



Ryggradslösa djur och planering av infrastruktur

– dagfjärilar som landskapsekologiska
verktyg och modellorganismer



Titel: Ryggradslösa djur och planering av infrastruktur
– *dagfjärilar som landskapsekologiska verktyg och modellorganismer*

Publikation: 2006:144

Utgivningsdatum: 2006-11

Utgivare: Vägverket

Kontaktperson: Anders Sjölund

Författare: John Askling, Karl-Olof Bergman, Håkan Ignell och Henrik Wahlman
CALLUNA AB och Linköpings universitet

Foto omslag: Karl-Olof Bergman

Tryck: Vägverket, Borlänge

ISSN: 1401-9612

Distributör: Vägverket, Butiken, 781 87 Borlänge,

INNEHÅLL

Sammanfattning	4
Bakgrund	6
Varför studera dagfjärilar och odlingslandskap?.....	7
Infrastruktur och ängs- och hagmarker	8
Arealkrav på landskapsnivå	9
Faktaruta: Metapopulationsdynamik – överlevnad i fragmenterade landskap	10
Möjliga indikatorer bland dagfjärilar	13
Barriäreffeket av en motorväg	15
Ett hypotetiskt exempel av barriäreffekter på utdöenderisker	19
Dagfjärilar som verktyg i planering av infrastruktur	21
Behov av fortsatt forskning och utveckling	24
Fortsatt kunskapsutveckling.....	24
Utveckling av verktyg	24
Tack	25
Referenser	25

Ryggradslösa djur och planering av infrastruktur. Dagfjärilar som landskapsekologiska verktyg och modellorganismer.

John Askling¹, Karl-Olof Bergman², Håkan Ignell¹ och Henrik Wahlman¹

¹CALLUNA AB, ²Linköpings universitet, Avd för Biologi

Sammanfattning

Föreliggande rapport är slutrapporten inom projektet ”Landskapsekologiska effekter av vägar och järnvägar på ryggradslösa djur” som pågått 2001-2003. En övervägande majoritet av alla studier av vägars/järnvägars effekter på djur har tidigare gjorts på större däggdjur och fåglar, men även groddjur och smådäggdjur fanns relativt väl representerade. För ryggradslösa djur fanns dock få studier och kunskapen var dålig om effekterna på denna grupp som är den absolut artrikaste. Projektet har fokuserat på dagfjärilar och odlingslandskap. En av de bäst kända grupperna av ryggradslösa djur är dagfjärilar. Odlingslandskapet som de framförallt finns i är också ett intressant landskap gällande infrastrukturproblematik. Det här projektet ligger under paraplyprojektet EKLIPS (ekologisk infrastrukturplanering med fjärranalys). Målet med EKLIPS är att utveckla och förbättra trafikverkens hantering av natur- och kulturvärden i de olika delarna av planeringsprocessen.

Projektet bestod av två delar: 1) att undersöka arealkrav på landskapsnivå hos en grupp ryggradslösa djur (dagfjärilar) för att i förlängningen kunna identifiera värdefulla odlingslandskap. 2) att studera den eventuella barriäreffekt en väg kan ha på flygande ryggradslösa djur. Även här är det dagfjärilar som studerats.

De huvudsakliga slutsatserna av den här studien av dagfjärilar som verktyg i infrastrukturplanering är att:

- Dagfjärilar kan användas för att identifiera biologiskt rika odlingslandskap. Totalt undersöktes 62 områden och 12 170 individer av 57 fjärilsarter identifierades.
- Landskapet ska studeras i relativt stor skala. Den skala som påverkar fjärilssamhällets sammansättning handlar om kilometer snarare än hundratals meter. Mängden hagmarker och lövskogar inom 500 m och 2000 m kunde inte förklara fjärilsfaunans sammansättning, däremot mängden inom 5000 m.
- Det finns kritiska tröskelvärden för mängden av habitat i landskapet och infrastruktur har troligen sin största negativa påverkan kring dessa värden. Tröskelvärdet för att ett artrikt område (>20 arter dagfjärilar) med >50% sannolikhet ska kunna finnas i ett område var i denna studie 570 ha (7,3%) hagmarker/lövskog inom en radie av 5000 m.
- Tröskelvärdena för enskilda arter varierade mellan 130-950 ha, det vill säga 1,6-12.1% av landskapet ska bestå av passande habitat.
- Indikatorarter kan användas för att identifiera rika landskap. Våra studier pekar på att flera arter och två artgrupper kan vara användbara. De två artgrupperna är pärlemorfjärilar och bastardsvärmare. Totalt 13 arter eller artgrupper påträffades främst i rika landskap, t ex skogsnätfjäril, vitgräsfjäril, midsommarblåvinge, brunfläckig pärlemorfjäril och silverstreckad pärlemorfjäril.

