

FLUESIMULATOREN

- fluebekæmpelse med computerspil



Stikfluen *Stomoxys calcitrans*. Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0 / GFDL.

Forfatterne



Gösta Nachman er lektor emeritus ved Biologisk Institut, Københavns Universitet, hvor han bl.a. har forsket i brug af matematiske modeller til at beskrive populations dynamik og samspil fx i forbindelse med biologisk bekæmpelse af skadedyr.
gnachman@bio.ku.dk



Henrik Skovgård er uddannet biolog og seniorforsker ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, hvor han arbejder med metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af skadelige og generende insekter indenfor primært landbrug.
henrik.skovgaard@agro.au.dk

Stikfluer er en plage for både mennesker og husdyr. I kvægbruget udgør stikfluer et stort problem, men nu skal en simuleringsmodel forklædt som computerspil hjælpe med at finde de bedste strategier for at bekæmpe de plagsomme kræ.

Blandt Ægyptens 10 plager nævnes fluer som den fjerde, og fluer er i dag muligvis lige så plagsomme, som de var på Biblens tid. Især de blodsugende fluer, såsom klæger og bremser, hører til blandt de hjemlige plager, som Noah burde have klasket, inden de smuttede med på hans ark. Det samme gælder for en anden blod-suger, nemlig stikfluen *Stomoxys calcitrans*. Med sine munddele kan den voksne flue hurtigt skære sig gennem ofrets skind og derved få adgang til dets blod, hvilket er ret smertefuldt for ofret. Ud over at tjene som ernæring for både hanlige og hunlige stikfluer er blodet en

forudsætning for at hunnerne kan producere æg, som de typisk lægger i rådende plantedele eller i gødning fra fx husdyr. Når æggene kort tid efter klækker til larver, befinder de sig lige midt i spisekammeret og kan derfor hurtigt æde sig store, hvorefter de forpupper sig. Ud af puppehylsteret kommer der få dage senere en voksen og blodhungrende stikflue.

