

Veggedyrbehandling med tørkepulver, CO₂-aktivering og varmestress

Prosjektdeltagere: Folkehelseinstituttet (FHI), Norsk Hussopp Forsikring (NHF), Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) og Skadedyrbransjen
Andre relevante aktører innen forsikring (IF, Storebrand og Fremtind) informeres om prosjektet og oppdateres fortløpende om resultater.

*NHF: Ragna Byrkjeland
Maren Trones Christiansen
Øyvind Magerøy*

*FHI: Avdelingsingeniør - Morten Hage/Thora Gundersen
Mari Steinert
Bjørn Arne Rukke
Anders Aak (prosjektleder)*

Faggruppe fra skadedyrbransjen

Arne Nese - arne.nese@rentokil-initial.com
Erik Thomas Gjølme - ErikThomas.Gjolme@anticimex.no
Kari Rigstad - kr@nokas-skadedyr.no
Vidar Andreassen - vidar@ovk.no
Mattis Engemoen Vold - mev@pelias.no
Espen Roligheten - espen.roligheten@bby.oslo.kommune.no

Teknisk/Faglig støtte

Geir K. Knudsen - geir.knudsen@nibio.no – 456 62 262
Svein Eddy Ludvigsen - SveinEddy.Ludvigsen@fhi.no – 976 02 727

Finansiering: Prosjektet finansieres via samarbeid mellom FHI og NHF. Det er behov for 50% avdelingsingeniør pr år i 2 år samt noe innleide spesialtjenester. NHF finansierer avdelingsingeniør i 12 måneder, nødvendig utstyr, resurser for publisering/nettverksbygging og spesialtjenester. FHI bidrar med forskere og laboratoriefasiliteter (3x15% stilling pr år i 2 år + administrasjon (omtrentlig 12 måneders forskningsinnsats). Skadedyrbransjen bidrar indirekte ved å dedikere teknikertid til prosjektet.

Prosjektet er en videreføring av prosjekt «39016 Veggedyr-Varmebehandling». Arbeidsform, samarbeidspartnere og prosjektorganisering følger tilsvarende oppsett. Faglig tilnærming er justert.

Bakgrunn

Veggedyr (*Cimex lectularius*) er en blodsugende ektoparasitt på mennesker. De transporteres mellom bygninger ved hjelp av objekter^{1,2} og kan spre seg internt i bygg hvis infestasjoner forblir ubehandlet³. Veggedyraktivitet og utvikling er temperaturavhengig, og individene suger blod ukentlig gjennom hele livet⁴⁻⁶. Livssyklusen inneholder 5 juvenile utviklingsstadier og kan gjennomføres på 5-6 uker under gode forhold. Veggedyr blir derfor mange i løpet av kort tid. Tidlig deteksjon og effektiv behandling er avgjørende for å begrense konsekvenser av infestasjoner og videre spredning^{7,8}.

Oppsvinget man har sett de siste 20 årene skyldes i stor grad økt globalisering, veggedyrenes resistens mot pesticider og manglende kunnskap om bekjempingsmetodikk og effektive strategier⁹. Pesticidresistens gjør at man nå er tvunget til å benytte ikke-kjemiske metoder som kuldebehandling^{10,11} (frysing av møbler), varmebehandling¹²⁻¹⁵ (damp, varmekammer og helhetlig oppvarming av leiligheter), tørkepulver¹⁶⁻²¹ og insektdrepende sopp^{17,22-27}. Normalt benytter man kombinasjoner av disse strategiene i en integrert bekjemping som via gjentatte besøk strekker seg over noen uker²⁸⁻³⁰. Dette løser problemet, men mangel på effektive pesticider har vært en betydelig kostnadsdriver og en håndtering av større infestasjoner vil ofte koste mellom 25 000,- og 50 000,- kr i Norge³¹.

Skade

Veggedyr er ett av de vanskeligste skadedyrene å bli kvitt. De er et betydelig irritasjonsmoment for beboere og de bør utryddes tidlig under angrepet og dermed forhindre de mer omfattende problemene fra vedvarende infestasjoner. Veggedyr er heldigvis ikke kjent som vektorer for sykdommer til tross for at flere mikro-organismer er registrert i veggedyr etter blodsuging³²⁻³⁸. Bittene i seg selv er ikke skadelige³⁹, men det er vanlig å utvikle kraftigere reaksjoner over tid. Bittresponser gir da kløe, hevelser og i verste fall sår og sprukken hud⁴⁰. Sekundærinfeksjon på bittsted kan oppstå hvis man klør seg på sprukken hud⁴¹. Selv om veggedyr har en begrenset direkte medisinsk betydning, anses de som et vesentlig problem for opprettholdelse av god livskvalitet, og de indirekte negative helseeffektene kan være alvorlige.

Den viktigste konsekvensen av en vedvarende infestasjon er koblet til mental helse og det psykiske stresset man opplever når man har blodsugende insekter på soverommet⁴²⁻⁴⁶. Denne effekten er betydelig hvis man ikke har alternative steder for hvile. Veggedyr kan da gi søvnproblemer og utløse angst og depresjon⁴⁶. Spesielt vil dette få konsekvenser ved feilslått bekjemping og tilbakefall siden stressfaktoren da vil vedvare over tid. Feilslått behandling har også betydning for bekjempingskostnaden og kan forsterke stresset siden personlig økonomi påvirkes⁴⁷. Vedvarende veggedyrproblemer kan også kobles til sosial stigmatisering og isolering siden mange ofte har en misforstått kobling mellom renslighet og infestasjon, samtidig som man frykter for å få skylden for innførsel og videre spredning i boligkomplekser^{7,48-50}.

Veggedyr suger en ganske stor mengde blod ved hvert måltid⁵¹, og større infestasjoner har medført betydelig blodtap hos beboere^{52,53}. Dette er spesielt alvorlig hvis mindre barn eller personer med nedsatt allmenntilstand eksponeres for veggedyr⁵⁴. Blodtap regnes som en uvanlig side-effekt, men tyngre infestasjoner forekommer i Norge og da spesielt hos fattigere samfunnsgrupper som mangler finansielle midler for effektiv håndtering av skadedyret³¹.

Siden veggedyr aggregerer i senger kan man også utsettes for forhøyede nivåer av allergifremkallende organiske partikler når insekthuder, veggedyrekskrementer, døde dyr og veggedyrassosierte mikroorganismer forstøves og innåndes^{54,55}. Veggedyr benytter også et aggregeringssignal som i tillegg til flyktige signalkjemikalier inneholder kontaktelementet histamin⁵⁶⁻⁵⁸. Forhøyede nivåer av organiske partikler og histamin i soverom utgjør en risiko for forverring av astmatiske problemer^{55,59}.

En siste indirekte konsekvens av veggedyrangrep er muligheten for gifteksponering blant beboere i infesterte boliger. De tradisjonelle kjemiske giftstoffene skal i utgangspunktet ikke benyttes mot veggedyr siden de er resistente, og en slik behandling vil gi en svært begrenset effekt. Privatpersoner benytter likevel gift i stor grad, og ofte «i full panikk» med helt feil dosering^{49,60-62}. Dette gjøres da spesielt på soverom og i senger, og man får derfor en betydelig forringelse av innemiljøet med gifteksponering der man tilbringer store deler av døgnet. Selv om de vanligste innsektsmidlene har lavere akutt giftighet for pattedyr, er kronisk eksponering for nervegift et delvis ubeskrevet kapittel hos mennesker⁶³⁻⁶⁶. En situasjon med forhøyede giftnivåer i soverom er uønsket og understreker behovet for kostnadseffektive og trygge metoder for håndtering av veggedyr.