- Vägar kan fungera som barriärer för vissa arter. För två av arterna hade vägen en signifikant barriäreffekt. För luktgräsfjäril minskade flödet med 74% och för slättergräsfjäril med 43%.
- Potentiellt rika landskap ska gå att identifiera från flygbilder och satellitdata utan att göra omfattande fältinventeringar i framtiden baserat på våra resultat. Fortfarande är dock resultaten för osäkra (ej upprepade i andra landskap) för att appliceras i större skala.
- När vägplaneringsprocessen kommit fram till vägutredningen kan indikatorerna användas för att identifiera för artrikedomen viktiga områden och för att precisera målsättningarna för vilken naturhänsyn som skall tas i arbetet. Indikatorerna kan också användas i uppföljningsarbete för att uppskatta om projektmålen uppnåtts.

Bakgrund

Det övergripande målet för transportpolitiken i Sverige är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet. Ett av delmålen är ”En god miljö” där en god hushållning med mark, vatten, energi och andra naturresurser skall främjas. Transportsystemets utformning och funktion skall anpassas till krav på en god och hälsosam livsmiljö för alla, där natur- och kulturmiljö skyddas mot skador. (Proposition 1997/98:56). Fler olika FoU-projekt om väg- och järnvägssystemens påverkan på natur- och kulturmiljön finns idag. För att samordna resultaten från dessa har Ban- och Vägverket genomfört projekt EKLIPS (ekologisk infrastrukturplanering med fjärranalys). Målet med paraplyprojektet är att utveckla och förbättra och effektivisera trafikverkens hantering av natur- och kulturvärden i de olika delarna av planeringsprocessen.

För att förbättra trafikverkens hantering av natur- och kulturvärden krävs kunskaper om infrastrukturens effekter på naturen och kunskap om hur man undviker negativa effekter redan i planeringskedet. En väg påverkar inte bara vägområdet utan effekterna kan sträcka sig långt utanför själva vägen in i det omgivande landskapet. Till exempel kan vägar vara spridningsbarriärer för djur, buller kan påverka hur fågelhäckningar negativt flera hundra meter in i omgivande natur och revirgränser kan påverkas (Doncaster 2002; Reijnen et al. 1995; Rondinini & Kuitunen et al. 2003). Antalet trafikdödade däggdjur är också betydande för vissa arter och kan ha effekter på det omgivande landskapet. Antalet trafikdödade grävlingar uppgår till mellan 22 000 och 33 000. Det motsvarar ca 12-13% av grävlingpopulationen, en dödlighet som är så hög att populationen riskerar att börja minska (Seiler 2004).

En övervägande majoritet av alla studier av vägars/järnvägars effekter på djur har gjorts på större däggdjur och fåglar, men även groddjur och smådäggdjur finns relativt väl representerade (Trombulak & Frissell 2000). För ryggradslösa djur finns dock få studier och kunskapen är dålig om effekterna på denna grupp som är den absolut artrikaste. Ryggradslösa djur utnyttjar ofta sin miljö i samma skala som en väg/järnväg påverkar landskapet på. Bland dem finns också huvuddelen av de rödlistade arterna i Sverige (Gärdenfors 2000) (Tabell 1). De huvudsakliga hoten mot arterna består i att deras livsmiljöer förstörs och minskar i arealer. Intensivt skogsbruk och förändrade jordbruksmetoder som berör stora arealer är två av de främsta orsakerna till att arter är hotade. Ytterligare fragmentering av deras miljöer som den som infrastruktur kan innebära kan vara förödande för fortlevnaden för vissa arter som redan är hårt trängda.

Tabell 1. Hotade arter i Sverige fördelat på olika grupper. De ryggradslösa djuren dominerar helt i antal.

Kärlväxter	Mossor	Kransalger	Lavar	Svampar	Ryggradsdjur	Ryggradslösa djur
505	238	21	254	609	156	2337

Kunskapen om hur ryggradslösa djur påverkas av infrastruktur har tidigare varit bristfällig. Ett av projekten under EKLIPS är ”Landskapsekologiska effekter av vägar och järnvägar på ryggradslösa djur” som pågått 2001-2003. Föreliggande rapport är slutrapporten för det projektet. De genomförda studierna hade två syften. Det första var att undersöka arealkrav på landskapsnivå hos en grupp ryggradslösa djur (dagfjärilar) för att i förlängningen kunna identifiera värdefulla landskapsregioner. En fråga som vi ville besvara var om vissa

dagfjärilsarter har tröskelvärden vad gäller arealkrav för att kunna överleva och på det viset hitta lämpliga indikatorarter bland dem. Det andra syftet var att studera den eventuella barriäreffekt en väg kan ha på flygande ryggradslösa djur. Även här är det dagfjärilar som studerats.

Varför studera dagfjärilar och odlingslandskap?