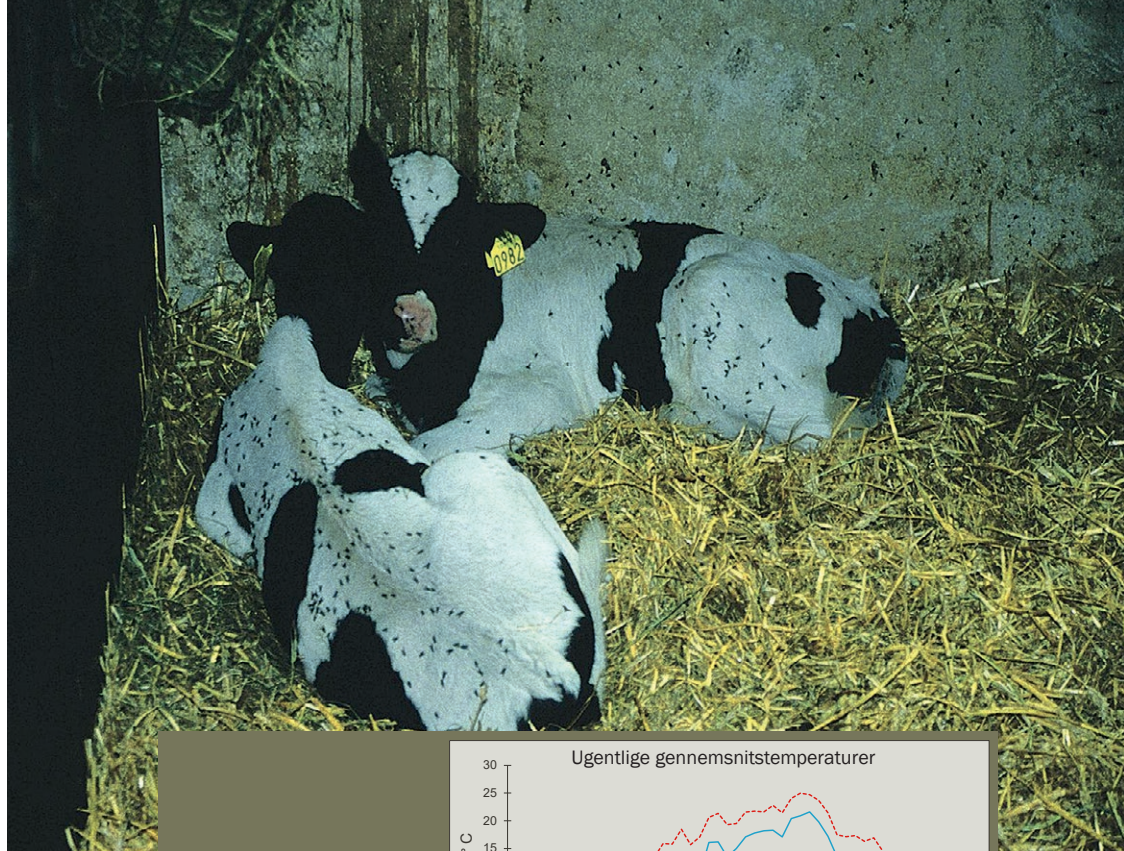
Et problem for kvægavlen

En stikflue-hun kan lægge langt over 100 æg i løbet af sin levetid, og eftersom udviklingstiden fra æg til voksen ved hjemlige sommertemperaturer tager 13-18 dage, kan en enkelt flue i løbet af sommeren give

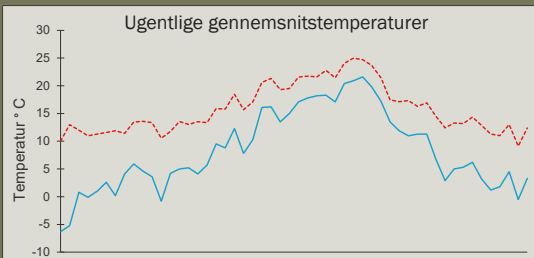
ophav til mange tusinde individer, som allesammen har brug for et eller flere blodmåltider.

I Danmark er stikfluer især et problem i kvægstalde, hvor mængden, konsistensen og temperaturen af den producerede gødning er særlig velegnet for opformering af fluer. De mange fluer kan nedsætte kreaturernes vækst og, for malkekøernes vedkommende, deres mælkeydelse, fordi dyrene ikke får ro til at æde og hvile. Samtidig kan køer, der stikkes under malkningen, stå så uroligt, at de risikerer at beskadige malkeudstyret. Desuden kan fluerne overføre sygdomsfremkaldende bakterier fra smittede til raske dyr

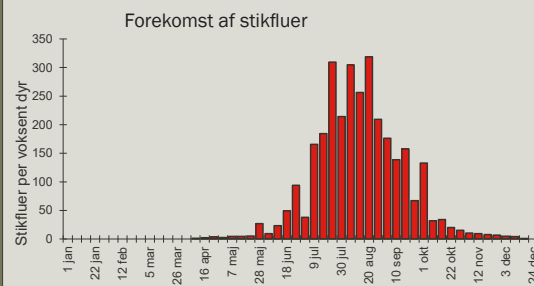
Kalve er særligt udsatte for at blive angrebet af stikfluer, fordi de opholder sig i bokse med en blanding af halm og gødning, som er et ideelt substrat til udklækning af fluer. Fluerne på fotoet er både stikfluer og stuefluer
Foto: H. Skovgård.



Øverste figur: Ugentlige gennemsnitstemperaturer i en sjællandsk stald (rød linje) og udenfor stalden (blå linje).



Nederste figur: Forekomsten af stikfluer i stalden, udtrykt som det gennemsnitlige antal fluer pr. kreatur. Registreringen foregik én gang om ugen.



og mennesker. Endelig kan store fluebestande være til stor gene for gårdens beboere og give anledning til alvorlige nabostridigheder.