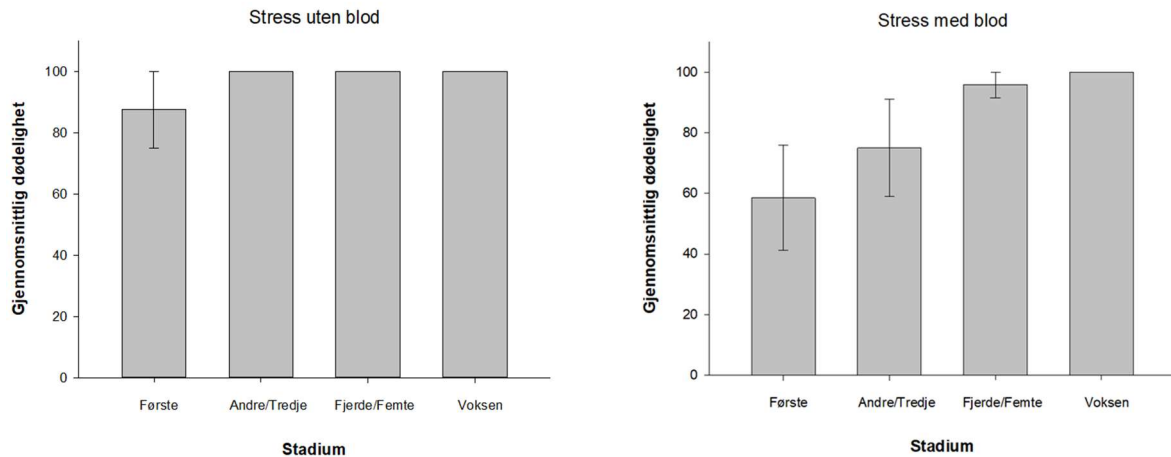
Bekjempelsesaspekter som trenger utvidet kunnskap

CO₂ som adferdsregulerende signal hos veggedyr: Mennesker produserer omtrentlig 250 ml CO₂ pr minutt. Dette gjør veggedyr i stand til å registrere menneskelig tilstedeværelse i et rom. De vil da forlate sine skjulesteder og bevege seg mens de søker etter verten. Dette gjør dem sårbare ved at de i større grad eksponeres for behandlingstiltakene vi retter mot dem. Selv om responsen til CO₂ er beskrevet mange steder er litteraturen uklar på hvordan CO₂ påvirker veggedyr^{16,67-73}. Det er ikke tydelig avklart hvorvidt CO₂ gir retningsbestemt bevegelse (attraksjon) eller om det rett og slett trigger aktivitet og mer tilfeldig bevegelse (mobilitets stimulering). Noen studier peker på veldig høy sensitivitet og respons til ørsmå mengder CO₂, andre på en dose-respons-sammenheng og noen studier indikerer at for høy dose kan være negativt. CO₂ er konstant til stede med litt over 400ppm og en respons hos veggedyr trenger trolig en tydelig endring i forhold til dette bakgrunnsnivået. Det er også beskrevet mulige interaksjoner og synergieffekter mellom CO₂ og andre luktstoffer hos mennesker^{67,68,74,75}. Visuelle signaler under bevegelse/orientering er også en faktor for veggedyr som leter etter et blodmåltid^{76,77}, men eventuelle koblinger mellom visuelle stimuli og CO₂ er ikke studert. Økt forståelse for sansekologien til veggedyr kan være en nøkkel for bedre bekjempelse. Halvårs-evalueringene bør derfor også ta høyde for at CO₂ som stimulant ikke nødvendigvis er nok. Man kan derfor bli nødt til å justere forskningsfokuset noe mer mot kjemisk økologi.

Tørkepulver mot veggedyr: Det finnes flere studier som viser at tørkepulver (amorf silica, SiO₂) dreper veggedyr, men hvordan formulering av pulveret, dosering, substrat, miljø og avsetning påvirker effekten er dårligere studert^{16-21,78}. Veggedyr er i utgangspunktet veldig motstandsdyktige mot uttørking gjennom en tett overflate som begrenser fordampning. Tørkepulveret ødelegger denne overflaten slik at væsketapet blir stort nok til at veggedyr dør raskt. Aktivisering og økt bevegelse vil sannsynligvis øke kontakten med tørkepulveret og dermed øke dødeligheten. Ved å frembringe utvidet kunnskap om bruk og dosering av tørkepulver i bekjempingssituasjoner er det sannsynlig at man kan oppnå høyere grad av eksponering og dermed forbedret bekjemping. Fordelene av tørkepulver brukt i kombinasjon med CO₂ er illustrert både i laboratoriestudier og ved bekjemping av infestasjoner¹⁶, men det er et tydelig behov for å utfordre og studere dette fordelaktige samspillet grundigere.

Varme som bekjempelsesstøtte: Under vanlig varmebehandling mot veggedyr sikter man seg inn på 60°C siden man ønsker rask dødelighet og hurtig varmeutveksling med objekter i de infesterte lokalene^{12,14}. Dette krever kraftig og tungt utstyr, høyt energiforbruk, flere teknikere i sving samtidig og utvidede brannsikkerhetstiltak. Man må også utvise forsiktighet siden store og brå temperatursvingninger har potensiale til å skade inventar og deler av bygningsmassen. Varmebehandling er effektivt når det gjøres riktig, men arbeidsmengden kan i en del tilfeller bli stor og kostnadene høye. Laboratoriestudier med varmestress rundt 40°C har vist en rekke populasjonsbegrensende effekter hos veggedyr^{15,79}, og man har observert forbedret effekt fra bekjempingsmidler¹⁷. Vedvarende varmestress har i seg selv et stort potensial til å drepe veggedyr og kan derfor også bidra som en giftfri bekjempingsmetode. Man har observert 100% dødelighet hos

voksne veggedyr hvis temperaturen holdes på 40°C i 48 timer⁷⁹ og innledende laboratoriestudier utført av FHI viser at dette temperatur-regimet også vil drepe alle stadier med og uten blod, samt gi betydelig dødelighet allerede etter 24 timer (Figur 1). Utover regulering av metabolisme, væskebalanse og varmesjokkproteiner (HSP)⁸⁰⁻⁸² er mekanismer og drivkreftene bak de observerte varmessresseffektene dårlig beskrevet. Det er sannsynlig at energikostnaden veggedyr har ved å motstå varmessress vil gjøre dem mer mottakelig for bekjemping med tørkepulver samtidig som egg har en forventet høy dødelighet på temperaturer fra 34°C og oppover^{79,83,84}



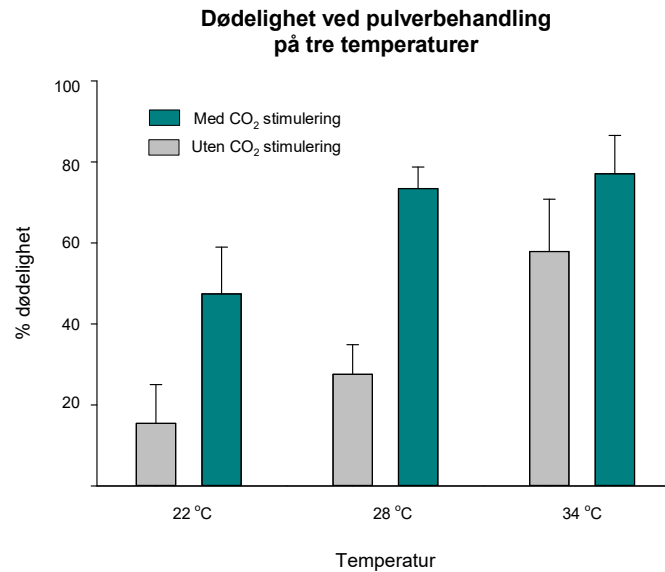
Figur 1: Prosent dødelighet hos forskjellige stadier av veggedyr etter 24 timer med varmessress på 40°C (ikke publisert data).

Sett i lys av den høye dødeligheten og de mulige tilleggseffekter man oppnår ved forhøyet temperatur vil det være interessant å teste temperaturstress som strekker seg over lengre perioder under bekjempning. Innledende undersøkelser har avdekket at det er krevende å oppnå jevnt fordelt temperatur på 40°C eller høyere uten å ta i bruk tyngre varmeutstyr. Vi har derimot sett at vi ganske enkelt vil kunne nå stabile temperaturer mellom 35°C og 38°C med enkle vifteovner. Dette temperaturspenet vil trolig påføre veggedyrene et betydelig varmessress^{15,17,79} og vil være billigere enn ordinær varmebehandling.

