på bladlus enn gjennomgående belysning hele natten. Hvordan andre insektarter og -grupper påvirkes av denne effekten er uvisst.

Lavere lysnivå og dimming

Der kunstig belysning ikke kan fjernes helt, anbefales det å holde lysnivået så lavt som mulig, og ikke belyse sterkere enn det som er nødvendig for å ivareta trafikksikkerheten. Overbelysning bidrar både til økt lysforurensning og til sterkere miljøpåvirkning, uten nødvendigvis å gi tilsvarende gevinster for trafikksikkerheten.

Et lavt lysnivå kan med fordel kombineres med lysstyringssystemer, der belysningen tilpasses faktisk behov gjennom døgnet. Dette kan innebære at lyset dimmes i perioder med lite trafikk,

eller aktiveres kun ved behov, for eksempel ved bevegelsesdeteksjon. Slike systemer gir mulighet for betydelige reduksjoner i samlet lysmengde og eksponeringstid, og kan derfor bidra til å begrense negative effekter på insekter.

Studier har vist at dimming kan redusere antall insekter som tiltrekkes lyset betydelig, selv om effekten varierer mellom insektgrupper og avhenger av både lysstyrke og lyskildens spektralsammensetning (Owens mfl. 2024). Bolliger mfl. (2020) viste for eksempel at trafikkregulert dimming av LED reduserte den totale insektfangsten betraktelig, med særlig sterke reduksjoner for akvatiske insektgrupper som døgnfluer og vårfluer. En nyere studie av van Koppenhagen (2025) bekrefter den samme avbøtende effekten for både dimming og bedre skjerming. Resultatene indikerer at både kortere eksponeringstid og lavere lysintensitet har betydning for insektenes respons.

Overførbarheten av slike resultater til nordiske forhold er imidlertid usikre, særlig med henblikk på store forskjeller i de naturlige lysforholdene gjennom vekstsesongen. Det er derfor behov for flere feltstudier som undersøker hvordan ulike grader av dimming påvirker insektaktivitet og -samfunn under reelle forhold langs norske veier.

Redusert andel blått lys, skjerming og plassering

Et annet sentralt tiltak kan være å redusere andelen blått lys i veilyset. Blått lys er særlig attraktivt for mange insektarter, og ved nyinstallering anbefales derfor LED-armaturer med lavere fargetemperatur (3000 K). Redusert blåandel kan begrense insektenes tiltrekning til lyskildene og dermed redusere både støvsuger- og barriereeffekter. Hvor stort denne effekten i praksis er, er imidlertid fortsatt uklart, og det foreligger flere studier der reduksjon av fargetemperatur alene ikke viste noe tydelig effekt (Hao mfl. 2023, van Koppenhagen mfl. 2024, Bolliger mfl. 2022). Effekten var imidlertid målbar når tiltaket ble kombinert med andre tiltak som redusert lysnivå og bedre skjerming. Dårlig skjermet eller oppadrettet lys bidrar til økt lysforurensning og påvirker særlig flygende insekter og arter som oppholder seg i vegetasjon og trekroner, mens nedoverrettet lys i større grad påvirker bakkelevende insekter (Owens & Lewis 2018; Schroer mfl. 2021, Fabian mfl. 2024). Bruk av avblendede armaturer som hindrer opp- og baklys, kombinert med riktig mastplassering og begrenset mastehøyde, kan derfor redusere lysets rekkevidde og synlighet betydelig. Tiltaket har i flere studier vist seg til å være effektive for flygende insekter (Dietenberger mfl. 2024, Bolliger mfl. 2022), men ikke bakkelevende arter (van Koppenhagen mfl. 2024).

I sårbare områder, som langs vassdrag og i viktige leveområder for pollinerende insekter, bør veilyss plasseres så langt fra leveområdene som mulig, eller unngås der dette ikke er i konflikt med trafiksikkerheten (Perkin mfl. 2014; Schroer mfl. 2021). For akvatiske insekter er det også viktig å unngå kunstig polarisert lys fra veidekke og andre glatte flater, da dette kan føre til feilorientering og egglegging på tørre overflater (Szaz mfl. 2015; Mészáros mfl. 2021). Også barrierer som støyskjermer og vegetasjon kan bidra til å avskjerme lyset og redusere eksponeringen av nærliggende habitater.

Tidlig integrering av lys i arealplanleggingen

Mange av de negative effektene av kunstig lys på insekter og økosystemer kan i stor grad forebygges gjennom tidlig og bevisst integrering av belysning i arealplanleggingen. Når behovet for lys, type belysning og plassering vurderes tidlig i planprosesser, er handlingsrommet langt større enn dersom tiltak først vurderes i etterkant av utbygging eller ved oppgradering av eksisterende anlegg.

Tidlig planlegging gir mulighet til å identifisere sårbare naturtyper og -insektarter, økologiske forbindelser og nøkkelhabitat før beslutninger om belysning fattes. Dette kan for eksempel innebære å styre traséer, plassere teknisk infrastruktur på en måte som reduserer behovet for belysning, eller å etablere mørke korridorer og buffersoner der kunstig lys unngås. Slike løsninger er ofte vanskeligere og mer kostnadskrevenende å gjennomføre når veier og annen infrastruktur allerede er bygget.

Effektiv reduksjon av lysforurensning forutsetter helhetlige planer der belysning ses i sammenheng med landskap, naturmangfold, arealbruk og samfunnets behov (Fjeldaas & Wåseth 2019). I dag planlegges belysning ofte stykkevis, med fokus på enkeltprosjekter eller tekniske krav, uten at den samlede lysbelastningen i et område vurderes. Dette kan føre til en gradvis oppbygging av lysforurensning, selv om hvert enkelt tiltak isolert sett tilfredsstiller gjeldende normer.

For å kunne gjøre mer kunnskapsbaserte og helhetlige vurderinger i planfasen, er det også behov for bedre biologisk grunnlagskunnskap på lokalt nivå. Tidlig kartlegging av arter i områder som allerede er, eller vurderes, belyst bør også sterkere inngå som en del av planprosessen. Kunnskap om hvilke arter og funksjonelle grupper som faktisk forekommer lokalt, er en forutsetning for å kunne velge riktig type belysning og målrettede avbøtende tiltak.

1.2 Belysningstiltak for balansert synlighet, opplevd trygghet, trafiksikkerhet og økologiske hensyn

I de fire delstudiene ble alternative belysningsprinsipper implementert og undersøkt. Dette var løsninger som, gjennom lavere lysfluks, varmere spektral sammensetning og økt avskjerming, hadde som mål å redusere negativ påvirkning på naturmiljøet, særlig knyttet til lysforurensning og nattaktive arter. For at slike tiltak skal være relevante i praksis, må de begrense uønsket lysutslipp og samtidig gi tilfredsstillende visuelle forhold på kjørebanelen og gang- og sykkelveien. Biologiske virkninger må undersøkes særskilt.

Avskjerming er et tiltak som kan prøves på en eksisterende armatur. I forsøket ble en modulær louvre montert på den alternative armaturen for å begrense lysutstrålingen mot terrenget (se Delstudie 3). Avskjermingen reduserte både horisontal og vertikal illuminans i terrenget og gjorde lyspunktet mindre fremtredende på avstand, selv om armaturen fortsatt var synlig. Dermed kan avskjerming begrense unødig lys i tilgrensende områder. Redusert synlighet av selve lyskilden kan også være relevant for flygende insekter, men det er ikke undersøkt om den aktuelle avskjermingen reduserte insektattraksjonen. **Avskjerming bør derfor vurderes når vei- og gatebelysning grenser til natur- og skogsområder.** At avskjermingen kan ettermonteres, gjør tiltaket aktuelt også for eksisterende anlegg. Før ettermontering må virkningen på belysningsnivå, jevnhet og blending på kjørebanelen og gang- og sykkelveien beregnes eller måles.

Det finnes flere måter å begrense lys i uønskede retninger på, blant annet gjennom avskjerming eller armaturer med optiske løsninger som reduserer baklys og sidelys. Slike løsninger kan benyttes både i nye og eksisterende anlegg. De ulike alternativene ble ikke sammenlignet i dette prosjektet. Ved valg av løsning bør kostnader og praktiske forhold vurderes opp mot effekten på lysfordelingen og muligheten for å redusere lysforurensning.

Ved videre utprøving av **lavere lysfluks** bør armaturens optikk, monteringshøyde og plassering dimensjoneres sammen. Lyset må fordeles slik at det ivaretar relevante synsoppgaver uten unødig spredning til terrenget. **En mer målrettet lysfordeling kan redusere belysningen av tilgrensende natur samtidig som lyset konsentreres om arealene der trafikantene trenger det. Dersom anlegget da kan dimensjoneres med lavere elektrisk effekt, kan også energibruken reduseres.** På gang- og sykkelveier bør horisontal belysningsstyrke suppleres med vurdering av vertikal og frontal belysning i ansiktshøyde, kontrast og blending. Riktig lysretning kan bidra til at ansikter blir synlige uten at hele området må belyses sterkere. Dette er relevant for vurderingen av hvordan ansikter er belyst (se Delstudie 1), men forsøkene dokumenterte ikke ansiktsgjenkjenning eller opplevd trygghet direkte. Store skifter mellom lyse og mørke arealer bør dessuten vurderes ut fra hvordan de påvirker synligheten langs ferdselsarealet.

Varmere lyskilder og PC-amber LED er aktuelle for videre utprøving der redusert utslipp av kortbølget lys er et viktig hensyn. En lavere andel kortbølget lys kan redusere slik eksponering i tilgrensende områder og er en grunn til å undersøke løsningen nær naturarealer. **Dette kan hos enkelte arter minske forstyrrelser av naturlige responser på lys hos dyr og lysstyrte prosesser hos planter, som vekst og blomstring.** Også varmt lys kan påvirke disse prosessene, så en mindre biologisk effekt kan ikke forutsettes for alle arter eller alle prosesser. Valget kan likevel ikke baseres på fargetemperatur alene. Det må også tas hensyn til spektralfordeling, fargegjengivelse, kontrast og hvilke synsoppgaver som skal utføres. I sammenligningen av PC-amber og hvitt LED-lys ble det ikke påvist en generell forskjell i vurderingen av de små objektene på veibanen, mens gangarealet og fargene ble vurdert som mer synlige under hvitt lys (se Delstudie 4).

Erfaringer og veiledning fra andre nordiske land kan være nyttige ved valg av løsninger, men må tilpasses det aktuelle stedet. Svensk og dansk veiledning viser hvordan flere av disse hensynene håndteres i planleggingen. Trafikverket beskriver bruk av nedadrettet lys, avskjermet optikk og nattdimming, samt ytterligere tiltak i følsomme områder. Den danske håndboken for veilys legger vekt på å begrense fjernvirkning og oppadrettet lys gjennom avskjerming, armaturplassering og tilpasset styring. Den anbefaler særskilt vurdering av lys nær naturområder og unntar konfliktområder som kryss og fotgjengerfelt fra ordinær nattdimming (Trafikverket 2025; Vejdirektoratet 2024.)