Olika organismgrupper och landskapstyper är olika lämpade att studera frågeställningar vad gäller landskapsekologi och barriäreffekter. Detta gäller framförallt ryggradslösa djur där många artgrupper är dåligt kända och praktiskt svåra att arbeta med. En av de bäst kända grupperna av ryggradslösa djur är dagfjärilar. Odlingslandskapet där de framförallt finns, är viktigt att utreda vad gäller problematik kopplat till infrastruktur, eftersom det är där de flesta vägar ligger och det är där de flesta människor bor och vistas.

Många dagfjärilsarter har minskat i Europa, särskilt under perioden efter andra världskriget. De senaste 25 åren har minskningen varit speciellt kraftig (Pollard & Eversham 1995). Den största orsaken till minskningen är att stora delar av dagfjärilarnas miljöer har försvunnit. Sedan 1880 har 82% av ängs- och hagmarkerna försvunnit (Angelstam et al. 1993) och stora arealer våtmarker dikats ut. Båda dessa miljöer är artrika fjärilsmarker. Förutom att miljöer försvunnit har de enskilda områdena blivit mindre och avståndet mellan dem har ökat, något som ökar risken för att arter lokalt dör ut. Dessa storskaliga förändringar har lett till att 31 av Sveriges ca 112 dagfjärilsarter nu är rödlistade (hotade). De här miljöförändringarna berör inte bara dagfjärilarna. Deras livsmiljöer hör till de artrikaste vi har i Sverige, 2013 av totalt 4120 rödlistade arter finns i dagfjärilsmiljöer. Hit hör öppna gräsmarker, ängs- och hagmarker, successionsmarker och lövskogar i odlingslandskapet. De här markslagen har en stor rikedom på framförallt andra insekter men också på fåglar, kärlväxter och lavar för att nämna några. En miljö som fungerar för dagfjärilar gynnar alltså samtidigt en mängd andra arter.

Dagfjärilar är goda representanter för de ryggradslösa djuren som utgör huvuddelen av de rödlistade arterna i Sverige (2337 av 4120 st.). I en tysk undersökning beräknades att ett skydd av de 200 tyska dagfjärilsarterna samtidigt skulle skydda 12 000 av 32 000 arter av övriga insekter (Kudrna 1986). Råder motsvarande förhållanden i Sverige förekommer ca 9000 av Sveriges 25 000 insektsarter i dagfjärilsmiljöer. Detta är ett skäl som gör dagfjärilar lämpliga som studieobjekt för att kunna kartlägga värdefulla miljöer i odlingslandskapet och för att upptäcka eventuella negativa effekter av infrastruktur.

Andra skäl som gör dagfjärilar lämpliga som studieorganismer och modelldjur är att:

- dagfjärilar och andra insekter är viktiga i näringskedjor, pollinerar våra växter och cirkulerar näringsämnen genom nedbrytning av dött material (gäller ej dagfjärilar)
- de är ekologiskt välkända så omfattande grundforskning behövs ej.
- det är lätt att fånga och märka ett stort antal individer och arter med en rimlig arbetsinsats, något som kan vara svårt med många andra ryggradslösa djur.
- det finns känd metodik och resultat från tidigare forskning att tillämpa och utvärdera resultaten mot.

- en livscykel med en till flera generationer per år gör att responsen vid förändringar är mycket snabb jämfört med fåglar och däggdjur.

Infrastruktur och ängs- och hagmarker

I och med att så stora delar av ängs- och hagmarkerna redan har försvunnit, är många av arterna känsliga för ytterligare arealminskningar. Vägar och järnvägar kan påverka deras miljöer negativt trots att det arealmässiga ingreppet lokalt kan vara begränsat. Påverkan kan, förutom genom ren arealminskning, ske på i huvudsak två olika sätt, dels genom att försvåra skötseln (pågående markanvändning), dels genom barriäreffekter.

Fjärilarnas känslighet hänger samman med att huvuddelen av dagfjärilarna (och deras följearter av andra insekter, fåglar m fl) finns i öppna till halvöppna hagmarker- och lövskogar. Dessa miljöer är ofta beroende av hävd i form av bete för att kunna bestå på lång sikt. Om en hagmark delas av en väg/järnväg är risken stor att en del eller hela hagmarken slutar att brukas om inte koportar och vägportar underlättar bondens arbete (Fig 1). Den följande igenväxningen gör att hagens värden sakta tynar bort. Infrastruktur leder då till betydligt större förluster av värdefull natur än själva arealintrånget.



Figur 1. Ett exempel från Östergötland på hur en vägdragning indirekt kan påverka stora områden. Innan nya E4:an byggdes fanns en 18,8 ha stor hagmark (grön + röd markering). Idag återstår 5,5 ha (markerad med grönt). En minskning på 70% där motorvägen endast tog 20% av arealen.