Bekjempingsutfordringer som kan løses gjennom prosjektet

Veggedyr overlever lange perioder uten å suge blod og de er godt tilpasset vårt stabile innemiljø som ofte inneholder mange godt egnede skjulesteder. De er små og flate, og de er meget flinke til å stikke seg vekk. Veggedyr har også et veldig høyt reproduktivt potensial. Dette betyr at de vil komme raskt tilbake hvis bekjempingen ikke er grundig og 100% effektiv. Populasjoner i en infestert leilighet vil også ha en kontinuerlig fordeling av egg, utviklingsstadier og individer med variabel tid siden forrige blodmåltid. Utviklingshastighet og tiden de bruker på å fordøye måltider avhenger av temperaturen, men man kan forvente 7-10 dager mellom hvert måltid eller utviklingsstadium. Dette betyr at det til enhver tid vil være mange individer som sitter stille i skjulestedet sitt i minst 1 uke. Dette er krevende for bekjemping siden disse passive individene er spesielt vanskelige å få has på. Hvis man i tillegg kombinerer passiviteten hos hunner med utviklingshastigheten på egg sitter man igjen med 14 dager med skjulte individer før den nye generasjonen aktiveres. På toppen av dette har det vist seg at veggedyr har høyere motstandsdyktighet mot bekjempelsesmidler rett etter blodsuging. Et viktig punkt i bekjemping kan derfor være å redusere den passive tiden og motstandsdyktigheten mot bekjemping så mye som mulig. Dette kan oppnås ved forhøyet temperatur. Uten tilgang på nytt blod

vil populasjonen da kunne synkroniseres i forhold til blodforingsstatus og dermed gjøres mer mottakelig for behandling i sin helhet. Vi anser derfor at varmemstress kan ha et stort potensial for å gi bedre bekjemping i kombinasjon med tørkepulver og CO₂-aktivering^{15-17,79}. Innledende studier utført av FHI viser en klart forbedret effekt fra både tørkepulver og CO₂-aktivering ved forhøyede temperaturer (Figur 2), og vi håper derfor på en god synergi mellom disse tre tiltakene også under praktisk bekjemping. Metabolisme under temperaturstress vil også være høyere slik at eventuelle responser til CO₂ trolig vil forsterkes og dermed bidra til en ytterligere eksponering for tørkepulveret. Dagens veggedyrbekjemping benytter flere gode men arbeidskrevende metoder i en lokaltilpasset strategi. Dette blir ofte kostbart, og tilpasningen av metodikken har en tendens til å lene seg mest mot praktisk gjennomføring. Bekjempelsen benytter seg i mindre grad av biologiske vurderinger og relevante betraktninger koblet til veggedyrenes skjulte levevis. De tre elementene forbedret bruk av tørkepulver, CO₂-aktivering og varmemstress, samt interaksjoner mellom disse metodene, vil derfor bidra til å optimalisere de nåværende bekjempingsstrategiene. Kunnskapen vil dermed la skadedyrbransjen møte en del av de sentrale utfordringene i en veggedyrbekjempelse på en bedre måte.



Figur 2. Dødelighet fra tørkepulver under forskjellige temperaturer, samt med og ut CO₂-stimulering i adferdsarenaer (ikke publiserte data).

Eksperimenter og metoder

I prosjektet «Veggedyrbehandling med tørkepulver, CO₂-aktivering og varmemstress» er det i hovedsak 3 temaer som ønskes belyst gjennom en blanding av laboratoriestudier og feltundersøkelser.

1. Hvordan dosere tørkepulver best mulig (effekt og effektivitet)
2. Hvordan dosere og benytte CO₂ stimulering (maksimere aktivering)
3. Hvordan utnytte varmemstress til å forbedre effekten av både CO₂ og tørkepulver

Temaene er valgt i samråd med skadedyrbransjen og er satt opp for å dekke deres uttalte kunnskapshull i forbindelse med bruk av tørkepulver og CO₂ i veggedyrbekjempelse. Varmestress er i tillegg inkludert fordi det har potensiale til å forbedre effekten fra disse to metodene. Vi ønsker også at skadedyrteknikere skal ha en rolle i laboratoriestudiene på FHI, og at man får til et samarbeid mellom FHI og teknikere i felt. Dette sikrer skadedyrbransjens medvirkning til konseptutvikling og at firmaene raskt får nødvendig kunnskap. Felt-samarbeid via NHF sine kunder vil også sørge for at vi skaffer oss god dokumentasjon på en praktisk gjennomførbar bekjemping. For å realisere samfunnsnyttene så effektivt som mulig benytter vi ulike interessegrupper (skadedyrfirmaene (leverandør), forsikringsbransjen (bestiller) og Folkehelseinstituttet (kunnskapsinstitutt/forvalter)) til å finne bekjempingstilnærminger i fellesskap. En tilsvarende tilnærming med skadedyrbransjen og NHF viste seg å fungere bra under utviklingen av bekjempingsmetodikk mot skjeggkre.

Laboratoriestudier - dosering og metodikk for applisering av tørkepulver

Det er vesentlig å studere relevante produkter som er i bruk i Norge samt internasjonale produkter med dokumentert effekt (Cimexa, Aco-spray, Myrnix (insekt-nix), Azor-powder). Ved å studere dosering og applisering vil vi finne best mulig dose for praktisk bruk. For høy dose er avskrekkende på veggedyr⁷⁸, men det er mulig at de dør likevel hvis de plukker opp tilstrekkelige mengder før de går vekk fra det behandlede området. Siden det er vanskelig og urealistisk at man klarer å dosere perfekt i felt bør man sikte seg inn på å finne utstyr og arbeidsmetode som gir så lav og jevn dose som mulig.

Utstyr for avsetning av pulver vil velges og testes i laboratoriet sammen med skadedyrteknikere. Da kan vi få en vurdering av mengde og jevnhet av det doserte pulveret og vi kan måle forskjellige teknikker i «simulerte» situasjoner. Disse lab-skadedyrtekniker-testene vil involvere skadedyrbransjen direkte og derfor kunne gi mye raskere innføring av egnet utstyr gjennom brukermedvirkning.

Identifisering og bruk av egnet utstyr (eksperiment 1)

Praktisk bruk og måling av avsetning: For å velge ut sprøyter for lavdose (sprøyter/pulverdåser/vifter) kan vi trolig benytte subjektive metoder. Når utstyr er valgt bør vi likevel gjennomføre tester med måling av avsatt mengde og koble dette til faktisk dødelighet hos veggedyr. Teknikere gjennomfører behandling av forhåndsdefinerte flater/moduler og avsatt dose måles og evalueres av FHI.

Behandling av infesterte objekter (eksperiment 2)

Objekter og miljøpåvirkning: De forskjellige situasjonene man møter i en mer realistisk feltsituasjon vil kunne gi «støy» og påvirke avsetning av pulveret gjennom turbulens, statisk elektrisitet, overflatetekstur og lignende. Vi bør derfor teste det utvalgte utstyrets evne til å avsette jevnt på komplekse objekter og vurdere inntrengning i sprekker, under kanter og bak forhøyninger. Dette vil gjøres ved å konstruere problemobjekter som plasseres i veggedyrarenaer. Vi slipper ut dyrene på objektene og lar dem gjemme seg. Teknikere behandler etter beste evne og vi sjekker dødelighet. Vi ønsker å konstruere et problemobjekt som ikke lar seg behandle fullstendig med tørkepulver alene. Denne utfordringen vil kunne sette det valgte utstyret på maksimal prøve og senere fungere som verifisering av synergieffekter knyttet til CO₂ aktivering og varmemstress (se laboratoriestudier – kombinasjonsbehandling (eksperiment 5)).

CO₂-aktivering og grad av respons

Det er viktig at vi prøver å legge et kunstig CO₂ signal så tett på et menneskelignende stimuli som mulig siden man vet at dette vil utløse respons. Det kan være viktig å avklare om veggedyr kun responderer på endringer ([X]/min) og ikke den faktiske konsentrasjonen av CO₂.

CO₂-endring i soverom og simulering av menneskelig tilstedeværelse (teknisk utvikling 1)

Det er stor variasjon i hvordan CO₂ profilen på vanlige soverom endrer seg gjennom natten. Romstørrelse, utlufting og antall mennesker er viktige faktorer for endring og akkumulering av CO₂. Det er spesielt viktig å måle disse endringer på steder der veggedyrene faktisk sitter. CO₂-loggere vil derfor bli plassert under senga, rett ved senga og 2 andre steder i rommet for å danne et bilde av ytterpunkter for CO₂ profilen gjennom natten. Logging vil foregå på FHI- eller NHF-ansattes soverom i kombinasjon med et kort utfyllings skjema som beskriver fysiske forhold på rommet. Ved å benytte en tidsstyrt og justerbar ventil på en CO₂-tank kan vi simulere sovende mennesker. Den gjenskapte profilen må også verifiseres i felt.