Tidsstyrt dimming eller nattslukking kan vurderes som egne utprøvingstiltak på egnede strekninger med lite trafikk; de ble ikke testet i de fire delstudiene. **Når behovet for belysning er lavt, kan redusert lysnivå eller kortere lystid spare energi og begrense både mengden lys og varigheten av lyseksponeringen i omgivelsene.** Ved snødekke ble det målt høyere lysnivåer og høyere vertikal illuminans (se Delstudie 1 og 3). Adaptiv styring som tar hensyn til snødekke og målte lysforhold, kan derfor være et aktuelt tiltak å prøve ut. Slik styring kan bidra til å unngå mer reflektert lys enn nødvendig i perioder med snødekke. **Redusert unødig belysning om vinteren kan også være relevant for arter som er aktive da, selv om insektaktiviteten ofte er lavere.** Før lysnivået eventuelt reduseres, må synlighet, kontrast og jevnhet kontrolleres under snøforhold. Slike tiltak krever dessuten vurdering av trafikkmengde, hastighet, konfliktpunkter, gang- og sykkeltrafikk og behovene til trafikanter med ulike synsforutsetninger. Også Statens vegvesens pilot med nattslukking viser at valg av strekning og trafiksikkerhetsvurdering må inngå i forsøksopplegget (Statens vegvesen, 2025b).

Samlet peker dette på fire aktuelle tiltak: avskjerming, mer målrettet lysfordeling med eventuelt lavere lysfluks, lyskilder med redusert andel kortbølget lys og tidsstyrt eller adaptiv dimming. Tiltakene må dimensjoneres og dokumenteres mot relevant belyningsklasse, med kontroll av synlighet, luminans, jevnhet og blanding, også under snøforhold. Før- og ettermålinger av lysmengde kan vise om lyset i tilgrensende natur faktisk reduseres. Tiltakene bygger på prinsipper i internasjonale anbefalinger, og delstudiene gir kunnskap om hvordan de kan vurderes under lokale forhold. Videre utprøving med optiske målinger og biologiske undersøkelser kan gi bedre grunnlag for å velge og tilpasse løsningene. Delstudiene utgjør dermed et viktig steg i utviklingen av belysningstiltak som kan ivareta trafikantenes synsbehov og samtidig begrense unødvendig lys i naturen.

1.3 Oppsummert: Mot et mer bærekraftig veilys

Resultatene fra denne rapporten peker på at de mest lovende tiltakene er de som reduserer unødvendig lys uten å svekke trafikantenes syn og trafikk sikkerheten. Det viktigste tiltaket er derfor å unngå belysning der den ikke er nødvendig, eller å begrense belysningen i tid gjennom nattslukking, dimming eller adaptive styringssystemer. Slike løsninger kan redusere både lyseksposeringen for insekter og energiforbruket, samtidig som belysningen opprettholdes når behovet for trafikk sikkerhet er størst.

Der belysning er nødvendig, fremstår lavere lysnivåer, målrettet lysfordeling og god avskjerming som særlig effektive tiltak. Ved å konsentrere lyset til kjørebane og gang- og sykkelveier, samtidig som lysutslipp mot omkringliggende natur begrenses, kan påvirkningen på insekter og andre organismer reduseres samtidig som trafikantenes visuelle behov imøtekommes. Avskjerming og optiske løsninger som reduserer lys i uønskede retninger bør derfor vurderes både ved nye installasjoner og ved oppgradering av eksisterende anlegg.

Videre tyder både den eksisterende litteraturen og delstudiene i Del II på at lyskilder med redusert andel kortbølget (blått) lys kan være gunstige, særlig når tiltaket kombineres med lavere lysnivåer og bedre skjerming. Samtidig må valg av lyskilder tilpasses krav til synlighet, kontraster og fargegjengivelse for trafikantene.

Samlet peker resultatene på fire sentrale tiltak: (1) redusert brukstid gjennom nattslukking, dimming eller adaptiv styring, (2) lavest mulig lysnivå, (3) målrettet lysfordeling og avskjerming, og (4) lyskilder med redusert blålysandel. Størst effekt oppnås sannsynligvis når flere av disse tiltakene kombineres og tilpasses lokale forhold og behov.

2 Videre kunnskapsbehov

Forskning på lysforurensing og lysets effekter på naturen har fått et betydelig oppsving de siste årene. Det samme gjelder forskning rundt måten mennesker opplever kunstig lys og hvordan veilys bidrar til trafikkssikkerhet. Likevel finnes det fortsatt store kunnskapshull på en rekke områder som behøver økt forskningsinnsats fremover (Christensen mfl. 2026, Hölker mfl. 2021).

Kunnskapshullene som presenteres i denne rapporten er identifisert gjennom eksisterende forskning, litteratursøk, innspill fra fagmiljøer og erfaringer fra tidligere arbeid. En mer systematisk kunnskapsoppsummering kunne gitt et enda bedre grunnlag, men slike analyser er ressurskrevende og har ligget utenfor rammene for dette prosjektet. Siden det ikke er mulig å undersøke alle problemstillinger samtidig, er det viktig å prioritere de kunnskapshullene som er mest relevante for framtidige beslutninger om belysning. Generelt innebærer prioritering av kunnskapshull vurderinger av både nytte, relevans og ressursbruk. Slike vurderinger er diskutert nærmere i tidligere arbeider (Christensen mfl. 2025), og behandles derfor ikke videre her.

Vi vil understreke at videre forskning på feltet krever et bredt faglig samarbeid og sterke fagmiljøer som kan videreutvikle kunnskapen på de ulike områdene. Et viktig element i bærekraftig forvaltning av belysning er å ha tilstrekkelige ressurser til å evaluere og følge opp endringer over tid.

I det følgende vil vi kort peke på noen konkrete kunnskapshull innen de delområdene som rapporten konsentrerer seg om, men vi vil minne om at lysforurensning, trafikkssikkerhet, trygghet, energiforhold osv. har langt flere problematikker som ligger utenfor det som dekkes i denne rapporten. Listen er derfor ikke uttømmende.

2.1 Kunnskap om lysforurensning generelt

Når det gjelder lysforurensing i Norge på et generelt nivå, er det fortsatt begrenset hvor mye vi vet om utbredelsen av dette problemet med høy nok geografisk og spektral oppløsning. Satellittdata kan levere grove anslag på nasjonalt nivå, men gir ikke tilstrekkelig grunnlag for å vurdere lokale forhold og behov. Fjernmålingsdata bør derfor suppleres med mer nøyaktige målinger i felt. Dette krever måleutstyr som kan registrere spektrale forhold ved lavere lysmengder. Norske fagmiljøer, blant annet ved USN, har allerede slik kompetanse og utstyr tilgjengelig, men det vil kreve økt satsing på systematisk datainnsamling og kartlegging for å fylle de eksisterende kunnskapshullene.

Den raske teknologiske utviklingen innen kjøretøybelysning og veilys skaper også nye kunnskapsbehov. Om bilens lys er blitt mer intense og lyser opp større deler av omgivelsene, vil dette måtte vurderes som en ny påvirkningsfaktor. Adaptive løsninger og etablering av kortere eller lengre mørkeperioder på veien vil skape et annet lysmønster enn tradisjonell, kontinuerlig belysning. Effekten av slike systemer bør undersøkes nærmere, helst ved bruk av økologiske data og, der det er mulig, med datagrunnlag fra både før og etter at tiltakene er implementert.

En utfordring i deler av litteraturen er at det fortsatt er uklart hvilke lysdoser eller lysintensiteter som faktisk utløser målbare effekter. Det er derfor behov for både flere teoretiske og empiriske studier som kan forbedre kunnskapen om hvilke lysdoser som utløser

ulike effekter. Det er også et stort behov for utvikling og bruk av mer standardiserte metoder for måling og rapportering av lysmengde og intensitet.

Generelt er det også et behov for mer forskning på lysforurensning i norske landområder og tettsteder, særlig i lys av økende urbanisering og utviklingen innen transportsektoren. Videre mangler det fortsatt kunnskap om hvordan lysforurensning virker i samspill med andre påvirkningsfaktorer, noe resultatene fra dette prosjektet tydelig illustrerer.

2.2 Insekter og miljø

Denne rapporten har, gjennom en kombinasjon av litteraturgjennomgang og egne feltforsøk, vist at kunstig lys om natten kan påvirke insekter på mange ulike måter. Samtidig har resultatene understreket at effektene varierer mellom arter og påvirkes av en rekke biologiske og miljømessige faktorer. Et grunnleggende kunnskapsbehov er derfor knyttet til bedre forståelse av insektenes biologi og økologi. Mange insektarter er fortsatt dårlig kartlagt, og for flere grupper er det begrenset kunnskap om levevis, funksjon av synsorganer og bruk av leveområdene. Denne kunnskapen er avgjørende for å kunne forstå hvordan ulike arter oppfatter og responderer på lys fra veilys.

Videre mangler vi mer spesifikke studier i Norge rettet mot særlig sårbare naturtyper og insektgrupper. Dette gjelder blant annet akvatiske insekter i ferskvannssystemer, pollinerende insekter og økosystemtjenestene de leverer, samt insektgrupper knyttet til kulturlandskapet. Et aktuelt spørsmål er f.eks. hvordan veilys påvirker etablerte blomsterstriper langs vei, og om slike tiltak, som er ment å være positive for pollinatorer, i enkelte situasjoner kan fungere som attraksjons- eller dødsfeller.

Det er også nødvendig med økt kunnskap om samspill mellom lys og andre veirelaterte påvirkningsfaktorer som f.eks. forurensning, trafikkmengde og lys fra kjøretøy. Resultatene fra prosjektet viser tydelig at effektene av kunstig lys ofte er tett knyttet til andre lokale forhold, noe som gjør det utfordrende å skille lysets bidrag fra andre samtidige påvirkninger.

Prosjektet indikerer også at det ikke bare er lokale lysnivåer eller omfanget av himmelglød (skyglow) som er relevante, men også lyskildens synlighet og intensitet på avstand. Vi ser derfor et behov for videre studier som undersøker betydningen av avstand til lyskilder og effekten av lokal skjerming langs veier. Slike forhold kan forventes å påvirke ulike arter på forskjellig måte.

Det er fortsatt stor usikkerhet knyttet til hvor langt effektene av veilys strekker seg ut i omkringliggende natur, og hvor store arealer som faktisk påvirkes. Særlige utfordringer er knyttet til belysning nær våtmarker og vassdrag, på broer, samt i arktiske og subarktiske områder med store sesongmessige variasjoner i naturlige lysforhold.