Även populationerna på de kvarvarande områdena kan påverkas på sikt på grund av att många dagfjärilar lever i så kallade "metapopulationer" (se "Metapopulationsdynamik – överlevnad i fragmenterade landskap"). I en metapopulation är utbytet av individer mellan olika områden av avgörande betydelse för populationens överlevnad på lång sikt. För att en art skall kunna överleva i en metapopulation krävs det att områdena har en kontakt med varandra så att återkolonisationer kan ske efter eventuella slumpmässiga utdöenden. Därför kan en

barriäreffekt av en väg/järnväg få stora konsekvenser. Om barriäreffekten är kraftig kan en väg/järnväg i värsta fall orsaka ett lokalt utdöende även om hävden kan upprätthållas. Kunskaperna om barriäreffekterna av vägar och järnvägar är bristfällig för fjärilar.

Arealkrav på landskapsnivå hos dagfjärilar

Ett av syftena med studien var att undersöka dagfjärilars eventuella tröskelvärden när det gäller arealkrav på landskapsnivå. Med ett tröskelvärde för fjärilars arealkrav menas här ett gränsvärde som om det underskrids dramatiskt ökar utdöendehastigheten hos en population i landskapet. Om tröskelvärden existerar finns det en möjlighet att använda dagfjärilar för att identifiera värdefulla landskap. Vi studerade enskilda hagmarker i en gradient från den intensivt skötta östgötaslätten med få hagmarker och lövskogar till det rika eklandskapet söder om Linköping med gott om hagmarker och lövskogar. Totalt undersöktes 62 områden och alla dagfjärilsarter och individer noterades vid fem besök mellan maj och augusti. Totalt artbestämdes 12 170 individer av 57 fjärilsarter. Fjärilsartnamnen följer den nya namnsättningen (Kommittén för svenska djurnamn 2004).

Förutom mängden hagmarker i landskapet studerades en rad variabler som kunde påverka fjärilsfaunan (Tabell 2). Viktigast för dagfjärilsfaunan var dock arealen busk- och trädrika hagmarker (Fig 2) och lövskogar inom 5000 m (en yta på 7854 ha) från den undersökta lokalen (Bergman et al. 2004). Omgivningens arealer betydde alltså mer än t ex själva lokalens örtrikedom eller struktur av träd och buskar. Det var också intressant att konstatera att mängden hagmarker och lövskogar i närområdet inom 500 m hade liten påverkan på fjärilssamhället. Vidare analyser baserat på resultaten i tabell 2 visade att den skala som påverkar fjärilssamhällets sammansättning handlar om kilometer snarare än hundratals meter (Bergman et al. 2004). Mängden hagmarker och lövskogar inom 500 m och 2000 m kunde inte förklara fjärilsfaunans sammansättning, däremot mängden inom 5000 m.

Resultaten visade alltså tydligt att mängden gräsmarker i landskapet med >25% krontäckning av träd och buskar är betydelsefull för fjärilsfaunan. Ökande mängd hagmarker i landskapet inom 5000 m innebär ökande artrikedom. Artrikedomen ökar snabbt upp till ca 800 ha hagmarker för att sedan börja plana ut (Fig 3). Tröskelvärdet för att ett artrikt område (ett värdefullt landskap) säkert skall kunna finnas förefaller därför vara kring 800-1500 ha. Sannolikheten att hitta mer än 20 arter dagfjärilar i en hagmark är >50% om mängden hagmarker inom 5000 m överstiger 570 ha.