Adferdsresponsers til CO₂ (eksperiment 3)

Veggedyraktivitet under simulert tilstedeværelse av menneske vil måles ved hjelp av videoanalyse i veggedyr-arenaer. Dette lar oss kvantifisere responsers til forskjellige varianter av stimulering. Vi vil derfor teste:

1. Understimulering for å se om vi må over en terskel for å oppnå aktivitet.
2. Simulert menneske.
3. Overstimulering for å se om man taper aktivitet ved høy dose.
4. Tre trinn mellom disse ytterpunktene kan måles hvis over- eller understimulering identifiseres

Dette arbeidet vil la oss dokumentere en dose-respons kurve og la oss forutsi hva som eventuelt er maksimal respons. Denne typen utfyllende kunnskap om CO₂-aktivering er av høy praktisk betydning innen bekjemping. Hvis veggedyr responderer på endring i CO₂ fremfor faktiske konsentrasjoner, vil det være spesielt interessant å også sjekke om man kan øke aktiviteten ved å slippe ut CO₂ i intervaller for å skape en rask økning flere ganger gjennom natten. Dette kan trigge veggedyr gjentatte ganger slik at man skaper et superstimuli. Siden mennesker slipper ut CO₂ i jevne pulser, kan man, som et mulig steg mot et superstimuli, også teste en åpne/lukke-frekvens som gjenskaper inn- og utånding hos menneske.

Laboriestudier – tørkepulverpåvirket adferd (teknisk utvikling 2)

Det finnes indikasjoner på at veggedyr unngår store doser av tørkepulver⁷⁸. Det er derfor sannsynlig at det er mye å hente på å benytte en dose som er så lav, at de ikke merker noe, men dør. For å kunne studere dette på en relevant måte må det utvikles og bygges et barriere-bio-assay som kan produsere relevant informasjon for bekjemping i felt. Det mangler standardiserte systemer for krypende insekter som tilsvarer måling av «optisk-motorisk bevegelse» hos flyvende insekter^{85,86}. Dette gjør det vanskeligere å produsere og tolke informasjon knyttet til adferdsmessige unnvikelse av tørkepulver. Syn er ofte et viktig orienteringsstimuli også for nattaktive insekter^{87,88}, men for veggedyr er det foreløpig uklart hvordan syn påvirker retningsbestemt bevegelse^{76,77}. Kunnskap om sanseregulert adferd er avgjørende for å forstå hvordan CO₂ virker (aktivator eller lokkemiddel) og for å kunne vurdere veggdyrenes muligheter til å styre unna tørkepulver. FHI har kompetanse på adferd og kjemisk økologi og vi har nødvendige fasiliteter (adferdslaboratorier og arena-rom). For å utvikle og sette opp et spesialtilpasset bio-assay er det ønskelig med samarbeid med ekspertise på NIBIO (G.K. Knudsen) og noe utvidet teknisk assistanse ved FHI (Svein Eddy Ludvigsen). Dette vil styrke faggruppa og øke sannsynligheten for å oppnå resultater. Hensikten med disse laboriestudiene er å finne en metode som kan definere attraksjon og videre identifisere hvilke doser som «skruer av» denne attraksjonen. Dette arbeidet innebærer høy «forskningsmessig risiko» siden metoden delvis må utvikles, men eventuelle funn fra disse eksperimentene vil være direkte anvendbare i bekjemping.

Laboriestudier – kombinasjonstilnærming

For komplett forståelse av en kombinasjonstilnærming vil testing av flere tid-temperatur kombinasjoner med og uten tilgang til blod være relevant. Dette vil supplere de tidligere observasjonene av dødelighet ved temperaturstress. Forsøket vil utføres på samme måte som i forundersøkelsen, men med temperaturene 34°C, 36°C og 38°C.

Varmestress og tvunget pulvereksponering (eksperiment 4).

Ved å velge dyr fra tid-temperatur gruppene som har delvis til fullstendig overlevelse under rent varmessress kan vi få et innblikk i den praktiske nytteverdien av varmessress sammen med pulvereksponering. Varmestressede veggedyr vil eksponeres for en minimal dose av tørkepulver i kort tid. Dette lar oss måle bekjempingsbidraget fra ikke-dødelig varmessress. Disse eksperimentene kan derfor identifisere hvilke tid-temperatur-kombinasjoner som er effektive og mest relevante for å øke dødeligheten. Antallet studie-kohorter vil avhenge av resultatene fra varmessresset.

Simulert bekjemping med naturlig pulvereksponering (eksperiment 5)

Simulering av bekjemping er en viktig del av praktiske studier siden man kan kvantifisere bidrag fra de enkelte komponentene. Ved å benytte de «umulige» objektene (beskrevet over) kan vi teste forbedring av metoden ved hjelp av CO₂-aktivering og varmessress. En gjennomføring av behandling med 1) kun pulver, 2) kun CO₂-aktivering og 3) en kombinasjon av pulver og CO₂ vil la oss angi hvor stort bidrag man får fra å simulere tilstedeværelse av menneske, samt beskrive synergien man henter ut via CO₂-aktiveringen. Dyr fra 22°C (kontroll), sammenlignes med studiekohorter med lavt og høyt varmessress. Dette studiet vil i sum la oss evaluere effekten fra forhøyet temperatur i kombinasjon med CO₂-aktivering samtidig som det vil la oss måle hvilket behandlingsregime som sikrer bevegelse og dermed økt pulvereksponering. Denne typen lab-studier vil kunne fungere som en erstatning for kontrollbehandling (ingen ting), kun CO₂-aktivering og kun lavnivå varme i ekte bekjempingsstudier hjemme hos folk. Det er etisk utfordrende å benytte seg av kontrollbehandlinger i felt siden forventningen er feilslått bekjemping.

Optimalisert bekjemping (eksperiment 6)

Hvis vi avdekker en optimalisert pulver-CO₂-varme strategi vil det også være relevant å teste ut høy-, middels- og lavnivå infestasjoner med variabel grad av blodsuging. Ved å sette ut forskjellige kohorter av veggedyr i de «umulige» rommene kan vi simulere og potensielt belyse graden av synkronisert respons i naturlige felt populasjoner.

Verifisering av ny metodikk

Lavnivå varme (40°C) som eneste metode er mulig, men det gjennomførte forstudiet indikerer at dette vil være vanskelig å få til i praksis. Etter all sannsynlighet er det likevel behov for en begrenset oppvarming av rom under praktisk bekjemping. Erfaringene med en ovn som har 8 fordelingsrør var så positive at systemet bør tas videre. NHF vil derfor lage 2 nedskalerte og bærbare ovner som benyttes til oppvarming av rom. Denne ovnen er bedre enn billige vifteovner fordi varmfordelingen blir jevn og fordi systemet unngår ekstremvarme for å heve lufttemperaturen. Ovnen skal kun heve temperaturen i et rom til 35-38°C.

Bekjempning i infesterte leiligheter

Feltundersøkelser medfører ganske mye «støy» og vi bør derfor ha minimum 10 gjentak per bekjempingsmetode. Ved store og tydelige forskjeller kan man klare seg med et noe mindre antall tester. Etterkontroll i flere uker etter behandling er nødvendig for å bekrefte suksessfull behandling. Fjerning av veggedyrinfestasjoner bør derfor foregå etter følgende 4-ukers protokoll:

1. *Veggedyr rapportert.*
2. *Tekniker og avdelingsingeniør på befaring (deskriptiv evaluering av populasjonsstørrelse etter 3 kategorier)*
3. *Overvåkingstiltak plasseres ut så raskt som mulig (4x1 uke → før/under og 3 x etterkontroll)*
4. *Behandling så raskt som mulig med tørkepulver, CO₂ og varme etter studiedesign*

5. *Evaluering med feller uke 1*
6. *Evaluering med feller uke 2*
7. *Evaluering med feller uke 3*
8. *Evaluering med feller uke 4*

Bekjempingsstudiet utføres i 3 runder med 12 deltagende leiligheter av omtrentlig samme karakter i hver runde. Innledningsvis utføres bekjempning av FHI og teknikere i samarbeid, mens man i løpet av de tre rundene gradvis går over til større teknikeransvar. Evaluering av effekt gjøres fortløpende og behandlingsregimer som eventuelt viser seg å være utilstrekkelige eller overflødige forkastes. Nøyaktig behandlingsstrategi vil defineres av prosjektet, men som et utgangspunkt vil infesterte rom bli fraflyttet og behandlet med pulver. Pulver og varme får virke i opptil 72 timer og simulert tilstedeværelse av mennesker vil gjøres på nattestid (mellom 2300 og 0700). Etter 72 timer fjernes pulver og rommet åpnes for bruk.