Det er også behov for mer kunnskap om metodiske tilnærminger i studier av lys og insekter. Dette inkluderer spørsmål om hvordan miljøpåvirkningen best kan dokumenteres i felt, hvilke analysetilnærminger og tidsserier som er nødvendige for å avdekke tydelige trender og mønstre, hvilket taksonomisk nivå det er faglig og praktisk mulig å arbeide på, og hvordan lys bør måles for å være økologisk relevant for ulike arter, artsgrupper og naturtyper.

For flere kunnskapsbehov henviser vi også til en av våre tidligere rapporter som ble publisert i forbindelse med prosjektet (se Bayr & Johansen 2022).

2.3 Trafikanter, sikkerhet og belysningstiltak

Det er behov for mer systematisk forskning på effekten av eksisterende og foreslåtte tiltak på både natur og trafiksikkerhet. Dette inkluderer blant annet vurderinger av om dagens avbøtende tiltak fungerer etter hensikten, om de bør justeres, og om det finnes alternative eller nye tiltak som bør testes, spesielt under nordiske forhold.

De foreslåtte tiltakene – avskjerming, mer målrettet lysfordeling, lyskilder med mindre kortbølget lys og tidsstyrt eller adaptiv dimming – bør prøves ut med virkninger på økosystemene som et sentralt utfallsmål. Det er behov for langvarige feltstudier som følger belysningen og naturen før og etter at tiltak innføres, helst med sammenlignbare strekninger uten tiltak. Lysforholdene bør registreres kontinuerlig med sensorer både langs ferdselsarealet og i tilgrensende natur. Registrering av lysnivå og armaturenes drift kan suppleres med spektrale målinger og opplysninger om blant annet snødekke, skyforhold og nedbør. Slik kan biologiske observasjoner knyttes til lyset organismene faktisk eksponeres for, og til hvordan eksponeringen endrer seg gjennom døgnet og året.

Før implementering må tiltak dokumenteres mot relevante belysningskrav. Videre studier og nøyaktige sammenligninger bør baseres på lyskilder og armaturer med sammenlignbar lysstrøm og lysfordeling i de aktuelle retningene. Man kan også bruke resultatene til å vurdere endringer i regelverkets krav. Med dagens teknologiske muligheter for å påvirke lysfeltet i tid, farge og rom, er dette mer aktuelt enn tidligere.

Generelt bør feltforsøk legges til perioder av året som er relevante for artene på stedet samt ulike livsstadier. For planter kan dette omfatte knoppsprett, vekst, blomstring og bladfall. For insekter og andre dyr kan aktivitet, bevegelsesmønstre og bruk av leveområder undersøkes, både hos dagaktive og nattaktive arter. Overgangene mellom dagslys og mørke kan være særlig viktige å inkludere.

Videre studier bør utformes slik at virkningen av hvert tiltak kan skilles fra de andre. Når lysfluks, spektrum, optikk og avskjerming endres samtidig, blir det vanskelig å vite hva som har gitt en observert effekt. Ved å variere tiltakene systematisk og kontrollere at relevante krav til belysning av veier og gangarealer er oppfylt, kan man identifisere løsninger som både begrenser lys i naturen og ivaretar trafikantenes synsbehov. Energibruk, kostnader og muligheten for ettermontering bør inngå i vurderingen av hvilke løsninger som egner seg for større utprøving.

Trafikksituasjonen på gang- og sykkelveier har også endret seg mye de siste årene, blant annet som følge av økt bruk av elsykler og elsparkesykler med høyere hastigheter enn vanlige sykler. Fremtidige studier bør derfor ta hensyn til denne utviklingen ved vurdering av belysningsbehov og trafiksikkerhet.

Når det gjelder resultatene fra delstudiene i denne rapporten kan disse ikke uten videre generaliseres til eldre trafikanter, som kan ha redusert kontrastfølsomhet og større følsomhet for blinding. Derfor vil man trenge å utvide og systematisere alder og synsevner til respondentene i framtidige studier. Her kan det være metodiske begrensninger i å innhente et tilstrekkelig antall forsøkspersoner, noe som er gjennomgående for studier som behøver et store antall personer.

Delstudiene i denne rapporten er et viktig steg mot slike undersøkelser. De gir metoder og resultater som kan brukes til å planlegge feltforsøk der kontinuerlige lysmålinger, biologiske observasjoner og studier av trafikanter i bevegelse gjennomføres på de samme stedene. Slik

kan fremtidige tiltak utvikles på grunnlag av hvordan belysningen virker for både mennesker og natur gjennom nordiske årstider.

Referanser

- Adrian, W. (1989). Visibility of targets: Model for calculation. *Lighting Research & Technology*, 21(4), 181–188. <https://doi.org/10.1177/096032718902100404>
- Akashi, Y., Rea, M. S., & Bullough, J. D. (2007). Driver decision making in response to peripheral moving targets under mesopic light levels. *Lighting Research & Technology*, 39(1), 53–67. <https://doi.org/10.1177/1365782806071608>
- Andersen, T. (1982). Some studies on Macrolepidoptera in coastal heathland habitats in western Norway. *Fauna Norveica Series B*, 29, 85–104.
- Artsdatabanken (2021c). Tusseflaggermus *Pipistrellus pipistrellus*. <https://lister.artsdatabanken.no/rodlisterforarter/2021/31708>
- Artsdatabanken (2021). Norsk rødliste for arter 2021. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisterforarter/2021/>
- Artsdatabanken (2021a). Mange pollinerende insekter på rødlista. Norsk rødliste for arter 2021. <https://www.artsdatabanken.no/rodlisterforarter2021/fordypning/mangepollinerendeinsekterparodlista>
- Artsdatabanken (2021b). Metode for Norsk rødliste for arter 2021. <https://www.artsdatabanken.no/rodlisterforarter2021/metode>
- Artsdatabanken (2022). Artsdatabanken: Kunnskapsbank for naturmangfold. <https://www.artsdatabanken.no/>
- Artsdatabanken. (2023). Flaggermus Chiroptera. Arter på nett. <https://artsdatabanken.no/Pages/342687/>
- Bacelar, A. (2005). The Influence of Dimming in Road Lighting on the Visibility of Drivers. *Journal of Light & Visual Environment*, 29(1), 44–49. <https://doi.org/10.2150/jlve.29.44>
- Bará, S., & Falchi, F. (2023). Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 378(1892), 20220352. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0352>
- Batovska, J., Piper, A. M., Valenzuela, I., mfl. (2021). Developing a non-destructive metabarcoding protocol for detection of pest insects in bulk trap catches. *Scientific Reports*, 11, 7946. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85855-6>
- Baxter-Gilbert, J.H., Riley, J.L., Neufeld, C.J.H. mfl. (2015). Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. *J Insect Conserv* 19, 1029–1035. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9808-z>
- Bayr, U., & Johansen, N. S. (2022). Effekter av vegbelysning på insekter og deres leveområder langs europa-, riks- og fylkesveiene (NIBIO Rapport 8(105), 84 s.). Norsk institutt for bioøkonomi. <https://hdl.handle.net/11250/3002648>
- Bergan, T., Haddal, B., Ryjord, H. Ø., Svea-Tornes, H., & Christensen, T. (2026). Light pollution and its possible influence on the wild fauna in parks in Oslo, Norway. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 25(4), 655–666. <https://doi.org/10.1007/s43630-026-00873-5>
- Bhagavathula, R., Gibbons, R., & Nussbaum, M. A. (2019). Effect of Intersection Lighting Design on Drivers' Perceived Visibility and Glare. *Transportation Research Record*, 2673(2), 799–810. <https://doi.org/10.1177/0361198119827928>
- Bodrogi, P., Tran, K. Q., & Stojanović, D. (2015). Intercultural colour temperature preference of chinese and european subjects living in Germany.
- Bolliger, J., Haller, J., Wermelinger, B., Blum, S., & Obrist, M. K. (2022). Contrasting effects of street light shapes and LED color temperatures on nocturnal insects and bats. *Basic and Applied Ecology*, 64, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.baee.2022.07.002>
- Bolliger, J., Hennet, T., Wermelinger, B., Blum, S., Haller, J., & Obrist, M. K. (2020a). Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment. *Journal of Insect Conservation*, 24, 625–635. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00238-7>

- Bolliger, J., Hennet, T., Wermelinger, B., Bösch, R., Pazur, R., Blum, S., Haller, J., & Obrist, M. K. (2020b). Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology*, 47, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.06.003>
- Boyes, D. H., Evans, D. M., Fox, R., Parsons, M. S., & Pocock, M. J. O. (2021). Street lighting has detrimental impacts on local insect populations. *Science Advances*, 7(35), eabi8322. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abi8322>
- Bozorg Chenani, S., Maksimainen, M., Tetri, E., Kosonen, I., & Luttinen, T. (2016). The effects of dimmable road lighting: A comparison of measured and perceived visibility. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 141–156. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.10.012>
- Brehm, G., Niermann, J., Niño, L. M. J., Enseling, D., Jüstel, T., Axmacher, J. C., Warrant, E., & Fiedler, K. (2021). Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. *Insect Conservation and Diversity*, 14, 188–198. <https://doi.org/10.1111/icad.12476>
- Brémond, R., Dumont, E., Ledoux, V., & Mayeur, A. (2011). Photometric measurements for visibility level computations. *Lighting Research & Technology*, 43(1), 119–128. <https://doi.org/10.1177/1477153510377271>
- Bullough, J. D., & Skinner, N. P. (2007). Foreground illumination from headlamps : effects on visual performance and preference (TLA 2007-01). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/17959>
- Calvillo Cortés, A. B., & Falcón Morales, L. E. (2016). Emotions and the Urban Lighting Environment: A Cross-Cultural Comparison. *Sage Open*, 6(1), 2158244016629708. <https://doi.org/10.1177/2158244016629708>
- Candolin, U., & Filippini, T. (2025). Light pollution and its impact on human health and wildlife. *BMC Environmental Science*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s44329-025-00017-7>
- Carannante, D., Blumenstein, C. S., Hale, J. D., & Arlettaz, R. (2021). LED lighting threatens adult aquatic insects: Impact magnitude and distance thresholds. *Ecology Solutions and Evidence*, 2(2), e12053.
- Charvalakis, G.A., Stavenga, D.G., Visser, M.E., Spoelstra, K. & Hut, R.A. (2025). Intensity and colour of artificial light at night affect insect attraction in a taxon-dependent manner. *Insect Conservation and Diversity*, 18(6), 1099–1108. Available from: <https://doi.org/10.1111/icad.12855>
- Christensen, T., Roysamb, A., Bayr, U., Bui, D. T., Helgadottir, G., Johansen, N. S., Klein, J., Louwe, M. C., Mork, R., Noh, K., Reinhardt, S., Robsahm, T. E., Roll, K. H., Steifetten, O., Stromberg, P., Ostenstad, G. T., & Zaikina, V. (2026). Light pollution: environmental and health impacts at high latitudes. *Photochem Photobiol Sci*, 25(2), 211–227. <https://doi.org/10.1007/s43630-025-00841-5>
- Christensen, T., Røysamb, A., Bayr, U., Bui, D. T., Helgadottir, G., Johansen, N., Klein, J., Louwe, M. C., Mork, R., Noh, K., Reinhardt, S., Robsahm, T. E., Roll, K. H., Steifetten, Ø., Strömberg, P., Tengmark Østenstad, G., & Zaikina, V. (2025). Lysforurensning i Norge: Omfang, effekter og kunnskapshull (Skriftserien fra Universitetet i Sørøst-Norge). Universitetet i Sørøst-Norge. <https://hdl.handle.net/11250/3187631>
- CIE (2004). Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses. International Commission on Illumination.
- Cieraad, E., Grunsven, R. H. A., Sman, F., Zwart, N., Musters, Kees. J. M., Strange, E., Langevelde, F., & Trimpos, K. B. (2022). Lack of local adaptation of feeding and calling behaviours by *Yponomeuta cagnagellus* moths in response to artificial light at night. *Insect Conservation and Diversity*, icad.12568. <https://doi.org/10.1111/icad.12568>
- Corsini, M., Cole, H. J., Gomes, D. G. E., Fristrup, K. M., & Barber, J. R. (2025). Blended-red lighting partially mitigates the cost of light pollution for arthropods. *Oecologia*, 207(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05665-9>
- Davidovic, M., Djokic, L., Cabarkapa, A., & Kostic, M. (2019). Warm white versus neutral white LED street lighting: Pedestrians' impressions. *Lighting Research & Technology*, 51(8), 1237–1248. <https://doi.org/10.1177/1477153518804296>
- Davis, L. K., Bumgarner, J. R., Nelson, R. J., & Fonken, L. K. (2023). Health Effects of Disrupted Circadian Rhythms by Artificial Light at Night. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 10(2), 229–236. <https://doi.org/10.1177/23727322231193967>