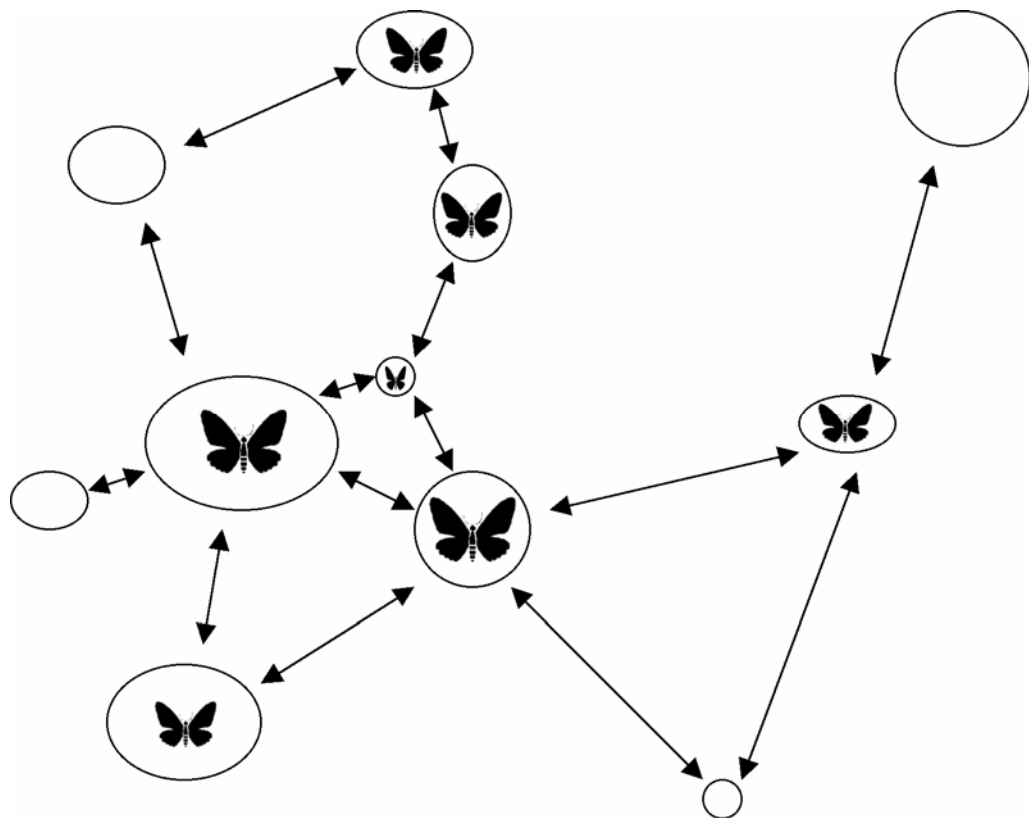


Figur 2. Blomrika ängs- och hagmarker tillhör Sveriges artrikaste miljöer. Bilden är från studieområdet intill E4:an där barriäreffekter studerades 2002.

Metapopulationsdynamik – överlevnad i fragmenterade landskap

Hagmarker ligger ofta som mindre områden i landskapet omgivna av åkrar och granplanteringar. I sådana fragmenterade miljöer existerar de djur och växter som är beroende av resurser på områdena i så kallade ”metapopulationer”. En metapopulation är en ”population av populationer”, ett system av områden med lokala populationer som har ett visst utbyte av individer mellan sig. I ett sådant system av många små populationer löper alla populationer en viss risk att dö ut även om utdöenderisken varierar mellan områden. Störst risk löper små populationer och populationer på områden som ligger isolerade från andra men även extrema år (vädermässigt, rovdjurstryck eller liknande) kan hota populationer på normalt bra områden.

Dessa utdöenden kompenseras av en viss kolonisation från närliggande områden när en del individer lyckas att flytta sig mellan områden. Blir antalet områden i systemet för få och totalarean för liten så riskerar hela systemet att krascha när takten på utdöenden blir högre än kolonisationstakten. Arten dör då ut från samtliga områden. Speciellt känsliga är regioner där antalet områden är nära tröskelvärdet för utdöenden för en art. En förlust av några få områden kan i sådana regioner leda till ett totalt utdöende på sikt. Bilden nedan visar en metapopulation där några av områdena för tillfället är tomma på grund av isolering, litenhet eller slump. Kommande år kan de koloniserats samtidigt som andra kan dö ut.



Metapopulationsdynamik i verkligheten – ängsnätfjärilen

Hur långt från verkligheten ligger teorierna om metapopulationer? Fungerar arter verkligen på det sätt som modellerna förutspår med utdöenden och kolonisationer?

Studierna av ängsnätfjäril i Finland har gett en hel del svar på dessa frågor. Ängsnätfjärilen är en av världens mest studerade djur vad gäller metapopulationer. Samtliga områden på Åland har kartlagts för fjärilen och studerats mellan 1993 och 2001. Totalt har 1452 passande områden för fjärilen årligen kontrollerats med avseende på förekomst av ängsnätfjäril. Av dessa har fjärilen hittats minst en gång under dessa nio år på 842 av områdena. Antalet områden som fjärilen hittats på varierar mellan 303 och 496 för de olika åren. Endast 33 (3,3%) av områdena har dock hyst fjärilen varje år. Antalet fjärilar fluktuerar mycket mellan och år och förändringarna har inte varit synkrona mellan olika områden (Nieminen et. al. 2004).

Dessa resultat bekräftar teorierna om hur metapopulationer fungerar med utdöenden som drabbar olika områden under olika år och att få populationer är livskraftiga på egen hand utan kontakt med andra populationer. För att kunna bedöma om en art ska kunna överleva krävs alltså studier på en större skala än bara det specifika område den finns på, det vill säga en hel grupp av områden.