I **runde 1** tar teknikere kun hånd om tørkepulverbehandling i leilighetene, mens FHI gjennomfører CO₂-aktivering, varmebehandling, temperatur- og CO₂-logging, samt effektevaluering. 4 leiligheter får kun pulver, 4 leiligheter får pulver og CO₂ aktivering og 4 leiligheter får pulver, CO₂ aktivering og varmestress. Teknikere bidrar ved CO₂ aktivering og varmestress som en innledende innføring i metodikken.

I **runde 2** tar teknikere hånd om tørkepulverbehandling og CO₂-aktivering i leilighetene, mens FHI gjennomfører varmebehandling, temperatur- og CO₂-logging, samt effektevaluering. Studiedesign og behandlingsregime med 12 leiligheter beholdes fra runde 1. Leiligheter fra eventuelt forkastede behandlingsregimer fordeles på gjenværende metodikk.

I **runde 3** tar teknikere hånd om tørkepulverbehandling, CO₂-aktivering og varmebehandling i leilighetene, mens FHI gjennomfører temperatur- og CO₂-logging, samt effektevaluering. Studiedesign og behandlingsregime med 12 leiligheter beholdes fra runde 2.

På denne måten får man etablert et arbeidsforhold mellom teknikere og avdelingsingeniør samtidig som man sikrer at dataene vi får inn er solide nok for analyse. Tre runder gir maksimalt 36 bekjempinger. 12 gjentak av hver behandling er nok til å identifisere relevante forskjeller. Antallet bekjempinger er basert på at de tre firmaene Anticimex, Rentokil og Pelias deltar. I hver runde fordeles behandling (minimum, middels eller maks) tilfeldig til 12 infesterte leiligheter som igjen fordeles tilfeldig til firmaene (4 til hver). Hvis andre og mindre firmaer ønsker å delta kan de enten innlemmes med egne behandlinger slik at antallet gjentak økes per behandling eller ved at de deltar sammen med de store firmaene. Overvåkingen med passive detektorer vil benytte både climb-up og invers limfelle i et balansert design for å evaluere disse to felletypene mot hverandre. Hvis prosjektet fører helt frem til en optimalisert metode vil det være naturlig å se videre på rutiner før behandling igangsettes (førstehjelp for forsikringstakere) og eventuell oppfølging for å begrense uro rundt mulig re-infestasjon. Denne typen bekjempingsstøtte vil trolig bidra til at forsikringskunder sitter igjen med en bedre opplevelse av veggedyrhåndteringen.

Organisering og praktisk gjennomføring av prosjektet

Prosjektets overordnede ansvar ligger hos Avdelingsdirektør Mari Steinert og Områdeleder for Klima og Miljø Ågot Aakra. FHI er et forskningsbasert forvaltningsorgan under Helse- og omsorgsdepartementet som har nasjonale oppgaver innen kunnskapsproduksjon og formidling. Avdeling for skadedyrkontroll er en viktig nasjonal kunnskapskanal for innendørs skadedyrkontroll og betjener fagpersonell, skadedyrbekjempere og privatpersoner gjennom rådgivning og veiledning.

NHF representerer den største andelen av forsikringstakere i Norge og har direkte kobling til skadedyrfirmaene gjennom bestilling av skadedyrtjenester i forsikringsaker. De resterende forsikringsselskapene vil ha full tilgang til tilegnet informasjon underveis og etter prosjektet. En faggruppe bestående av Espen Roligheten fra Boligbygg Oslo KF og representanter fra Rentokil, Anticimex, Pelias og Oslo Veggedyrkontroll vil bli opprettet i samråd med SKABRA slik at man sikrer deltagelse fra mer enn 90% av skadedyrbransjen. Utviklingsarbeidet med NIBIO er en videreføring av et allerede etablert samarbeid knyttet til adferdsstudier på insekter. Prosjektleder er Anders Aak og avdeling for skadedyrkontroll er ansvarlig for gjennomføring av prosjektet. FHI vil benytte en ingeniør/tekniker med erfaring fra feltundersøkelser, dyrking av insekter og adferdsstudier for å gjennomføre felt- og laboratorieundersøkelser. NHF bidrar til praktisk gjennomføring ved å skaffe tilgang til leiligheter med veggedyr og produksjon av varmeanheter. Skadedyrbransjen gjennomfører bekjemping i samarbeid med FHI etter bestilling fra NHF. Evaluering og fortløpende faglige vurderinger gjøres av en styringsgruppe bestående av fagsjef Øyvind Magerøy fra NHF, samt forskerne Mari Steinert og Anders Aak fra Folkehelseinstituttet. Faggruppen vil i hovedsak bidra med praktisk kunnskap og informasjon om dagens metoder, innspill om forventet effekt og mulig utnyttelsesgrad av utviklet strategi. Faggruppen vil samles halvårlig og representanter fra resten av forsikringsbransjen vil bli invitert ved behov.

Denne arbeidskonstellasjonen vil sikre et godt nasjonalt samarbeid og sørge for at all informasjon og tilegnet kunnskap når alle relevante aktører. Skadedyrbransjens deltagelse i faggruppen vil også medføre en styrket følelse av eierskap til prosjektet og på den måten øke sannsynligheten for at eventuell utviklet metodikk blir tatt i bruk og videre raffinert internt i skadedyrfirmaene.

Forventninger til resultater og mulige problemer

Siden prosjektet har en blanding av grunnleggende studier knyttet til bekjempelsesmetoder samt eksperimenter som gir supplerende informasjon ved hjelp av etablert metodikk er det lav risiko for at den første delen av prosjektet ikke skal produsere resultater av tilstrekkelig kvalitet. Den forskningsmessige risikoen ligger i undersøkelser av faktorer og interaksjoner som ikke tidligere er vurdert i forhold til bekjemping. Forventningene er at vi vil avdekke fordelaktige kombinasjonsbehandlinger, men dette er ikke gitt på forhånd. Siden vi har god erfaring med laboriestudier på veggedyr og har egnede laboratoriefasiliteter er vi trygge på at resultatene vil la oss konkludere selv om utfallet ikke nødvendigvis står til de generelle ambisjonene i prosjektet. Studiene er også lagt opp på en måte som gjør at den siste halvdel av prosjektet delvis hviler på resultater fra første halvdel. Dette betyr at man risikerer at noen av de avsluttende delene må endres eller droppes i sin helhet hvis innledende studier tilsier dette. Halvårlig resultatrapportering, evaluering i faggruppa og justering av forskningsfokus underveis vil derfor være nødvendig for å treffe nøyaktig på den avsluttende og praktiske bekjempingsdelen. Utviklingen av et bio-assay for vurdering av krypende insekter og dosering av tørkepulver innebærer også høy risiko for å ikke lykkes. Det kan være krevende å få insekter til å «svare på spørsmålene du stiller», men hvis man lykkes med dette er det stor sannsynlighet for at det praktiske utbyttet vil være høyt.

Resultatavhengig utvidelse av prosjektet: Hvis prosjektet avdekker forbedret bekjempingseffekt og økt kostnadseffektivitet vil det være ønskelig fra både FHI og NHF sin side å utvide prosjektet. Man ønsker da å få finansiert og engasjert to stipendiater som kan jobbe videre med viktige aspekter koblet til ytterligere forbedringer av metoder, men også for å studere økonomi, mer helhetlige forvaltningsaspekter, samfunnsnyttens og de indirekte helseeffektene som trolig også medfører betydelige samfunnsmessige kostnader.