- Davis, W., & Ohno, Y. (2009). Approaches to color rendering measurement. *Journal of Modern Optics*, 56(13), 1412–1419. <https://doi.org/10.1080/09500340903023733>
- Degen, J., Storms, M., Lee, C. B., Jechow, A., Stöckl, A. L., Hölker, F., Jakhar, A., Walter, T., Walter, S., Mitesser, O., Hovestadt, T., & Degen, T. (2024). Shedding light with harmonic radar: Unveiling the hidden impacts of streetlights on moth flight behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(42), e2401215121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2401215121>
- Degen, T., Mitesser, O., Perkin, E.K., Weiß, N.-S., Oehlert, M., Mattig, E., Hölker, F. (2016). Street lighting: sex-independent impacts on moth movement. *Journal of Animal Ecology* 2016, 85, 1352–1360. doi: 10.1111/1365-2656.12540
- Denzinger, A., Schnitzler, H.U. (2013). Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in Physiology* 4: 164.
- Dietenberger, M., Jechow, A., Kalinkat, G., Schroer, S., Saathoff, B., & Hölker, F. (2024). Reducing the fatal attraction of nocturnal insects using tailored and shielded road lights. *Communications Biology*, 7(1), 671. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06304-4>
- Duelli P. (1986). Flight activity pattern in lacewings (Planipennia: Chrysopidae). In Gepp J., Aspöck H. & Hölzel H. (eds): *Recent Research in Neuropterology. Proceedings of the 2nd International Symposium on Neuropterology. By the authors, Hamburg, Graz, pp. 165-170.*
- Durmus, D. (2022). Correlated color temperature: Use and limitations. *Lighting Research & Technology*, 54(4), 363–375. <https://doi.org/10.1177/14771535211034330>
- Durmus, D., Jägerbrand, A., & Tengelin, M. (2024). Research note: Red light to mitigate light pollution: Is it possible to balance functionality and ecological impact? *Lighting Research & Technology*, 56(3), 304–308. <https://doi.org/10.1177/14771535231225362>
- Durmus, D., Wåseth, H. I., Christensen, T., & Zaikina, V. (2026). Effect of amber road lighting on visibility and safety for drivers and pedestrians. *Building and Environment*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114375>
- Ebner, N. C., Riediger, M., & Lindenberger, U. (2010). FACES—A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: Development and validation. *Behavior Research Methods*, 42(1), 351–362. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.1.351>
- Eisenbeis, G. (2006) Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, 2, 191-198.
- EOL (2026). Encyclopedia of life. Seecorn Maggot *Delia platura* (Meigen 1826). Besøkt 21. April 2026 på <https://eol.org/pages/733004>
- Erkan, A., Hoffmann, D., Kreß, N., Vitkov, T., Kunst, K., Peier, M. A., & Khanh, T. Q. (2023). Required Visibility Level for Reliable Object Detection during Nighttime Road Traffic in Non-Urban Areas. *Applied Sciences*, 13(5), 2964.
- Erkan, A., Hoffmann, D., Singer, T., Schikowski, J. M., Kunst, K., Peier, M. A., & Khanh, T. Q. (2023). Influence of Headlight Level on Object Detection in Urban Traffic at Night. *Applied Sciences*, 13(4), 2668.
- Fabian, S. T., Sondhi, Y., Allen, P. E., Theobald, J. C., & Lin, H.-T. (2024). Why flying insects gather at artificial light. *Nature Communications*, 15(1), 689. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44785-3>
- 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. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2714–2722. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Farnworth, B., Innes, J., Kelly, C., Littler, R., & Waas, J. R. (2018). Photons and foraging: Artificial light at night generates avoidance behaviour in male, but not female, New Zealand weta. *Environmental Pollution*, 236, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.039>
- Fjeldaas, E., Waaseth, H.I. (2019). Redusere lysforurensning. Tiltakskatalog for transport og miljø. <https://www.tiltak.no/e-beskytte-eller-reparere-miljoet/e2-luft-og-vannforurensning/redusere-lysforurensning/>. Besøkt 01.04.2022.

- Follestad, A. (2014). Effekter av kunstig nattbelysning på naturmangfoldet – en litteraturstudie. NINA Rapport 1081, 98 sider.
- Fotios, S. A., & Cheal, C. (2007). Lighting for subsidiary streets: investigation of lamps of different SPD. Part 2—Brightness. *Lighting Research & Technology*, 39(3), 233–249. <https://doi.org/10.1177/1477153507080805>
- Fotios, S., & Gibbons, R. (2018). Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations. *Lighting Research & Technology*, 50(1), 154–186. <https://doi.org/10.1177/1477153517739055>
- Fotios, S., & Johansson, M. (2019). Appraising the intention of other people: Ecological validity and procedures for investigating effects of lighting for pedestrians. *Lighting Research & Technology*, 51(1), 111–130. <https://doi.org/10.1177/1477153517737345>
- Fotios, S., Castleton, H., Cheal, C., & Yang, B. (2017). Investigating the chromatic contribution to recognition of facial expression. *Lighting Research & Technology*, 49(2), 243–258. <https://doi.org/10.1177/1477153515616166>
- Fotios, S., Monteiro, A. L., & Uttley, J. (2019). Evaluation of pedestrian reassurance gained by higher illuminances in residential streets using the day–dark approach. *Lighting Research & Technology*, 51(4), 557–575. <https://doi.org/10.1177/1477153518775464>
- Fotios, S., Unwin, J., & Farrall, S. (2015). Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review. *Lighting Research & Technology*, 47(4), 449–469. <https://doi.org/10.1177/1477153514524587>
- Fotios, S., Uttley, J., & Fox, S. (2018). Exploring the nature of visual fixations on other pedestrians. *Lighting Research & Technology*, 50(4), 511–521. <https://doi.org/10.1177/1477153516666132>
- Fristrup, K., Miller, Z. D., Newton, J., Buckley, S., Cole, H., Linares, C., Donners, M., Taff, B. D., Beeco, J. A., Barber, J., & Newman, P. (2024). National Park visitors perceive benefits for themselves and wildlife under blended red-white outdoor lighting. *Scientific Reports*, 14(1), 21791. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71868-4>
- Gibbons, R. B., & Hankey, J. M. (2006). Influence of Vertical Illuminance on Pedestrian Visibility in Crosswalks. *Transportation Research Record*, 1973(1), 105–112. <https://doi.org/10.1177/0361198106197300113>
- Gibbons, R. B., Edwards, C. J., Bhagavathula, R., Carlson, P., & Owens, D. A. (2012). Development of Visual Model for Exploring Relationship between Nighttime Driving Behavior and Roadway Visibility Features. *Transportation Research Record*, 2298(1), 96–103. <https://doi.org/10.3141/2298-11>
- Gonzalez M, Alarcon-Elbal PM, Valle-Mora J, Goldarazena A (2016). Comparison of different light sources for trapping Culicoides biting midges, mosquitoes and other dipterans. *Veterinary Parasitology* 226 (2016) 44–49 <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.06.020>
- Goulson, D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19), R967–R971. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069>
- Guenat, S., Haller, J., & Bauer, N. (2025). Randomised trial reveals a mismatch between preferences for and hormonal responses to anthropogenic light colour temperatures. *PLOS ONE*, 20(8), e0327843. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327843>
- Guralnick, R.P., Campbell, L.P. & Belitz, M.W. (2023). Weather anomalies more important than climate means in driving insect phenology. *Commun Biol* 6, 490. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04873-4>
- Gårdman, V., MacDonald, E. & Roslin, T. (2026). Strong diel variation in the activity of insect taxa sampled by Malaise traps. *Ecological Entomology*, 1–14. Available from: <https://doi.org/10.1111/een.70059>
- Hao, X., Zhang, X., Du, J., Wang, M., & Zhang, Y. (2022). Pedestrians' psychological preferences for urban street lighting with different color temperatures [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, Volume 13 - 2022. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.971700>
- Harvey, M. (2017). Insects (other than moths) attracted to light. Artikkel skrevet for British Entomological Natural History Society, 9. Desember 2017, 14 sider. <https://kitenet.co.uk/wp/wp-content/uploads/2017/12/Light-trapped-insects.pdf>