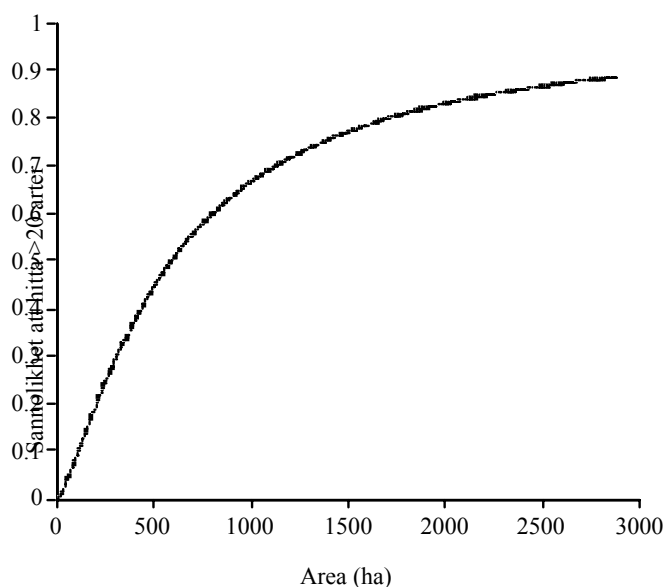
Tabell 2. Olika variablers relativa betydelse för fjärilsfaunan på 62 hagmarker i Östergötland ordnade i fallande värden. PC1 visar korrelationen (positiv eller negativ) mellan variabler och axel 1 i en ordination av arter och individrikedom av fjärilar på 62 lokaler. Axel 1 förklarade 33% av fjärilssamhällets variation i ordinationen.

Variabler	PC1
Arealen lövområden (50-75%*) inom 5000 m	0.32
Arealen lövområden (75-100%*) inom 5000 m	0.31
Täckning av buskar	0.24
Arealen lövområden (25-50%*) inom 5000 m	0.22
Grässvålshöjd	0.19
Antalet örtarter	0.14
Lokalarea	0.12
Täckning av träd	0.11
Arealen lövområden (25-50%*) inom 2000 m	0.09
Arealen lövområden (50-75%*) inom 500 m	0.07
Arealen lövområden (50-75%*) inom 2000 m	0.05
Arealen lövområden (75-100%*) inom 2000 m	0.05
Arealen lövområden (75-100%*) inom 500 m	0.01
Arealen lövområden (0-25%*) inom 500 m	-0.01
Arealen lövområden (25-50%*) inom 500 m	-0.03
Arealen lövområden (0-25%*) inom 5000 m	-0.07
Arealen lövområden (0-25%*) inom 2000 m	-0.07
Andel öppen mark på lokalen	-0.17

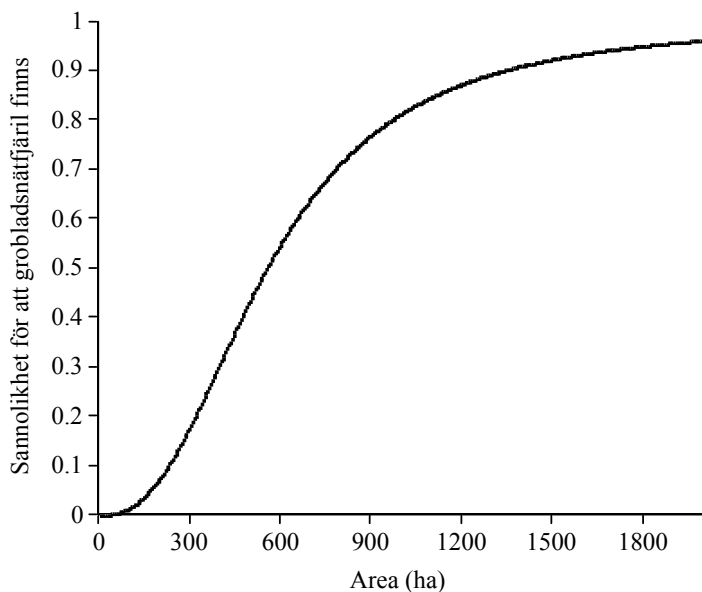
* anger den procentuella krontäckningen av träd- och buskar på områdena

För enskilda arter verkar det också finnas tröskelvärden, där en liten förändring i mängden hagmarker i landskapet ger en stor effekt på sannolikheten att arten skall kunna finnas, t ex hos skogsnätfjärilen (Fig 4). Det faktum att tröskelvärden verkar existera gör att det är möjligt att identifiera värdefulla landskap som ligger ovanför de kritiska tröskelvärdena. Detta ger i sin tur möjligheter att utveckla redskap för planering av infrastruktur. Huvuddelen av arterna gynnas av ökande mängd hagmarker i landskapet. För 11 av arterna (bl a vitgräsfjäril, skogsnätfjäril och ängspärlemorfjäril) finns ett signifikant samband mellan sannolikheten till förekomst och mängden hagmarker i landskapet (Tabell 3). För att ha en sannolikhet på >50% att förekomma har dessa arter arealkrav på mellan 130-950 ha på landskapsnivå. För några få av arterna finns ett negativt samband mellan arealen hagmarker och förekomsten. Detta gäller kända långflygande arter som rovfjäril, näselfjäril och kålfjäril och som alla gynnas av mänsklig påverkan på landskapet. Näselfjäril lever som larv av kvävegynnade nässlor och kålväxterna som är värdväxter för både rovf- och kålfjäril gynnas av de störda miljöer som uppkommer i åkerkanter.