Samfunnsnytt og verdiskapning

Prosjektet er i sin helhet kunnskapsgenererende siden man studerer nye aspekter ved kombinasjonsbehandling, samt evaluerer forbedringspotensialet i eksisterende bekjempelsesmetodikk. Prosjektet vil sannsynligvis fremme en mer enhetlig tilnærming og forent forståelse for optimalisert bekjemping. Forbedringer som kommer ut av disse studiene vil være av stor betydning for alle som berøres av veggedyr. Veggedyr rammer hardest i fattige deler av samfunnet siden sosioøkonomiske faktorer er av betydning for nåværende håndtering av en infestasjon^{7,49,62,89-91}. En forbedret og billigere løsning vil derfor kunne bidra til utjevning av sosiale forskjeller. En fornuftig forvaltning gjennom kommuner og sosiale tjenester er på nåværende tidspunkt spesielt krevende siden bekjempingskostnadene er høye, og fordi det kan oppstå uenighet om hvem som skal eller kan bære kostnaden⁹². Prosjektet har derfor potensial til å bidra til en langsiktig og klart forbedret leveranse fra helse- og omsorgstjenesten til sosialklienter. Reduserte veggedyrproblemer på nasjonalt nivå vil medføre en betydelig direkte gevinst ved å hindre medisinske problemer knyttet til bitt, redusere søvnproblemer og psykisk stress knyttet til blodsugere på soverom, samt forbedre innemiljøet gjennom reduserte nivåer av pesticider og allergener.

En infestasjon berører ofte tre sentrale aktører. Beboere og utøvende skadedyrsteknikere er nøkkelpersoner for en løsning, mens den tredje parten er forsikringsbransjen, overnattingsleverandører, studentsamskipnader eller helse- og omsorgstjenesten som i mange tilfeller er tiltaksregulerende og finansierende aktør. Bestillere av en bekjemping har mulighet til å definere hvordan problemet skal håndteres ved å stille krav til utførelse av bekjempelsen. NHF er et gjensidig selskap som gjennom selskapsstrukturen sikrer norske forsikringstakeres bestillerkompetanse. Ved å bygge bedre kunnskap rundt veggedyr, mer effektive metoder og forbedrete strategier er det sannsynlig at man kan jobbe mer bærekraftig og hindre unødig bruk av ressurser, arbeidskraft og gift.

Sammenfall med instituttets langsiktige satsninger

Avdeling for skadedyrkontroll jobber med forskning, rådgiving og informasjonsproduksjon om skadedyr i hus, lagrete matvarer, tekstiler, treverk, på friluftsområder mm. Avdelingen kurser og godkjenner alle landets skadedyrbekjempere og er en viktig kunnskapskanal for både fagpersonell og privatpersoner. Prosjektet plasserer seg derfor midt i avdelingens hovedaktiviteter ved å sette søkelys på problemer og løsninger knyttet til et av de viktigste innendørs skadedyrproblemene i Norge i dag. Prosjektet vil kunne bidra til en langt bedre løsning på veggedyrsituasjonen i Norge ved å frembringe bedre og ny kunnskap og forhåpentligvis en felles tilnærming til et komplekst problem. Nytteverdien av prosjektet anses som høy siden ny kunnskap vil bli tatt i bruk fortløpende. Prosjektet passer inn under flere av FHI sine satsningsområder; der oppdatert kunnskap og utvikling av bekjempelsesmetoder er et konkret **tiltak for bedre folkehelse**. Prosjektet kan bidra til bedre psykisk helse, utjevne sosiale forskjeller og redusere frykt for veggedyr i samfunnet. Videre passer prosjektet innunder **fremtidens helse- og omsorgstjenester** ved å bidra til en bedre håndtering og forvaltning av veggedyr i kommuner, bydeler og helseetater gjennom nødvendig bestillerkompetanse. Over tid kan prosjektet også begrense helsetrusler, siden veggedyr er ventet å kunne bli et større problem ved ytterligere globalisering og økt pesticidresistens. Prosjektet fyller også instituttets ønske om å være et **åpent institutt** gjennom det brede samarbeidet som raskt omsetter ny kunnskap på **tvers av sektorer**. I et større perspektiv kan prosjektet også vise seg å være av miljømessig betydning siden det sikter seg inn på minimering av giftbruk, energibruk og forurensende transport. Denne

forskningsaktiviteten vil ivareta helse og miljøaspekter i henhold til krav fra Skadedyrforskriften og Miljødirektoratet, og i tillegg danne et kunnskapsbasert fundament for fremtidig begrensning av skadedyr uten bruk av gift i innendørs miljøer.

Publisering og resultatformidling

Resultater fra prosjektet vil presenteres på skadedyrdagene, på kurs for skadedyrbekjempere og fortløpende gjennom skadedyrveilederen. Hvis kombinasjonsbehandling blir vellykket forventes også formidling gjennom nyhets- og populærvitenskapelige kanaler. Prosjektet er forventet å produsere 4 vitenskapelige publikasjoner i fagfelleverderte tidsskrifter.

REFERANSER

- 1 Reinhardt, K. & Siva-Jothy, M. T. Biology of the bed bugs (Cimicidae). *Annu. Rev. Entomol.* **52**, 351-374 (2007).
- 2 Evison, S. E. F., Hentley, W. T., Wilson, R. & Siva-Jothy, M. T. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 16, 151-161 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 3 Cooper, R., Wang, C. & Singh, N. Mark-release-recapture reveals extensive movement of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) within and between apartments. *PLoS One* **10**, e0136462 (2015).
- 4 Aak, A. & Rukke, B. A. Bed bugs, their blood sources and life history parameters: a comparison of artificial and natural feeding. *Med. Vet. Entomol* **28**, 50-59 (2014).
- 5 Polanco, A. M., Brewster, C. C. & Miller, D. M. Population growth potential of the bed bug, *Cimex lectularius* L.: A life table analysis. *Insects* **2**, 173-185 (2011).
- 6 Matos, Y. K., Osborne, J. A. & Schal, C. Effects of cyclic feeding and starvation, mating, and sperm condition on egg production and fertility in the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.* **54**, 1483-1490 (2017). <https://doi.org:10.1093/jme/tjx132>
- 7 Bennett, G. W., Gondhalekar, A. D., Wang, C., Buczkowski, G. & Gibb, T. J. Using research and education to implement practical bed bug control programs in multifamily housing. *Pest Manag. Sci* **72**, 8-14 (2016). <https://doi.org:10.1002/ps.4084>
- 8 Wang, C. *et al.* Dynamics of bed bug infestations in three low-income housing communities with various bed bug management programs. *Pest Manag. Sci* **74**, 1302-1310 (2018).
- 9 Doggett, S. L., Miller, D. M. & Lee, C. Y. *Advances in the biology and management of modern bed bugs*. 1-439 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 10 Olson, J. F., Eaton, M., Kells, S. A., Morin, V. & Wang, C. Cold tolerance of bed bugs and practical recommendations for control. *J. Econ. Entomol.* **106**, 2433-2441 (2013). <https://doi.org:10.1603/EC13032>
- 11 Rukke, B. A., Hage, M. & Aak, A. Mortality, fecundity and development among bed bugs (*Cimex lectularius*) exposed to prolonged, intermediate cold stress. *Pest Manag. Sci* **73**, 838-843 (2017). <https://doi.org:10.1002/ps.4504>
- 12 Pereira, R. M., Koehler, P. G., Pfiester, M. & Walker, W. Lethal effects of heat and use of localized heat treatment for control of bed bug infestations. *J. Econ. Entomol.* **102**, 1182-1188 (2009).
- 13 Loudon, C. Rapid killing of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) on surfaces using heat: application to luggage. *Pest Manag. Sci* **73**, 64-70 (2017). <https://doi.org:10.1002/ps.4409>
- 14 Kells, S. A. & Goblirsch, M. J. Temperature and time requirements for controlling bed bugs (*Cimex lectularius*) under commercial heat treatment conditions. *Insects* **2**, 412-422 (2011).
- 15 Rukke, B. A., Sivasubramaniam, R., Birkemoe, T. & Aak, A. Temperature stress deteriorates bed bug (*Cimex lectularius*) populations through decreased survival, fecundity and offspring success. *PLoS One* **13**, e0193788 (2018). <https://doi.org:10.1371/journal.pone.0193788>
- 16 Aak, A., Roligheten, E., Rukke, B. A. & Birkemoe, T. Desiccant dust and the use of CO₂ gas as a mobility stimulant for bed bugs: a potential control solution? *J. Pest Sci.* **90**, 249-259 (2016). <https://doi.org:10.1007/s10340-016-0784-1>
- 17 Rukke, B. A., Salma, U., Birkemoe, T. & Aak, A. Blood deprivation and heat stress increase mortality in bed bugs (*Cimex lectularius*) exposed to insect pathogenic fungi or desiccant dust. *Med. Vet. Entomol* **35**, 121-128 (2021).
- 18 Akhtar, Y. & Isman, M. B. Efficacy of diatomaceous earth and a DE-aerosol formulation against the common bed bug, *Cimex lectularius* Linnaeus in the laboratory. *J. Pest Sci.* **89**, 1013-1021 (2016). <https://doi.org:10.1007/s10340-015-0722-7>
- 19 Singh, N., Wang, C., Wang, D., Cooper, R. & Zha, C. Comparative efficacy of selected dust insecticides for controlling *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Econ. Entomol.* **109**, 1819-1826 (2016). <https://doi.org:10.1093/jee/tow129>