- Heinen, R., Sanchez-Mahecha, O., Bezemer, T. M., Dominoni, D. M., Knappe, C., Kollmann, J., Kopatsch, A., Pfeiffer, Z. A., Schloter, M., Sturm, S., Schnitzler, J.-P., Vlot, A. C., & Weisser, W. W. (2023). Part-night exposure to artificial light at night has more detrimental effects on aphid colonies than fully lit nights. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), 20220357. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0357>
- Himschoot, E. A., Crump, M. C., Buckley, S., Cai, C., Lawson, S., White, J., Beeco, A., Taff, B. D., & Newman, P. (2024). Feelings of safety for visitors recreating outdoors at night in different artificial lighting conditions. *Journal of Environmental Psychology*, 97, 102374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102374>
- Horstmann, S., Auffret, A. G., Herbertsson, L., Klatt, B. K., Müller, S., & Öckinger, E. (2024). Traffic intensity and vegetation management affect flower-visiting insects and their response to resources in road verges. *Journal of Applied Ecology*, 61, 1955–1967. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14692>
- Horváth, G., Kriska, G., Malik, P., & Robertson, B. (2009). Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 317–325. <https://doi.org/10.1890/080129>
- Hu, J., Sun, S., & Wang, R. (2022). Research on the influence of light source characteristics on traffic visual distance in foggy areas at night. *Building and Environment*, 212, 108818. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108818>
- Hölker, F., Bolliger, J., Davies, T. W., Giavi, S., Jechow, A., Kalinkat, G., Longcore, T., Spoelstra, K., Tidau, S., Visser, M. E., & Knop, E. (2021). 11 Pressing Research Questions on How Light Pollution Affects Biodiversity [Review]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, Volume 9 - 2021. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.767177>
- Illuminating Engineering Society (2022). ANSI/IES RP-8-22 Recommended Practice: Lighting Roadway and Parking Facilities. IES.
- Janoff, M. S. (1989). Subjective Ratings of Visibility and Alternative Measures of Roadway Lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 18(1), 16–28. <https://doi.org/10.1080/00994480.1989.10748739>
- Janoff, M. S., & Havard, J. A. (1997). The Effect of Lamp Color on the Visibility of Small Targets. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 26(1), 173–181. <https://doi.org/10.1080/00994480.1997.10748177>
- Jaschhof, M., & Jaschhof, C. (2021). Mycophagous gall midges (Diptera: Cecidomyiidae excl. Cecidomyiinae) in Sweden: Status report after 15 years of taxonomic inventory, annotated taxonomic checklist, and description of *Campatomyia alstromi* sp. nov. *Entomologisk Tidskrift*, 142, 105–184.
- Johansen, N. S. (2009). Effect of continuous light on the biology of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, on roses. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 133, 244–250.
- Johansen, N. S. (2012). Lyskvalitet og plantevalg hos veksthusmellus. *Gartneryrket*, (5/2012), 30–33.
- Johansen, N. S., Torp, T., & Solhaug, K. A. (2018). Phototactic response of *Frankliniella occidentalis* to sticky traps with blue light-emitting diodes in herb and *Alstroemeria* greenhouses. *Crop Protection*, 114, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.023>
- Johansen, N. S., Vänninen, I., Pinto Zevallos, D., Nissinen, A., & Shipp, L. (2011). In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Annals of Applied Biology*, 159, 1–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00455.x>
- Jägerbrand, A. K. (2018). LED-belysningens effekter på djur och natur med rekommendationer: Fokus på nordiska förhållanden och känsliga arter och grupper. Calluna AB.
- Jägerbrand, A. K., & Bouroussis, C. A. (2021). Ecological Impact of Artificial Light at Night: Effective Strategies and Measures to Deal with Protected Species and Habitats. *Sustainability*, 13(11), 5991. <https://doi.org/10.3390/su13115991>
- Jägerbrand, A. K., & Spoelstra, K. (2023). Effects of anthropogenic light on species and ecosystems. *Science*, 380(6650), 1125–1130. <https://doi.org/doi:10.1126/science.adg3173>

- Kalinkat, K., Grubisic, M., van Grunsven, R. H. A., Schroer, S., & Hölker, F. (2021). Assessing long-term effects of artificial light at night on insects: What is missing and how to get there. *Insect Conservation and Diversity*, 14, 260–270. <https://doi.org/10.1111/icad.12482>
- Kasai, M., & Hironaka, M. (2024). Effects of artificial light on the arrival time, duration of stay, and departure time of nocturnal flying insects. *Applied Entomology and Zoology*, 59, 155–162. <https://doi.org/10.1007/s13355-024-00864-x>
- Keilsohn, W., Narango, D.L. & Tallamy, D.W. (2018). Roadside habitat impacts insect traffic mortality. *J Insect Conserv* 22, 183–188. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0051-2>
- Kendall, L., & Nicholson, C. C. (2025). Pollination across the diel cycle: A global meta-analysis. *Ecology Letters*, 28. <https://doi.org/10.1111/ele.70036>
- Knight, C. (2010). Field surveys of the effect of lamp spectrum on the perception of safety and comfort at night. *Lighting Research & Technology*, 42(3), 313–329. <https://doi.org/10.1177/1477153510376794>
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Kočíšová, A., Schreiberová, A., Kasičová, Z., & Janošková, N. (2024). The first record of *Culicoides deltus* as a putative vector of *Onchocerca flexuosa* in Slovak red deer (*Cervus elaphus*). *Parasitology Research*, 123, 370. <https://doi.org/10.1007/s00436-024-08386-9>
- Kral, K., & Stelzl, M. (1998). Daily visual sensitivity pattern in the green lacewing *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *European Journal of Entomology*, 95, 327–333.
- Lamarre, G. A., Molto, Q., Fine, P. V. A., & Baraloto, C. (2012). A comparison of two common flight interception traps to survey tropical arthropods. *ZooKeys*, 216, 43–55. <https://doi.org/10.3897/zookeys.216.3332>
- Larsson, M., Göthberg, A., & Milberg, P. (2020). Night, light and flight: Light attraction in Trichoptera. *Insect Conservation and Diversity*, 13, 296–302. <https://doi.org/10.1111/icad.12379>
- Lin, Y., & Fotios, S. (2015). Investigating methods for measuring face recognition under lamps of different spectral power distribution. *Lighting Research & Technology*, 47(2), 221–235. <https://doi.org/10.1177/1477153513505306>
- Linares Arroyo, H., Abascal, A., Degen, T., mfl. (2024). Monitoring, trends and impacts of light pollution. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5, 417–430. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00555-9>
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), 191–198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2)
- Longcore, T., Rodríguez, A., Witherington, B., Penniman, J. F., Herf, L., & Herf, M. (2018). Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol*, 329(8-9), 511–521. <https://doi.org/10.1002/jez.2184>
- Macgregor, C. J., Evans, D. M., Fox, R., & Pocock, M. J. O. (2017). The dark side of street lighting: Impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*, 23, 697–707.
- MacGregor, C. J., Pocock, M. J. O., Fox, R., & Evans, D. M. (2015). Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: A review. *Ecological Entomology*, 40, 187–198.
- Manfrin, A., Hölker, F., Teurlincx, S. mfl. (2025). Artificial light at night reduces emergence and attracts flying adults of aquatic Diptera. *Aquat Sci* 87, 38. <https://doi.org/10.1007/s00027-025-01161-7>
- Medeiros, B. A. S. de, Barghini, A., & Vanin, S. A. (2017). Streetlights attract a broad array of beetle species. *Revista Brasileira de Entomologia*, 61, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.11.004>
- Meinzen, T. C., Burkle, L. A., & Debinski, D. M. (2024). *Roadside habitat: Boon or bane for pollinating insects?* *BioScience*, 74(1), 54–64. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad111>
- Ménard, J., & Cariou, J. (1994). Road lighting: Assessment of an installation based on the contrast of a standard target. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 26(1), 19–22. <https://doi.org/10.1177/096032719402600104>

- Merckx, T., Nielsen, M. E., Heliölä, J., Kuussaari, M., Pettersson, L. B., Pöyry, J., Tiainen, J., Gotthard, K., & Kivelä, S. M. (2021). Urbanization extends flight phenology and leads to local adaptation of seasonal plasticity in Lepidoptera. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(40), e2106006118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2106006118>
- Mészáros, A., Kriska, G., & Egri, Á. (2021). Spectral optimization of beacon lights for the protection of night-swarming mayflies. *Insect Conservation and Diversity*, 14, 225–234. <https://doi.org/10.1111/icad.12446>
- Nikunen, H., Puolakka, M., Rantakallio, A., Korpela, K., & Halonen, L. (2014). Perceived restorativeness and walkway lighting in near-home environments. *Lighting Research & Technology*, 46(3), 308–328. <https://doi.org/10.1177/1477153512468745>
- Nkrumah, J. K., Cai, Y., & Jafaripournimchahi, A. (2024). A review of automotive intelligent and adaptive headlight beams intensity control approaches. *Advances in Mechanical Engineering*, 16(4), 16878132231220355. <https://doi.org/10.1177/16878132231220355>
- Norsk Elektroteknisk Komite (2025). Elektrotekniske anlegg i veitrafikksystem. In NEK 600:2025: Standard Norge.
- Olsen, K. M., & Aagaard, K. (2016). Nordvintergulløye *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836). Hentet 20. april 2026 fra <https://artsdatabanken.no/arter/takson/34471/beskrivelse>
- Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, 605, 97–102. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
- Owens, A. C. S., & Lewis, S. M. (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecol Evol*, 8(22), 11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Owens, A. C. S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E. K., & Seymoure, B. (2020). Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- Owens, A. C. S., Pocock, M. J. O., & Seymoure, B. M. (2024). Current evidence in support of insect-friendly lighting practices. *Current Opinion in Insect Science*, 66, Article 101276. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101276>
- Paksarian, D., Rudolph, K. E., Stapp, E. K., Dunster, G. P., He, J., Mennitt, D., Hattar, S., Casey, J. A., James, P., & Merikangas, K. R. (2020). Association of Outdoor Artificial Light at Night With Mental Disorders and Sleep Patterns Among US Adolescents. *JAMA Psychiatry*, 77(12), 1266–1275. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2020.1935>
- Pallottini, M., Pagliarini, S., Catasti, M., Giontella, L., La Porta, G., Selvaggi, R., Gaino, E., Spacone, L., Di Giulio, A. M., Ali, A., mfl. (2024). Adult chironomid (Chironomidae: Diptera) positive phototactic behaviour—A cue for adult population management and impact on insect biodiversity at Lake Trasimeno, Central Italy. *Environments*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.3390/environments11010001>
- Park, W., Jin, M., Kim, Y., Kim, K., & Lee, S. (2023). Investigating the effect of road lighting color temperature on road visibility in night foggy conditions. *Applied Ergonomics*, 106, 103899. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103899>
- Pawson, S. M., & Bader, M. K. F. (2014). LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. *Ecol Appl*, 24(7), 1561–1568. <https://doi.org/10.1890/14-0468.1>
- Pedersen, C., & Dramstad, W. (2022). Veikantene – levested for mange plantearter og pollinerende insekter. NIBIO-POP 8(19). <https://hdl.handle.net/11250/2997419>
- Pedersen, M., Pedersen, T., & Abildgaard, K. (1990). Annual and diurnal activity of some Tachyporus species (Coleoptera: Staphylinidae) in two spring barley fields and a hedge. *Pedobiologia*, 34, 367–378.
- Peña-García, A., Hurtado, A., & Aguilar-Luzón, M. C. (2015). Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. *Safety Science*, 78, 142–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.009>
- Perkin, E. K., Hölker, F., & Tockner, K. (2014). The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology*, 59, 368–377. <https://doi.org/10.1111/fwb.12270>