Bekæmpelse af stikfluer

I Danmark er der ingen opgørelse over de økonomiske omkostninger forvoldt af stikfluer, men alene i USA skønnes de årlige tab at være på mere end en milliard US \$. Derfor er der også god økonomi i at forsøge at komme dem til livs. Til at bekæmpe fluer i almindelighed findes der flere forskellige aktivstoffer, som bruges enten mod larver (larvicider) i gødningen eller mod de voksne individer (adulticider). Larvicider hindrer de voksende larver i at

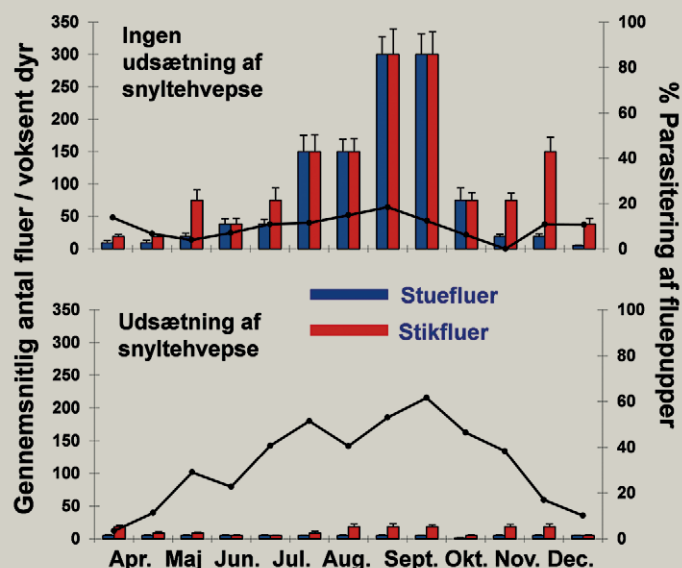
gennemføre hudskifte, mens adulticiderne enten er aerosoler eller sprøjtemidler. Aerosolerne består af små giftdråber, som hurtigt lammer og dræber de ramte fluer, mens sprøjtemidlerne er langtidsvirkende kontaktgifte, som normalt skal indtages oralt af fluerne. De tilføres overflader, hvor fluerne sædvanligvis ynder at opholde sig. Risikoen ved at benytte giftstoffer er, ud over at de kan gøre skade på mennesker og husdyr samt forgifte økosystemer, at insekterne ved vedvarende brug kan udvikle resistens overfor midlerne.

Derfor er der god grund til at reducere brugen af kemiske bekæm-

pelsesmidler og i stedet benytte alternative metoder. Fx har man forsøgt at bekæmpe stikfluer ved hjælp af steril-han-teknik. Metoden består i at opformere og udsætte store mængder af sterile hanner, som godt nok kan parre sig med normale hunner, men der kommer ingen levedygtige æg ud af parringen. En anden bekæmpelsesmetode er hormonfælder, som lokker hannerne til ved hjælp af hunlige kønshormoner. Desuden kan man ophænge papirstrimler eller plader med lim til at fastholde og dræbe voksne fluer. Endelig er det også en mulighed at muge hyppigt ud i stalden, men det er meget tidskrævende for landmanden.



Voksen hun af snyltehvepsen *Spalangia cameroni* i færd med at parasitere en flue-puppe ved hjælp af sin læggebrod i spidsen af bagkroppen. Hvepsen er mindre end 3 mm.
Foto: H. Skovgård



Antal stikfluer og stuefluer pr. voksen kreatur i en stald i to på hinanden følgende år, først uden (øverst) og dernæst (nederst) med udsættninger af snyltehvepse hver 14. dag og 200 snyltehvepse for hver m² med gødning. Figuren viser også, at andelen af pupper, der parasiteres, er langt højere, når der udsættes snyltehvepse (sort linje).

Hjælp fra snyltehvepse

Selv om de nævnte alternative metoder i princippet burde overflødiggøre de kemiske bekæmpelsesmidler, er de som regel utilstrækkelige til at holde fluebestandene nede på et acceptabelt niveau. På økologiske gårde, hvor landmændene ikke har lov til at benytte syntetiske bekæmpelsesmidler, kan stikfluerne derfor blive et alvorligt problem, med mindre der udvikles effektive alternativer, fx biologisk bekæmpelse ved hjælp af fluernes naturlige fjender. En af de fjender, som har vist sig at være en rigtig fluedræber, er en lille snyltehveps med navnet *Spalangia cameroni*. Voksne hunner af denne art angriber pupper af bl.a. stikfluer og stuefluer. Det sker ved, at den stikker sin læggebrod ind igennem puppehylsteret, der omgiver puppen, for derefter at lægge et æg på selve puppen. Efter nogen tid klækker ægget til en larve, som på bedste igle-måder hæfter sig fast til fluepuppen og begynder at udsuge den. Når den er tømt og fordøjet, forpupper hvepselarven sig inde i puppehylsteret, hvor den efterfølgende gennemløber en metamorfose til voksen hveps. Hvepsen