- 20 Potter, M. F. *et al.* 76-84 (Pest Control Technology - August, GIE Media, Inc., Richfield OH, 2014).
- 21 Benoit, J. B. *et al.* Addition of alarm pheromone components improves the effectiveness of desiccant dusts against *Cimex lectularius*. *J. Med. Entomol.* **46**, 572-579 (2009).
- 22 Barbarin, A. M., Bellicanta, G. S., Osborne, J. A., Schal, C. & Jenkins, N. E. Susceptibility of insecticide-resistant bed bugs (*Cimex lectularius*) to infection by fungal biopesticide. *Pest Manag. Sci* **73**, 1568-1573 (2017). <https://doi.org/10.1002/ps.4576>
- 23 Barbarin, A. M., Jenkins, N. E., Rajotte, E. G. & Thomas, M. B. A preliminary evaluation of the potential of *Beauveria bassiana* for bed bug control. *Journal of Invertebrate Pathology* **111**, 82-85 (2012).
- 24 Aak, A., Hage, M. & Rukke, B. A. Insect pathogenic fungi and bed bugs: behaviour, horizontal transfer and the potential contribution to IPM solutions. *J. Pest Sci.* **91**, 823-835 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0943-z>
- 25 Aak, A., Hage, M. & Rukke, B. A. Effects of insect pathogenic fungi (*Beauveria bassiana*) on bed bugs (*Cimex lectularius*): substrate, dosage, application strategy, and bed bug physiology. *Med. Vet. Entomol* **Submitted manuscript** (2022).
- 26 Ashbrook, A. R., Mikaelyan, A. & Schal, C. Comparative efficacy of a fungal entomopathogen with a broad host range against two human-associated pests. *Insects* **13**, 774 (2022).
- 27 Dery, M. & Choe, D.-H. Effect of bed bug (Hemiptera: Cimicidae) aldehydes on efficacy of fungal biopesticides. *J. Econ. Entomol.* (2022). <https://doi.org/10.1093/jee/toac088>
- 28 Fredericks, J. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 24, 221-224 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 29 Doggett, S. L. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S.L. Doggett, D.M. Miller, & C.Y. Lee) Ch. 22, 211-216 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 30 Naylor, R. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 23, 217-220 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 31 Rukke, B. A., Roligheten, E., Lindstedt, H. H. & Aak, A. Improved bed bug control through procurement competence, framework agreements, inspections and collaboration. *J. Integr. Pest Manag.* **Manuscript in preparation** (2021).
- 32 Salazar, R. *et al.* Bed Bugs (*Cimex lectularius*) as Vectors of *Trypanosoma cruzi*. *The American journal of tropical medicine and hygiene* (2014). <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0483>
- 33 Lowe, C. F. & Romney, M. G. Bedbugs as vectors for drug-resistant Bacteria. *Emerging Infectious Diseases* **17**, 1132-1134 (2011).
- 34 Doggett, S. L. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 12, 117-125 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 35 Ling, J. X. *et al.* Identification of hepatitis C virus in the common bed bug - a potential, but uncommon route for HCV infection? *Emerg. Microbes Infect.* **9**, 1429-1431 (2020). <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1780950>
- 36 Lai, O., Ho, D., Glick, S. & Jagdeo, J. Bed bugs and possible transmission of human pathogens: a systematic review. *Arch. Dermatol. Res.* **308**, 531-538 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00403-016-1661-8>
- 37 El Hamzaoui, B., Laroche, M., Bechah, Y., Berenger, J. M. & Parola, P. Testing the Competence of *Cimex lectularius* Bed Bugs for the Transmission of *Borrelia recurrentis*, the Agent of Relapsing Fever. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **100**, 1407-1412 (2019). <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0804>
- 38 Pietri, J. E. Case not Closed: Arguments for New Studies of the Interactions between Bed Bugs and Human Pathogens. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **103**, 619-624 (2020). <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0121>
- 39 Hwang, S. J. E., Doggett, S. L. & Fernandes-Penas, P. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 11, 109-116 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).

- 40 Goddard, J. & DeShazo, R. Bed bugs (*Cimex lectularius*) and clinical consequences of their bites. *JAMA* **301**, 1358-1366 (2009). <https://doi.org/10.1001/jama.2009.405>
- 41 Doggett, S. L., Dwyer, D. E., Penas, P. F. & Russell, R. C. Bed bugs: clinical relevance and control options. *Clinical Microbiology Reviews* **25**, 164-192 (2012).
- 42 Goddard, J. & DeShazo, R. Psychological effects of bed bug attacks (*Cimex lectularius* L.). *Am. J. Med* **125**, 101-103 (2012).
- 43 Rieder, E. *et al.* Psychiatric Consequences of Actual Versus Feared and Perceived Bed Bug Infestations: A Case Series Examining a Current Epidemic. *Psychosomatics* **53**, 85-91 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.psych.2011.08.001>
- 44 Perron, S., Hamelin, G. & Kaiser, D. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C. Y. Lee) Ch. 13, 127-132 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 45 Ashcroft, R. *et al.* The mental health impact of bed bug infestations: a scoping review. *Int. J. Public Health* **60**, 827-837 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00038-015-0713-8>
- 46 Susser, R. S. *et al.* Mental health effects from urban bed bug infestation (*Cimex lectularius* L.): a cross-sectional study. *BMJ Open* **2**, 1-5 (2012). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-000838>
- 47 Doggett, S. L., Miller, D. M., Vail, K. & Wilson, M. S. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S.L. Doggett, D.M. Miller, & C.Y. Lee) Ch. 15, 139-148 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 48 Cooper, R. & Wang, C. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S. L. Doggett, D. M. Miller, & C.Y. Lee) Ch. 33, 333-339 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 49 Wang, C., Singh, N., Zha, C. & Cooper, R. Bed bugs: prevalence in low-income communities, resident's reactions, and implementation of a low-cost inspection protocol. *J. Med. Entomol.* **53**, 639-646 (2016). <https://doi.org/10.1093/jme/tjw018>
- 50 Wang, C., Eiden, A., Cooper, R., Zha, C. & Wang, D. S. Effectiveness of building-wide integrated pest management programs for German cockroach and bed bug in a high-rise apartment building. *J. Integr. Pest Manag.* **10**, 1-9 (2019). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz031>
- 51 Usinger, R. L. *Monograph of cimicidae*. Vol. VII 1-585 (The Thomas Say Foundation, 1966).
- 52 Izri, A. *et al.* Severe anemia due to bed bugs hyperinfestation. *Microb. Pathog.* **149**, 3 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104564>
- 53 Paulke-Korinek, M., Szell, M., Laferl, H., Auer, H. & Wensch, C. Bed bugs can cause severe anaemia in adults. *Parasitology Research* **110**, 2577-2579 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2777-6>
- 54 Doggett, S. L. in *Advances in the biology and management of modern bed bugs* (eds S.L. Doggett, D.M. Miller, & C.Y. Lee) Ch. 14, 133-138 (John Wiley & Sons Ltd, 2018).
- 55 Kakumanu, M. L., DeVries, Z. C., Barbarin, A. M., Santangelo, R. G. & Schal, C. Bed bugs shape the indoor microbial community composition of infested homes. *Sci. Total Environ* **743**, 12 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140704>
- 56 Gries, R. *et al.* Bed bug aggregation pheromone finally identified. *Angewandte Chemie International Edition* **54**, 1135-1138 (2015).
- 57 Weeks, E. N. I. *et al.* Electrophysiologically and behaviourally active semiochemicals identified from bed bug refuge substrate. *Scientific Reports* **10**, 14 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61368-6>
- 58 Gaire, S., Principato, S., Schal, C. & DeVries, Z. C. Histamine excretion by the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.* (2022). <https://doi.org/10.1093/jme/tjac131>
- 59 DeVries, Z. C., Santangelo, R. G., Barbarin, A. M. & Schal, C. Histamine as an emergent indoor contaminant: Accumulation and persistence in bed bug infested homes. *PLoS One* **13**, 11 (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192462>