- Petrulis, A., Petkevičius, L., Vitta, P., Vaicekauskas, R., & Žukauskas, A. (2018). Exploring Preferred Correlated Color Temperature in Outdoor Environments Using a Smart Solid-State Light Engine. *Leukos*, 14(2), 95–106. <https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1377085>
- Phillips, B.B., Bullock, J.M., Osborne, J.L., Gaston, K.J. (2021). Spatial extent of road pollution: A national analysis. *Science of The Total Environment*, Volume 773, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145589>.
- Paakkinen, M., Tetri, E., & Halonen, L. (2014). User evaluation of pedestrian way lighting. *Light and Engineering*, 22(1), 40–47.
- Rahm, J., & Johansson, M. (2018). Assessing the pedestrian response to urban outdoor lighting: A full-scale laboratory study. *PLOS ONE*, 13(10), e0204638. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204638>
- Rea, M., Bullough, J., & Akashi, Y. (2009). Several views of metal halide and high-pressure sodium lighting for outdoor applications. *Lighting Research & Technology*, 41(4), 297–320. <https://doi.org/10.1177/1477153509102342>
- Robert, Y. (1987). Aphids and their environment: Dispersion and migration. I A. K. Minks & P. Harrewijn (Red.), *Aphids: Their biology, natural enemies and control* (Vol. A, ss. 299–313). Elsevier.
- Rowse, E. G., Lewanzik, D., Stone, E. L., Harris, S., & Jones, G. (2015). Dark matters: The effects of artificial lighting on bats. I C. C. Voigt & T. Kingston (Red.), *Bats in the Anthropocene: Conservation of bats in a changing world* (ss. 187–213). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_7
- Runyan, S. L., Bassett, D., Schultz, G. G., Brimley, B., Snow, G. L., Simpson, A., & Dahl, B. (2024). Effect of Roadway Lighting on Safety [Tech Report].
- Russo, D., Cosentino, F., Festa, F., De Benedetta, F., Pejic, B., Cerretti, P., Ancillotto, L. (2019). Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution* 252. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.105>.
- Rydell, J., Eklöf, J. Sánchez-Navarro, S. (2017). Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. *Royal Society Open Science* 4:161077. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.161077>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C., & Gaston, K. J. (2021). A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution*, 5(1), 74–81. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x>
- Saunders, D. S. (2002). *Insect clocks* (3. utg.). Elsevier.
- Schroer, S., Austen, K., Moczek, N., Kalinkat, G., Jechow, A., Heller, S., Reinhard, J., Dehn, S., Wuthenow, C. I., Post-Stapelfeldt, M., mfl. (2021). Towards insect-friendly road lighting—A transdisciplinary multi-stakeholder approach involving citizen scientists. *Insects*, 12, 1117. <https://doi.org/10.3390/insects12121117>
- Schulte-Römer, N., Meier, J., Söding, M., & Dannemann, E. (2019). The LED Paradox: How Light Pollution Challenges Experts to Reconsider Sustainable Lighting. *Sustainability*, 11(21), 6160.
- Secondi, J., Davranche, A., Théry, M., Mondy, N., & Lengagne, T. (2019). Assessing the effects of artificial light at night on biodiversity across latitude: Current knowledge gaps. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 404–419. <https://doi.org/10.1111/geb.13027>
- Seymoure, B. M., Deitsch, J. F., Hyder, P., Sanchez, B., Pollard, K., Rios, I., Robinson-Griffiths, E., Saenz-Arreola, S., Horne, L. M., Da Cunha, O., Neria, O., Mead, J. J., Daszak, I., Owens, A. C. S., & mfl. (2026). Glare more than uplight attracts flying insects to artificial lights. *Biological Conservation*, 315, 111722. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2026.111722>
- Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2000). *Ecological methods* (3rd ed.). Blackwell Science.
- Standard Norge (2015). NS-EN 13201-2:2015 Veibelysning – Del 2: Ytelseskrav. In. Lysaker: Standard Norge.

- Starik, N., Gyga, L. & Göttert, T. (2024). Unexpected bat community changes along an urban–rural gradient in the Berlin–Brandenburg metropolitan area. *Sci Rep* 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61317-7>
- Statens vegvesen. (2021). Håndbok V124: Teknisk planlegging av vei- og tunnelbelysning. <https://kudos.dfo.no/dokument/277583/teknisk-planlegging-av-vei-og-tunnelbelysning-handbok-v124-av-2021>
- Statens vegvesen. (2023). N100 Vei-og gateutforming. Revidert versjon oktober 2023. <https://viewers.veinorm.veivesen.no/product/859984/nb>
- Statens vegvesen. (2025a). Fjerning av veilys som naturtiltak. Statens vegvesens rapporter nr. 1043. <https://hdl.handle.net/11250/3173844>
- Statens vegvesen. (2025b). Nattslukking – Om erfaringer fra pilotprosjektet, avbøtende tiltak og virkninger på naturen og trafiksikkerheten. Statens vegvesens rapporter nr.1042, <https://hdl.handle.net/11250/3173842>
- Stone, E.L., Harris, S., Jones, G. (2015). Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology* 80 (3), 213–219, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mambio.2015.02.004>
- Stone, M. J., Catterall, C. P., & Stork, N. E. (2018). Edge effects and beta diversity in ground and canopy beetle communities of fragmented subtropical forest. *PLOS ONE*, 13(3), e0193369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193369>
- Tetri, E., Bozorg Chenani, S., Räsänen, R.-S., Baumgartner, H., Vaaja, M., Sierla, S., Tähkämö, L., Virtanen, J.-P., Kurkela, M., Ikonen, E., Halonen, L., Hyyppä, H., & Kosonen, I. (2017). Tutorial: Road Lighting for Efficient and Safe Traffic Environments. *Leukos*, 13(4), 223–241. <https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1283233>
- Trafikverket (2025). Ljusköretningar. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vagutrustning/belysning/ljusfororeningar/>
- van Bommel, W. (2014). Road Lighting. Fundamentals, Technology and Application. Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-11466-8>
- van Bommel, W. J. M., & Tekelenburg, J. (1986). Visibility research for road lighting based on a dynamic situation. *Lighting Research & Technology*, 18(1), 37–39. <https://doi.org/10.1177/096032718601800104>
- van der Kooij, C. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušić, G., & Kelber, A. (2021). Evolution of insect color vision: From spectral sensitivity to visual ecology. *Annual Review of Entomology*, 66, 435–461. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>
- van Dijk, L. J. A., Fisher, B. L., Miraldo, A., Goodsell, R. M., Iwaszkiewicz Eggebrecht, E., Raharinjanahary, D., Rajoelison, E. T., Łukasik, P., Andersson, A. F., Ronquist, F., Roslin, T., & Tack, A. J. M. (2024). Temperature and water availability drive insect seasonality across a temperate and a tropical region. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291, 20240090. <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.0090>
- van Grunsven, R. H. A., Becker, J., Peter, S., Heller, S., & Hölker, F. (2019). Long-term comparison of attraction of flying insects to streetlights after the transition from traditional light sources to light-emitting diodes in urban and peri-urban settings. *Sustainability*, 11, 6198. <https://doi.org/10.3390/su11216198>
- van Grunsven, R. H. A., Donners, M., Boeke, K., Tichelaar, I., van Geffen, K. G., Groenendijk, D., Berendse, F., & Veenendaal, E. M. (2014). Spectral composition of light sources and insect phototaxis, with an evaluation of existing spectral response models. *Journal of Insect Conservation*, 18, 225–231. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9633-9>
- van Grunsven, R. H. A., van Deijk, J. R., Donners, M., Berendse, F., Visser, M. E., Veenendaal, E. M., & Spoelstra, K. (2020). Experimental light at night has a negative long-term impact on macro-moth populations. *Current Biology*, 30, R694–R695. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.083>
- Vejdirektoratet (2024). Vejbelysning (Vejudstyr: Håndbog). <https://vejregler.dk/api/Portals%286a8179a8-e164-4fc9-a59b-191699ffa1ee%29/Documents/Variant%28Pdf%29/Content/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/851be8a245864a32804534fe20effedc>

- Voigt, C. C., Dekker, J., Fritze, M., Gazaryan, S., Hölker, F., Jones, G., Lewanzik, D., Limpens, H. J. G. A., Matthews, F., Rydell, J., Spoelstra, K., & Zagmajster, M. (2021). The impact of light pollution on bats varies according to foraging guild and habitat context. *BioScience*, 71(10), 1103–1109. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab087>
- Wagner, D. L. (2021). Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), <https://doi.org/10.1073/pnas.2023989118>
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E. L., Harris, S., & Jones, G. (2017). Quantifying the attractiveness of broad-spectrum streetlights to aerial nocturnal insects. *Journal of Applied Ecology*, 55, 714–722. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12912>
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2016). Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types? *Ecology and Evolution*, 6, 8028–8036. <https://doi.org/10.1002/ece3.2527>
- Wanvik, P. O. (2009). Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 123–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.003>
- Warrant, E., & Nilsson, D. E. (2006). *Invertebrate vision*. Cambridge University Press.
- Wood, J. M. (2020). Nighttime driving: visual, lighting and visibility challenges. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 40(2), 187–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/opo.12659>
- Wood, M. D., Hancocks, G., Barnett, C. L., Tysiac, P., Goulart, V. D. L. R., Teixeira, C. P., Zielinska-Dąbkowska, K. M., Sikander, D., Castrop, E., & Klenke, R. (2026). Review of light and noise pollution impacts on terrestrial biodiversity and ecosystem services (PLAN-B Project Deliverable 1.1, Horizon Europe Grant No. 101135308).
- Wåseth, H. I., Zaikina, V., & Pont, S. (2025). The Social Light Field in Eco-Centric Outdoor Lighting. *Buildings*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/buildings15173052>
- Yang, R., Wang, Z., Lin, P. S., Li, X., Chen, Y., Hsu, P. P., & Henry, A. (2019). Safety effects of street lighting on roadway segments: Development of a crash modification function. *Traffic Inj Prev*, 20(3), 296–302. <https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1573317>
- Yao, Q., Sun, Y., & Lin, Y. (2009). Research on Facial Recognition and Color Identification under CMH and HPS Lamps for Road Lighting. *Leukos*, 6(2), 169–178. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2009.06.02006>
- Zeale, M. R. K., Stone, E. L., Zeale, E., Browne, W. J., Harris, S., & Jones, G. (2018). Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats. *Global Change Biology*, 24, 5909–5918. <https://doi.org/10.1111/gcb.14462>
- Ødegaard, F., Hanssen, O., Laugsand, A.E., Olberg, S. (24.11.2021). Biller: Vurdering av eremitt *Osmoderma eremita* for Norge. Rødlista for arter 2021. Artsdatabanken.
- Aarvik, L., & Elven, H. (2014). Sommerfugler Lepidoptera. Artsdatabanken. Hentet 15. april 2026 fra <https://artsdatabanken.no/arter/takson/101/beskrivelse>
- Åström, J., Birkemoe, T., Dahle, S., Davey, M., Ekrem, T., Fossøy, F., Laugsand, A., Molander, I., Opsahl, N. A., Staverløkk, A., Sverdrup-Thygeson, A., & Ødegaard, F. (2024). Insektovervåking på Østlandet, Sørlandet, Trøndelag og Nord-Norge: Rapport fra felt sesong 2023 (NINA Rapport 2357). Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3100597>
- Åström, J., Birkemoe, T., Davey, M., Ekrem, T., Fossøy, F., Hanssen, O., Laugsand, A., Staverløkk, A., Sverdrup-Thygeson, A., & Ødegaard, F. (2020). Insektovervåking på Østlandet 2020: Rapport fra første felt sesong (NINA Rapport 1878). Norsk institutt for naturforskning. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/januar-2021/insektovervaking-pa-ostlandet-2020/>
- Åström, J., Gohli, J., Birkemoe, T., Dahle, S., Davey, M., Ekrem, T., Falahati, M., Fossøy, F., Laugsand, A., Rosten, C., Shannon, G., Staverløkk, A., Stur, E. & Ødegaard, F. (2026). Norsk insektovervåking. Rapport fra felt sesongen 2025. NINA Rapport 2757. Norsk institutt for naturforskning. <http://hdl.handle.net/11250/5483204>