gnaver sig ud af puppehylsteret, hvorefter den kan begynde at forplante sig. Under gode temperaturforhold og med rigelig adgang til værter kan en voksen hun-snyltehveps nå at angribe omkring 20 fluepupper i døgnet, hvilket i løbet af hvepsens levetid på ca. 2-3 uger kan blive til over 100 dræbte fluer.

Hvordan bruges snyltehvepse?

I modsætning til dens flueværter klarer *Spalangia* sig ikke godt ved temperaturer under 15° C, hvilket tit forekommer i danske stalde om vinteren. Det betyder, at der om foråret ikke er tilstrækkeligt med snyltehvepse til at forhindre den hurtige opformering af fluer udløst af de stigende temperaturer. Derfor bliver man nødt til at dyrke snyltehvepse under gunstige temperatur- og fugtighedsforhold, for derefter at transportere dem ud til de stalde, hvor de skal gøre gavn mod flueplagen. For at metoden skal være effektiv, skal hvepsenes antal og udsættningstidspunkter afpasses efter, hvornår og hvor mange fluer hvepsene skal bekæmpe. Det kan således være nødvendigt med gentagne udsættninger, fx hver 14.

dag, af mange tusinde snyltehvepse pr. udsætning. Baseret på mange års forskning og erfaring skal udsætning af snyltehvepsene normalt foregå fra midt i april og frem til sidst i september, såfremt bekæmpelsen skal være tilfredsstillende.

Computerspil mod stikfluer

Selv om forsøg har vist, at stikfluer kan bekæmpes effektivt ved hjælp af snyltehvepse, er metoden omkostningstung at anvende i praksis. For at holde omkostningerne nede skal antallet og tidspunkterne for udsætning af snyltehvepse nøje tilpasses behovet. Med henblik på at nedsætte forbruget af sprøjtemidler og samtidig optimere brugen af snyltehvepse har Miljøstyrelsen ydet økonomisk støtte til udvikling af en simuleringsmodel, der kan beskrive det komplekse samspil mellem stikfluer og snyltehvepse.

Modellen, som kaldes *The Fly Simulator*, kan bruges til at forudsige, hvordan en population af stikfluer vil udvikle sig som følge af de daglige og sæsonmæssige variationer i temperaturen, både hvis der ingen bekæmpelse finder

The Fly Simulator: En simuleringsmodel af fluebekæmpelse

Motoren i *The Fly Simulator* er en model, som beskriver bestandene af stikfluer og snyltehvepse i en stald med kreaturer, der går på dybstrøelse (en blanding af halm og fækallier som under et kaldes gødning). For hver dag beregnes hvor mange æg fluerne og hvepsene hver især lægger, og hvor mange individer, der dør i det samme tidsrum. Samtidig opdateres alderen af de overlevende dyr med 1 døgn, og antallet af individer i hver aldersklasse, der klækker fra et stadie til et andet, beregnes. Da udviklingshastigheden af insekterne afhænger af temperaturen, opererer modellen med et begreb, som vi kalder biologisk alder. Kort fortalt går aldringen hurtigere, jo højere temperaturen er, således at dyrenes kronologiske og biologiske

alder ikke følges ad, idet den kronologiske alder måles i dage og den biologiske i graddage (dvs. antal dage vægtet med temperaturen).