Att tröskelvärden existerar beror till stor del på fjärilarnas populationsekologi och på hur dagens odlingslandskap ser ut. I dagens uppsplittrade landskap existerar många av arterna i metapopulationer. Studier av ängsnätfjäril, ljungblåvinge och silversmygare visar att tröskelvärdet för en långsiktigt hållbar metapopulation ligger omkring 10-15 passande områden i ett system (Thomas 1994; Thomas & Hanski 1997). Av 127 system hos ängsnätfjäril förekom fjärilen bara i ca 30% av alla system med färre än 10 områden men fanns >95% av alla med fler än 15 områden. Att kunna detektera tröskelvärden för olika arter är av stor betydelse. Då kan åtgärder vidtas för att minimera de negativa effekterna av infrastruktur. Till exempel kan vägsträckningar justeras, vägportar kan förläggas till kritiska områden och kompensationsbehov identifieras.



Figur 3. Sannolikheten att hitta >20 arter fjärilar på en hagmark i relation till mängden hagmarker och lövskogar med >25% träd och buskar inom 5000 m från den undersökta lokalen. Total area inom 5000 m = 7854 ha.



Figur 4. Sannolikheten att hitta skogsnätfjäril på en hagmark i relation till mängden hagmarker och lövskogar med >25% träd och buskar inom 5000 m från den undersökta lokalen. Total area inom 5000 m = 7854 ha.

Möjliga indikatorarter bland dagfjärilarna

Vissa arter påträffades i huvudsak på artrika områden i landskap med stor mängd hagmarker men saknades i landskap fattiga på hagmarker. Med kunskap om sådana samband kan man använda enskilda arter som indikatorer på total artrikedom. Arterna blir så kallade indikatorarter. Våra studier pekar på att flera arter och två artgrupper kan vara användbara (Fig 6). De två artgrupperna är pärlemorfjärilar och bastardsvärmare. Totalt 13 arter eller artgrupper påträffades främst i rika landskap, t ex skogsnätfjäril, vitgräsfjäril, midsommarblåvinge, brunfläckig pärlemorfjäril och silverstreckad pärlemorfjäril (Tabell 3). Resultaten ger också indikationer på hur mycket äng- och hagmarker/lövskog rika odlingslandskap ska innehålla. Andelen för att olika arter ska finnas med >50% sannolikhet varierar mellan 1,6% (slättergräsfjäril) och 12,1% (sorgmantel). De flesta arterna ligger mellan 4-10%.

Den stora frågan är om indikatorarterna som vi funnit även är användbara i andra delar av Sverige. Genom att analysera resultat från andra studier kan vi få en fingervisning på om arterna kan tänkas att fungera som indikatorarter över större regioner. En studie i Flandern i norra Belgien, där alla fynd av fjärilar från 1900-talet sammanställts, innefattade flera av de arter vi studerat (Maes & Van Dyck 2001). Flandern är en tätbefolkad region där infrastruktur, bebyggelser och intensivt jordbruk är karaktäriserande. Resultaten därifrån bekräftar i stort att de arter som indikerat höga krav på landskapet i vår studie också drabbats av minskningar i Flandern. Skogsnätfjäril, brunfläckig pärlemorfjäril och pryddlig pärlemorfjäril har helt försvunnit från regionen. Troligtvis har arealen lämpligt habitat minskat så mycket att tröskelvärdena passerats för dessa arter. Fortfarande är skogsnätfjäril, brunfläckig pärlemorfjäril och pryddlig pärlemorfjäril relativt vanliga i delar av Sverige. Vidare visade studien från Flandern att antalet populationer av skogsvitvinge, sorgmantel, ängspärlemorfjäril och silverstreckad pärlemorfjäril hade minskat med mellan 42 och 79%. Slättergräsfjärilen är den enda arten som uppvisar ett tvetydigt mönster då den hade ökat i

antal i Flandern medan det i våra studier finns ett signifikant samband mellan förekomst och mängden hagmarker/lövskog även om arealkraven var relativt blygsamma jämfört med andra arter vilket ger att den kan vara tveksam att använda som indikatorart.

Tabell 2. Värden från logistiska regressionsmodeller där olika arters och grupperns förekomst i landskapet testats för sina krav på areal hagmarker på landskapsnivå (sammanlagd areal lövskog/hagmarker inom 5000 m, 7854 ha). Resultaten är baserat på data från 62 områden. Kolumnen längst till höger beräknar mängden lövskog/hagmark inom 5 km för att en art skall ha >50 % sannolikhet att finnas i området.