Vedlegg

Vedlegg A. Arter som bare ble påvist i fellene på lysmastene B1

Tegnforklaring: x påvist bare i B1 - ikke påvist dette året

Order	Family	Genus	Species	2023	2024	2025
Coleoptera	Carabidae	Amara	<i>Amara ovata</i>	X	-	-
Coleoptera	Carabidae	Amara	<i>Amara similata</i>	X	X	-
Coleoptera	Chrysomelidae	Chaetocnema	<i>Chaetocnema hortensis</i>	-	X	-
Coleoptera	Chrysomelidae	Phratora	<i>Phratora vitellinae</i>	X	-	-
Coleoptera	Ciidae	Cis	<i>Cis boleti</i>	X	-	-
Coleoptera	Cryptophagidae	Atomaria	<i>Atomaria nigrirostris</i>	X	-	-
Coleoptera	Curculionidae	Dryocoetes	<i>Dryocoetes autographus</i>	-	X	-
Coleoptera	Curculionidae	Polydrusus	<i>Polydrusus tereticollis</i>	X	-	-
Coleoptera	Curculionidae	Sitona	<i>Sitona obsoletus</i>	X	-	-
Coleoptera	Elateridae	Hypnoidus	<i>Hypnoidus riparius</i>	X	-	-
Coleoptera	Elateridae	Selatosomus	<i>Selatosomus aeneus</i>	-	X	-
Coleoptera	Elateridae	Selatosomus	<i>Selatosomus</i> sp. (<i>S. aeripennis</i>)	-	X	-
Coleoptera	Leiodidae	Catops	<i>Catops fuliginosus</i>	X	-	-
Coleoptera	Leiodidae	Catops	<i>Catops</i> sp. (<i>C. ventricosus</i>)	X	-	-
Coleoptera	Nitidulidae	Brassicogethes	<i>Brassicogethes aeneus</i>	-	X	-
Coleoptera	Nitidulidae	Soronia	<i>Soronia grisea</i>	X	-	-
Coleoptera	Scarabaeidae	Aphodius	<i>Aphodius ater</i>	X	-	-
Coleoptera	Scarabaeidae	Melolontha	<i>Melolontha hippocastani</i>	-	X	-
Coleoptera	Staphylinidae	Amischa	<i>Amischa decipiens</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Anthobium	<i>Anthobium unicolor</i>	-	X	X
Coleoptera	Staphylinidae	Atheta	<i>Atheta incognita</i>	-	-	X
Coleoptera	Staphylinidae	Atheta	<i>Atheta laticollis</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Atheta	<i>Atheta melanaria</i>	-	X	-
Coleoptera	Staphylinidae	Atheta	<i>Atheta myrmecobia</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Atheta	<i>Atheta pilicornis</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Carpelimus	<i>Carpelimus corticinus</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Medon	<i>Medon apicalis</i>	X	-	-
Coleoptera	Staphylinidae	Ocalea	<i>Ocalea badia</i>	-	-	X
Coleoptera	Staphylinidae	Quedius	<i>Quedius fuliginosus</i>	-	-	X
Coleoptera	Staphylinidae	Philhygra	<i>Philhygra palustris</i>	-	X	-
Coleoptera	Staphylinidae	Tachyporus	<i>Tachyporus chrysomelinus</i>	X	-	X
Coleoptera	Staphylinidae	Tachyporus	<i>Tachyporus hypnorum</i>	-	-	X
Diptera	Anthomyiidae	Hylemya	<i>Hylemya nigrimana</i>	X	-	-
Diptera	Cecidomyiidae	Mayetiola	<i>Mayetiola destructor</i>	-	X	-
Diptera	Ceratopogonidae	Culicoides	<i>Culicoides circumscriptus</i>	X	-	-
Diptera	Ceratopogonidae	Culicoides	<i>Culicoides punctatus</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Corynoneura	<i>Corynoneura fittkau</i>	X	X	-
Diptera	Chironomidae	Cricotopus	<i>Cricotopus trifasciatus</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Halocladus	<i>Halocladus varians</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Macropelopia	<i>Macropelopia</i> sp. (<i>M. paranebulosa</i>)	-	-	X

Order	Family	Genus	Species	2023	2024	2025
Diptera	Chironomidae	Natarsia	<i>Natarsia punctata</i>	X	X	-
Diptera	Chironomidae	Paraphaenocladus	<i>Paraphaenocladus impensus</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Parapsectra	<i>Parapsectra uliginosa</i>	-	-	X
Diptera	Chironomidae	Smittia	<i>Smittia leucopogon</i>	X	-	X
Diptera	Chironomidae	Smittia	<i>Smittia pratorum</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Smittia	<i>Smittia cf. stercoraria</i>	-	-	X
Diptera	Chironomidae	Tanytarsus	<i>Tanytarsus mendax</i>	X	-	-
Diptera	Chironomidae	Tanytarsus	<i>Tanytarsus volgensis</i>	-	X	-
Diptera	Chironomidae	Tvetenia	<i>Tvetenia calvescens</i>	-	-	X
Diptera	Culicidae	Culiseta	<i>Culiseta alaskaensis</i>	-	-	X
Diptera	Empididae	Rhamphomyia	<i>Rhamphomyia sulcata</i>	-	-	X
Diptera	Empididae	Rhamphomyia	<i>Rhamphomyia umbripennis</i>	-	-	X
Diptera	Ephydriidae	Hydrellia	<i>Hydrellia modesta</i>	-	X	-
Diptera	Fanniidae	Fannia	<i>Fannia pallitibia</i>	X	-	-
Diptera	Lauxaniidae	Calliopum	<i>Calliopum simillimum</i>	X	-	-
Diptera	Lauxaniidae	Meiosimyza	<i>Meiosimyza decipiens</i>	X	-	-
Diptera	Lauxaniidae	Meiosimyza	<i>Meiosimyza platycephala</i>	X	X	-
Diptera	Lonchaeidae	Lonchaea	<i>Lonchaea fraxina</i>	X	-	-
Diptera	Milichiidae	Madiza	<i>Madiza glabra</i>	-	X	-
Diptera	Muscidae	Coenosia	<i>Coenosia pumila</i>	X	-	-
Diptera	Muscidae	Hydrotaea	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i>	-	X	-
Diptera	Mycetophilidae	Cordyla	<i>Cordyla fissa</i>	X	-	-
Diptera	Mycetophilidae	Tetragoneura	<i>Tetragoneura sylvatica</i>	-	X	-
Diptera	Opomyzidae	Opomyza	<i>Opomyza florum</i>	-	-	X
Diptera	Phoridae	Megaselia	<i>Megaselia giraudii</i>	-	X	-
Diptera	Phoridae	Megaselia	<i>Megaselia meconicera</i>	-	X	-
Diptera	Psychodidae	Psychoda	<i>Psychoda alternata</i>	X	-	-
Diptera	Psychodidae	Psychoda	<i>Psychoda grisescens</i>	X	-	-
Diptera	Sciaridae	Corynoptera	<i>Corynoptera verrucifera</i>	X	-	-
Diptera	Sciaridae	Cratyna	<i>Cratyna nobilis</i>	X	X	-
Diptera	Sciaridae	Cratyna	<i>Cratyna vagabunda</i>	X	-	-
Diptera	Sciaridae	Lycoriella	<i>Lycoriella agraria</i>	X	-	-
Diptera	Sciaridae	Scatopsciara	<i>Scatopsciara calamophila</i>	-	-	X
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium angustipes</i>	-	X	-
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium aureum</i>	-	X	-
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium cryophilum</i>	-	X	X
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium ornatum</i>	-	X	-
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium vernalis</i>	-	X	-
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium</i> sp. (<i>S. aokii</i>)	X	-	-
Diptera	Simuliidae	Simulium	<i>Simulium tuberosum</i>	X	-	-
Diptera	Syrphidae	Melanostoma	<i>Melanostoma mellinum</i>	-	X	-
Diptera	Syrphidae	Orthonevra	<i>Orthonevra geniculata</i>	-	X	-
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	<i>Baetis rhodani</i>	-	-	X
Hemiptera	Aleyrodidae	Trialeurodes	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	-	X	-
Hemiptera	Aphididae	Aphis	<i>Aphis rumicis</i>	X	-	-
Hemiptera	Aphididae	Ceruraphis	<i>Ceruraphis eriophori</i>	-	X	-