- 60 Wang, C. L. *et al.* Residents Attitudes and Home Sanitation Predict Presence of German
Cockroaches (Blattodea: Ectobiidae) in Apartments for Low-Income Senior Residents. *J. Econ.
Entomol.* **112**, 284-289 (2019). <https://doi.org/10.1093/jee/toy307>
- 61 Wang, C. *et al.* Changes in indoor insecticide residue levels after adopting an integrated pest
management program to control German cockroach infestations in an apartment building.
Insects **10**, 1-12 (2019). <https://doi.org/10.3390/insects10090304>
- 62 Cooper, R. A., Wang, C. & Singh, N. Evaluation of a model community-wide bed bug
management program in affordable housing. *Pest Manag. Sci* **72**, 45-56 (2015).
<https://doi.org/10.1002/ps.3982>
- 63 Kolaczinski, J. H. & Curtis, C. F. Chronic illness as a result of low-level exposure to synthetic
pyrethroid insecticides: a review of the debate. *Food and Chemical Toxicology* **42**, 697-706
(2004). <https://doi.org/10.1016/j.fct.2003.12.008>
- 64 Oudejans, L. *et al.* Remediating indoor pesticide contamination from improper pest control
treatments: persistence and decontamination studies. *Journal of Hazardous Materials* **397**,
122743 (2020). <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122743>
- 65 Alavanja, M. C., Hoppin, J. A. & Kamel, F. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer
and neurotoxicity. *Annual Review of Public Health* **25**, 155-197 (2004).
- 66 Wigle, D. T. *et al.* Environmental Hazards: Evidence for Effects on Child Health. *Journal of
Toxicology and Environmental Health, Part B* **10**, 3-39 (2007).
<https://doi.org/10.1080/10937400601034563>
- 67 Hentley, W. T., Webster, B., Evison, S. E. F. & Siva-Jothy, M. T. Bed bug aggregation on dirty
laundry: A mechanism for passive dispersal. *Scientific Reports* **7** (2017).
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-11850-5>
- 68 Singh, N., Wang, C. L. & Cooper, R. Effectiveness of a sugar-yeast monitor and a chemical lure
for detecting bed bugs. *J. Econ. Entomol.* **108**, 1298-1303 (2015).
- 69 Anderson, J. F. *et al.* Relatively Small Quantities of CO₂, Ammonium Bicarbonate, and a Blend
of (E)-2-Hexenal Plus (E)-2-Octenal Attract Bed Bugs (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.*
54, 362-367 (2017). <https://doi.org/10.1093/jme/tjw189>
- 70 Singh, N., Wang, C. L. & Cooper, R. Effect of Trap Design, Chemical Lure, Carbon Dioxide
Release Rate, and Source of Carbon Dioxide on Efficacy of Bed Bug Monitors. *J. Econ.
Entomol.* **106**, 1802-1811 (2013). <https://doi.org/10.1603/ec13075>
- 71 Zhang, J. S. *et al.* Behavioral Response of the Tropical Bed Bug, *Cimex hemipterus*
(Hemiptera: Cimicidae) to Carbon Dioxide. *J. Econ. Entomol.* **114**, 2198-2203 (2021).
<https://doi.org/10.1093/jee/toab159>
- 72 Wang, C. L., Gibb, T., Bennett, G. W. & McKnight, S. Bed bug (Heteroptera: Cimicidae)
attraction to pitfall traps baited with carbon dioxide, heat, and chemical lure. *J. Econ.
Entomol.* **102**, 1580-1585 (2009).
- 73 Anderson, J. F., Ferrandino, F. J., McKnight, S., Nolen, J. & Miller, J. A carbon dioxide, heat
and chemical lure trap for the bedbug, *Cimex lectularius*. *Med. Vet. Entomol* **23**, 99-105
(2009).
- 74 Liu, F. & Liu, N. N. Human Odorant Reception in the Common Bed Bug, *Cimex lectularius*.
Scientific Reports **5**, 14 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep15558>
- 75 Harraca, V., Ryne, C., Birgersson, G. & Ignell, R. Smelling your way to food: can bed bugs use
our odour? *Journal of Experimental Biology* **215**, 623-629 (2012).
- 76 McNeill, C. A., Allan, S. A., Koehler, P. G., Pereira, R. M. & Weeks, E. N. I. Vision in the
common bed bug *Cimex lectularius* L. (Hemiptera: Cimicidae): eye morphology and spectral
sensitivity. *Med. Vet. Entomol* **30**, 426-434 (2016). <https://doi.org/10.1111/mve.12195>
- 77 Singh, N., Wang, C. & Cooper, R. Role of vision and mechanoreception in bed bug, *Cimex
lectularius* L. Behavior. *PLoS One* **10** (2015).
- 78 Agnew, J. L. & Romero, A. Behavioral responses of the common bed bug, *Cimex lectularius*,
to insecticide dusts. *Insects* **8** (2017). <https://doi.org/10.3390/insects8030083>

- 79 Rukke, B. A., Aak, A. & Edgar, K. S. Mortality, temporary sterilization, and maternal effects of sublethal heat in bed bugs. *PLoS One* **10**, e0127555 (2015).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127555>
- 80 Benoit, J. B., Lopez-Martinez, G., Teets, N. M., Phillips, S. A. & Denlinger, D. L. Responses of the bed bug, *Cimex lectularius*, to temperature extremes and dehydration: levels of tolerance, rapid cold hardening and expression of heat shock proteins. *Med. Vet. Entomol* **23**, 418-425 (2009).
- 81 Benoit, J. B. Stress tolerance of bed bugs: a review of factors that cause trauma to *Cimex lectularius* and *C. hemipterus*. *Insects* **2**, 151-172 (2011).
- 82 Benoit, J. B., Del Grosso, N. A., Yoder, J. A. & Denlinger, D. L. Resistance to dehydration between bouts of blood feeding in the bed bug, *Cimex lectularius*, is enhanced by water conservation, aggregation, and quiescence. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **76**, 987-993 (2007).
- 83 Omori, N. Comparative studies on the ecology and physiology of common and tropical bed bug, with special reference to the reactions to temperature and moisture. *Journal of Medical Association of Taiwan* **60**, 555-729 (1941).
- 84 Johnson, C. G. The ecology of the bed-bug, *Cimex lectularius* L, in Britain-Report on research, 1935-40. *J. Hygiene* **41**, 345-461 (1941).
- 85 Srinivasan, M. V. & Zhang, S. W. Visual motor computations in insects. *Annual Review of Neuroscience* **27**, 679-696 (2004).
- 86 Kimmerle, B., Egelhaaf, M. & Srinivasan, M. V. Object detection by relative motion in freely flying flies. *Naturwissenschaften* **83**, 380-381 (1996).
- 87 Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews* **78**, 81-118 (2003).
- 88 Balkenius, A., Rosen, W. & Kelber, A. The relative importance of olfaction and vision in a diurnal and a nocturnal hawkmoth. *Journal of Comparative Physiology A-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* **192**, 431-437 (2006).
- 89 Rossi, L. & Jennings, S. Bed Bugs: A Public Health Problem in Need of a Collaborative Solution. *Journal of environmental health* **72**, 34-35 (2010).
- 90 Stedfast, M. L. & Miller, D. M. Development and evaluation of a proactive bed bug (Hemiptera: Cimicidae) suppression program for low-income multi-unit housing facilities. *J. Integr. Pest Manag.* **5**, E1-E7 (2014). <https://doi.org/10.1603/ipm14003>
- 91 Trajer, A. J., Hammer, T. & Szigeti, Z. Influence of physical factors of apartments, educational attainment, nationality and unemployment on the number of *Cimex lectularius* inquiries. *Cent. Eur. J. Public Health* **27**, 32-36 (2019). <https://doi.org/10.21101/cejph.a4978>
- 92 Rukke, B. A., Roligheten, E. & Aak, A. Procurement Competence and Framework Agreements for Upgraded Bed Bug Control [*Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae)]. *J. Econ. Entomol.* **115**, 240-249 (2022).