Ud over at påvirke udviklingshastigheden, indvirker den biologiske alder også på overlevelseshastigheden og antallet af æg, som en hun lægger i døgnet. Da temperaturen i stalden er så vigtig for insekternes overlevelse, udvikling og reproduktion holder modellen styr på, hvordan temperaturen er i luften og nede i forskellige dybder af gødningen. Som følge af gæringsprocesser i gødningen vil temperaturen her som regel være højere end i luften, særligt i vintermånederne, hvilket især vil komme fluelarverne til gavn. Dybden af gødningslaget under de opstaldede dyr kan enten sættes

som en gennemsnitsdybde eller beregnes ud fra, hvor meget gødning dyrene i stalden producerer pr. dag, og hvornår udmugning sidst fandt sted. Hvis den biologiske model kombineres med kemisk bekæmpelse, holder modellen også styr på, hvad koncentrationen af larvicid i gødningen er, når der løbende tages hensyn til tykkelsen af gødningslaget, mængden af tilført larvicid og dets nedbrydningshastighed.

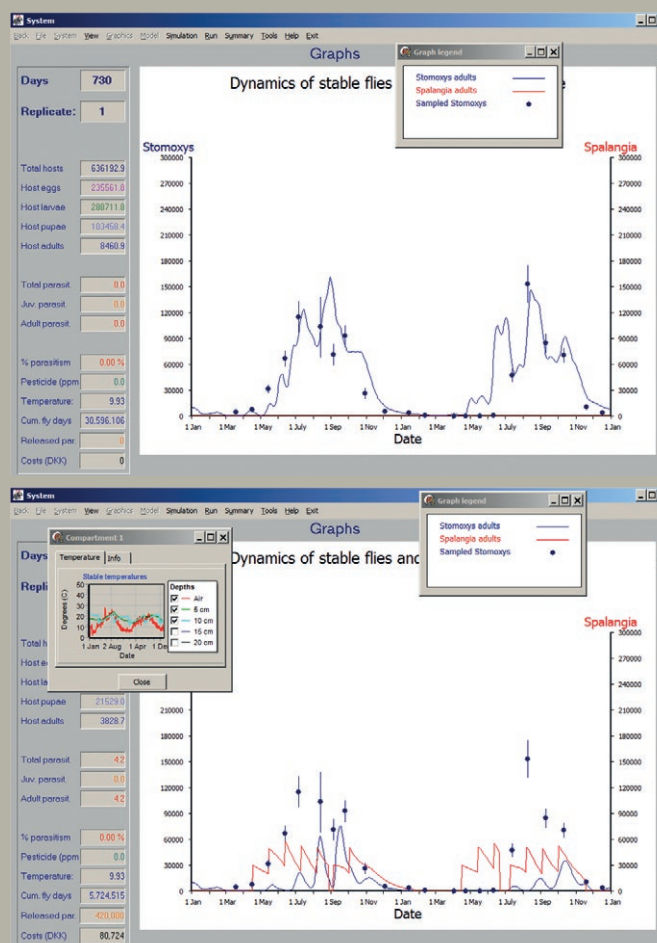
The Fly Simulator indgår i en pakke af computerprogrammer, kaldet *Fitom*, som kan bruges til at simulere forskellige økologiske systemer. *Fitom* kan, sammen med en manual på engelsk for *The Fly Simulator*, frit downloades fra: <http://www1.bio.ku.dk/medarbejdere/?pure=da/persons/43077>

Eksempler på computersimuleringer

Figuren øverst viser udviklingen i stikflue-bestanden (punkterne) i en økologisk kvægbesætning, hvor der igennem to år ingen reel flue-bekæmpelse fandt sted. I sommermånederne kommer antallet af voksne fluer i stalden op på over 100.000 individer, hvilket selv for en økologisk gård med ca. 80 kreaturer er meget højt. De lodrette streger viser 95 % sikkerhedsgrænserne for det faktiske antal fluer.

Den blå linje viser modellens forudsigtelse af udviklingen i antallet af stikfluer. Værdierne til venstre for grafen opdateres for hver dag, modellen simulerer, og viser derfor værdierne ved simuleringens afslutning. Den samlede flueplage kan udtrykkes ved hjælp af fluedage, der beregnes som det kumulerede antal voksne fluer, der har været i stalden i løbet af den periode, som modellen simulerer. Modellen beregner dette tal til 30.596.106 i eksemplet uden bekæmpelse.