Order	Family	Genus	Species	2023	2024	2025
Hemiptera	Aphididae	Colopha	<i>Colopha compressa</i>	-	-	X
Hemiptera	Aphididae	Dysaphis	<i>Dysaphis</i> sp. (<i>D. rumecicola</i>)	X	-	X
Hemiptera	Aphididae	Hyperomyzus	<i>Hyperomyzus</i> sp. (<i>H. carduellinus</i>)	X	-	-
Hemiptera	Aphididae	Hyperomyzus	<i>Hyperomyzus pallidus</i>	X	-	-
Hemiptera	Aphididae	Pemphigus	<i>Pemphigus bursarius</i>	-	-	X
Hemiptera	Cicadellidae	Eupteryx	<i>Eupteryx calcarata</i>	-	X	-
Hemiptera	Cicadellidae	Kybos	<i>Kybos butleri</i>	X	-	-
Hemiptera	Miridae	Monalocoris	<i>Monalocoris filicis</i>	X	-	-
Hemiptera	Pentatomidae	Aelia	<i>Aelia acuminata</i>	-	X	-
Hymenoptera	Braconidae	Aphidius	<i>Aphidius rhopalosiphi</i>	-	-	X
Hymenoptera	Formicidae	Formica	<i>Formica rufa</i>	-	-	X
Hymenoptera	Formicidae	Lasius	<i>Lasius umbratus</i>	-	X	-
Hymenoptera	Formicidae	Myrmica	<i>Myrmica rubra</i>	-	X	-
Hymenoptera	Ichneumonidae	Gelis	<i>Gelis areator</i>	-	X	-
Hymenoptera	Tenthredinidae	Cladius	<i>Cladius pectinicornis</i>	-	X	-
Hymenoptera	Vespidae	Vespula	<i>Vespula germanica</i>	-	X	-
Lepidoptera	Eriocraniidae	Dyseriocrania	<i>Dyseriocrania subpurpurella</i>	-	X	-
Lepidoptera	Nepticulidae	Ectoedemia	<i>Ectoedemia subbimaculella</i>	X	-	-
Lepidoptera	Noctuidae	Noctua	<i>Noctua pronuba</i>	X	-	-
Lepidoptera	Noctuidae	Orthosia	<i>Orthosia incerta</i>	-	-	X
Lepidoptera	Noctuidae	Protodeltote	<i>Protodeltote pygarga</i>	-	X	-
Lepidoptera	Noctuidae	Xestia	<i>Xestia c-nigrum</i>	-	-	X
Lepidoptera	Tischeriidae	Tischeria	<i>Tischeria ekebladella</i>	-	X	-
Lepidoptera	Tortricidae	Ptycholoma	<i>Ptycholoma lecheana</i>	-	X	-
Neuroptera	Chrysopidae	Chrysoperla	<i>Chrysoperla</i> sp. (<i>C. nipponensis</i>)	X	-	-
Odonata	Libellulidae	Sympetrum	<i>Sympetrum danae</i>	-	X	-
Odonata	Libellulidae	Sympetrum	<i>Sympetrum vulgatum</i>	X	-	-
Thysanoptera	Thripidae	Dendrothrips	<i>Dendrothrips degeeri</i>	-	X	-
Trichoptera	Limnephilidae	Limnephilus	<i>Limnephilus auricula</i>	-	X	-
Trichoptera	Limnephilidae	Limnephilus	<i>Limnephilus sparsus</i>	-	X	-
Trichoptera	Phryganeidae	Agrypnia	<i>Agrypnia</i> sp. (<i>A. deflata</i>)	X	-	-
Antall arter påvist kun i fellene på lysmastene			117			

Vedlegg B. Arter som ble påvist alle de tre forsøksårene

Alle arter har blastID $\geq 98\%$, og SUM ASV-verdi fra metabarkodingen er ≥ 1

Orden	Norsk navn (Artsdatabanken)	Family	Norsk navn (Artsdatabanken)	Genus	Species	Norsk navn (Artsdata-banken)	2023	2024	2025
Coleoptera	Biller	Apionidae	Spissnutebiller	Betulapion	<i>Betulapion simile</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Byturidae	Bringebærbiller	Byturus	<i>Byturus tomentosus</i>	Bringebærbiller	X	X	X
Coleoptera	Biller	Carabidae	Løpebiller	Loricera	<i>Loricera pilicornis</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Curculionidae	Snutebiller	Anisandrus	<i>Anisandrus dispar</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Curculionidae	Snutebiller	Hylobius	<i>Hylobius abietis</i>	Gransnutebiller	X	X	X
Coleoptera	Biller	Curculionidae	Snutebiller	Strophosoma	<i>Strophosoma capitatum</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Curculionidae	Snutebiller	Xyleborinus	<i>Xyleborinus saxesenii</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Latridiidae	Muggbiller	Corticicara	<i>Corticicara gibbosa</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Lymexylidae	Verftsbiller	Elateroides	<i>Elateroides dermestoides</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Monotomidae	Smalbiller	Rhizophagus	<i>Rhizophagus bipustulatus</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Mycetophagidae	Vedsoppbiller	Litargus	<i>Litargus connexus</i>	Dvergvedsoppbille	X	X	X
Coleoptera	Biller	Staphylinidae	Kortvinger	Amischa	<i>Amischa analis</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Staphylinidae	Kortvinger	Amischa	<i>Amischa nigrofusca</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Staphylinidae	Kortvinger	Mocyta	<i>Mocyta fungi</i>	-	X	X	X
Coleoptera	Biller	Staphylinidae	Kortvinger	Quedius	<i>Quedius mesomelinus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Anisopodidae	Vindusmygg		<i>Sylvicola cinctus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Anisopodidae	Vindusmygg	Sylvicola	<i>Sylvicola fenestralis</i>	Vanlig vindusmygg	X	X	X
Diptera	Tovinger	Anisopodidae	Vindusmygg	Sylvicola	<i>Sylvicola punctatus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Anthomyiidae	Grønnsakfluer	Delia	<i>Delia platura</i>	Bønneflue	X	X	X
Diptera	Tovinger	Anthomyiidae	Grønnsakfluer	Hydrophoria	<i>Hydrophoria linogrisea</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Cecidomyiidae	Gallmygg	Campylomyza	<i>Campylomyza flavipes</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Cecidomyiidae	Gallmygg	Oligotrophus	<i>Oligotrophus tardus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Ceratopogonidae	Sviknott	Culicoides	<i>Culicoides salinarius</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Ceratopogonidae	Sviknott	Dasyhelea	<i>Dasyhelea turficola</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Ceratopogonidae	Sviknott	Forcipomyia	<i>Forcipomyia ciliata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Ceratopogonidae	Sviknott	Forcipomyia	<i>Forcipomyia hygrophila</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Bryophaenocladus	<i>Bryophaenocladus</i> sp.	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Heterotrissocladius	<i>Heterotrissocladius marcidus</i>	-	X	X	X

Orden	Norsk navn (Artsdatabanken)	Family	Norsk navn (Artsdatabanken)	Genus	Species	Norsk navn (Artsdata-banken)	2023	2024	2025
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Limnophyes	<i>Limnophyes asquamatus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Limnophyes	<i>Limnophyes habilis</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Limnophyes	<i>Limnophyes minimus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Metriocnemus	<i>Metriocnemus albolineatus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Metriocnemus	<i>Metriocnemus eurynotus</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Metriocnemus	<i>Metriocnemus fuscipes</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Micropsectra	<i>Micropsectra pallidula</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Chironomidae	Fjærmygg	Smittia	<i>Smittia cf. stercoraria</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Culicidae	Stikkemygg	Culex	<i>Culex</i> sp.	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Dolichopodidae	Styltefluer	Medetera	<i>Medetera infumata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Limoniidae	Småstankelbein	Dicranomyia	<i>Dicranomyia modesta</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Muscidae	Møkkfluer	Helina	<i>Helina impuncta</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Muscidae	Møkkfluer	Muscina	<i>Muscina levida</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Muscidae	Møkkfluer	Polietes	<i>Polietes lardarius</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Phoridae	Pukkelfluer	Megaselia	<i>Megaselia excavata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Phoridae	Pukkelfluer	Megaselia	<i>Megaselia flava</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Phoridae	Pukkelfluer	Megaselia	<i>Megaselia woodi</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Polleniidae	Loftsfluer	Pollenia	<i>Pollenia pediculata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Polleniidae	Loftsfluer	Pollenia	<i>Pollenia rudis</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Polleniidae	Loftsfluer	Pollenia	<i>Pollenia vagabunda</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sarcophagidae	Kjøttfluer	Sarcophaga	<i>Sarcophaga variegata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Scathophagidae	Åkerfluer	Scathophaga	<i>Scathophaga inquinata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Bradysia	<i>Bradysia brevispina</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Bradysia	<i>Bradysia trivittata</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Ctenosciara	<i>Ctenosciara hyalipennis</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Camptochaeta	<i>Camptochaeta camptochaeta</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Cratyna	<i>Cratyna uliginosa</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Scatopsciara	<i>Scatopsciara atomaria</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Sciaridae	Sørgemygg	Scatopsciara	<i>Scatopsciara vitripennis</i>	-	X	X	X
Diptera	Tovinger	Syrphidae	Blomsterfluer	Helophilus	<i>Helophilus pendulus</i>	Vanlig solflue	X	X	X
Diptera	Tovinger	Tachinidae	Snyltefluer	Botria	<i>Botria</i> sp.	-	X	X	X

Orden	Norsk navn (Artsdatabanken)	Family	Norsk navn (Artsdatabanken)	Genus	Species	Norsk navn (Artsdata-banken)	2023	2024	2025
Diptera	Tovinger	Trichoceridae	Vintermygg	Trichocera	<i>Trichocera</i> sp.	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Anoecia	<i>Anoecia</i> sp.	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Acyrtosiphon	<i>Acyrtosiphon caraganae</i>	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Calaphis	<i>Calaphis flava</i>	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Euceraphis	<i>Euceraphis betulae</i>	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Euceraphis	<i>Euceraphis punctipennis</i>	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Rhopalosiphum	<i>Rhopalosiphum insertum</i>	Eplegrasbladlus	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Rhopalosiphum	<i>Rhopalosiphum padi</i>	Havrebladlus	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Rhopalosiphum	<i>Rhopalosiphum</i> sp.	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Aphididae	Bladlus	Symydobius	<i>Symydobius</i> sp.	-	X	X	X
Hemiptera	Nebbmunner	Miridae	Bladtuger	Lygus	<i>Lygus pratensis</i>	-	X	X	X
Hymenoptera	Veps	Apidae	Langtungebiler	Apis	<i>Apis mellifera</i>	Honningbie	X	X	X
Lepidoptera	Sommerfugler	Geometridae	Målere	Bupalus	<i>Bupalus piniaria</i>	Furumåler	X	X	X
Lepidoptera	Sommerfugler	Nymphalidae	Nymfvinger	Melitaea	<i>Melitaea</i> sp.	-	X	X	X
Psocodea	Støvlus	Caeciliusidae	-	Valenzuela	<i>Valenzuela flavidus</i>	-	X	X	X
Psocodea	Støvlus	Mesopsocidae	-	Mesopsocus	<i>Mesopsocus helveticus</i>	-	X	X	X
Psocodea	Støvlus	Psocidae	-	Loensia	<i>Loensia variegata</i>	-	X	X	X
Thysanoptera	Trips	Thripidae	-	Thrips	<i>Thrips fuscipennis</i>	Rosetrips	X	X	X
Thysanoptera	Trips	Thripidae	-	Thrips	<i>Thrips minutissimus</i>	-	X	X	X

En fullstendig liste over insektarter identifisert i metastrekkodingen kan oversendes på forespørsel.

NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er underlagt Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.



Forsidefoto: Ulrike Bayr (NIBIO) og Erling Fjeldaas (Statens vegvesen)
Baksidefoto: Ulrike Bayr (NIBIO)

Illustrasjon s. 11: Ulrike Bayr (NIBIO)
Illustrasjon s. 75: Jamal Safi (USN)