Figuren nederst viser et eksempel på en simulering, hvor hyppige udmugninger kombineres med udsætning af 30.000 snyltehvepse (den røde linje) hver 4. uge fra den 15. april til den 15. oktober. Boksen til venstre informerer om temperaturforholdene i luften og gødningen i den ene af staldens to afdelinger. De observerede værdier er de samme som i den øverste figur. Resultatet viser, at denne strategi kan reducere fluedagene med mere end 80 % i forhold til, hvis ingen bekæmpelse finder sted.



Videre læsning

Campbell, J. B., R. G. et al. (1977). Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gains and feed-efficiency of calves on growing or finishing rations. *J. Econ. Entomol.* 70: 592-594.

Mullens, B. A. et al (2006). Behavioural responses of dairy cattle to the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, in an open field environment. *Med. Vet. Entomol.* 20: 122-137.

Skovgård, H. & G. Nachman. 2004. Biological control of house flies *Musca domestica* and stable flies *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) by means of inundative releases of *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Bull. Ent. Res.* 94: 555-567.

Skovgård, H. & G. Nachman. 2016. Modelling Biological Control of Stable Flies by Means of Parasitoids. Bekæmpelsesmidelforskning fra Miljøstyrelsen. En pdf fil af rapporten kan rekvireres fra forfatterne.

Taylor, D. B., R. D. Moon, & D. R. Mark. 2012. Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production. *J. Med. Entomol.* 49: 198-209.

sted, og hvis der sker udsætninger af snyltehvepse. Modellen tillader brugeren at afprøve forskellige bekæmpelsesstrategier, fx hvor-når biologisk bekæmpelse skal starte om foråret, og hvor lang tid bekæmpelsen skal fortsætte ind i efteråret, for at der opnås den ønskede effekt på stikfluerne. Modellen kan også bruges til at finde ud af, hvor ofte og hvor mange snyltehvepse, der skal udsættes i løbet af en sæson for at reducere bestanden af stikfluer til et acceptabelt niveau. Desuden giver modellen mulighed for at undersøge spillet mellem forskellige bekæmpelsesmetoder.

The Fly Simulator er udformet som et interaktivt spil, hvor spilleren skal forestille sig at være en kvægavler, der skal forsøge at opnå den bedst mulige bekæmpelse af stikfluer. For at gøre spillet så realistisk som muligt har vi forsøgt at sætte pris på omkostningerne ved de forskellige bekæmpelsesmetoder.

Modellen viser bl.a., at en bekæmpelsesstrategi bestående i en kombination af snyltehvepse og udmugninger er effektiv til at holde stikfluerne på et acceptabelt niveau

Hvem tager det sidste stik?

I de tilfælde, hvor det af praktiske grunde ikke kan lade sig gøre at opretholde en høj hygiejnisk standard, og gødningen derfor får lov til at ligge så længe, at fluerne kan nå at gennemløbe deres udvikling fra æg til voksen, bliver det også fremover nødvendigt at sætte ind med en egentlig bekæmpelse.

For den ikke-økologiske kvægavler vil det stadig kunne betale sig at bruge kemisk bekæmpelse, så længe prisen på de benyttede midler er forholdsvis lav og fluerne ikke udvikler resistens overfor de anvendte stoffer. Disse forudsætninger kan dog hurtigt ændre sig, hvilket er grunden til at Miljøstyrelsen ønsker at begrænse forbruget af pesticider. Det kan enten ske gennem et for-

bud eller ved at øge afgifterne på dem. Samtidig kan man forvente, at prisen for snyltehvepse falder i takt med, at produktionen af dem øges, og derved vil biologisk bekæmpelse blive mere attraktiv at benytte, også for de konventionelle kvægavlere.

Udover de økonomiske fordele ved en effektiv fluebekæmpelse, vil velfærden øges for både landmanden og hans husdyr og for alle andre, der dagligt bliver generet af stikfluernes ubehagelige bid. Og ikke mindst vil en bekæmpelse helt uden brug af giftstoffer være til gavn for miljøet og den menneskelige sundhed.

Al erfaring viser, at vedvarende brug af kemiske bekæmpelsesmidler før eller siden fører til resistens hos de organismer, som bekæmpelsen er rettet imod. Så hvis vi ikke snart finder ud af at erstatte insekticiderne med mere langtidsholdbare løsninger, må vi se i øjnene, at det bliver fluerne, der tager det sidste stik. ■

Announce...