Arter	Antal förekomster	Statistisk signifikans ¹	areal och andel lövskog/ hagmark för 50 % sannolikhet att finnas
Sorgmantel	10	*	950 (12,1%)
Vitgräsfjäril	13	*	860 (10,9%)
Skogssnätfjäril	22	**	570 (7,3%)
Pärlemorfjärilar (minst en av arterna i gruppen)	49	**	180 (2,3%)
Midsommarblåvinge	15	*	760 (9,7%)
Skogsvitvinge	22	**	580 (7,4%)
Prydlig pärlmorfjäril	14	NS	-
Bastardsvärmare (minst en av arterna i gruppen)	15	*	880 (11,2%)
Ängspärlemorfjäril	35	**	320 (4,1%)
Lokal med ≥20 arter	24	*	570 (7,3%)
Brunfläckig pärlmorfjäril	31	*	390 (5,0%)
Vitfläckig guldvinge	22	*	700 (8,9%)
Silverstreckad pärlmorfjäril	16	*	820 (10,4%)
Slättergräsfjäril	49	*	130 (1,7%)
Älggräspärlemorfjäril	29	*	440 (5,6%)
Ängssmygare	49	NS	-
Påfågelöga	47	NS	-
Silversmygare	15	NS	-
Citronfjäril	26	NS	-
Mindre tätelsmygare	44	NS	-
Kålfjäril	49	NS	-
Nässelfjäril	40	NS	-
Rovfjäril	32	**	negativt samband

¹ *=95% sannolikhet, **=99% sannolikhet, NS=ej signifikant

De arter som i vår studie inte påverkades negativt av minskande habitat (rovfjäril, kålfjäril, nässelfjäril) har heller inte visat någon minskning i Flandern, vilket stärker användbarheten i våra resultat.

I Storbritannien har det skett en stor minskning i hela gruppen pärlemorfjärilar . Skogsnätfjäril, ängspärlemorfjäril och prydlig pärlemorfjäril är t ex alla sällsynta där. Skogsnätfjäril har i Storbritannien minskat med hela 92% de senaste 100 åren (Warren 1992). Precis som vår studie indikerat är troligen hela gruppen pärlemorfjärilar känsliga för förändringar i landskapet. Gruppen bastardsvärmare är alla mer eller mindre sällsynta också i Sverige. Av totalt sju arter i Sverige så står fem på den svenska rödlistan över hotade och hänsynskrävande arter. Data från 100 hagmarker i Östergötland som inventerats mellan 1993-2001 visar att antalet dagfjärilsarter ökar med ökande antal arter av bastardsvärmare. Områden med samtliga fem arter av bastardsvärmare som finns i Östergötland hade ca 35 arter i genomsnitt medan lokaler som helt saknade bastardsvärmarter bara hade 21 arter (Franzén & Ranius 2004). Bastardsvärmarna är lätta att känna igen och lätta att hitta då de är ivriga blombesökare. Det är två egenskaper som gör dem lämpliga som indikatorarter.

Barriäreffekter av en motorväg

Infrastruktur som direkt eller indirekt (när hävden upphör) leder till en hagmarks försvinnande och därmed minskar arealen hagmarker i landskapet är en allvarlig effekt. Men även infrastruktur som inte gör att miljöer med höga naturvärden försvinner kan orsaka problem. Om en väg/järnväg gör att spridningen mellan områden minskar eller upphör kan viktiga processer som återkolonisationer efter slumpmässiga utdöenden fördröjas eller i värsta fall helt utebli.

I ett sådant system blir den eventuella barriäreffekten av en väg/järnväg viktig. Om barriäreffekten är kraftig kan flödet av individer mellan områden hindras och områden kan riskera att förbli tomma efter eventuella utdöenden. Kunskapen om barriäreffekter av vägar och järnvägar är dock bristfällig för fjärilar. En övervägande majoritet av alla studier av barriäreffekter har gjorts på större däggdjur och fåglar. I mindre utsträckning förekommer studier av groddjur och smådäggdjur. För ryggradslösa djur finns enstaka studier och kunskapen är dålig om effekterna på denna grupp – trots att den är den absolut artrikaste!

För att studera barriäreffekten för fjärilar märkte (Fig 5) och återfångade vi samtliga arter i en ca 30 ha stor hagmark genomskuren av E4:an utanför Ödeshög på gränsen mellan Östergötland och Småland. Totalt fångades 8 415 individer av 55 arter från maj till augusti. Varje fångad individ mättes in med GPS och analyserades sedan med avseende på rörelser och antalet förflyttningar över vägen.



Figur 5. För att studera barriäreffekten för fjärilar märkte och återfångade vi samtliga arter i en ca 30 ha stor hagmark genomskuren av E4:an utanför Ödeshög på gränsen mellan Östergötland och Småland. Varje fjäril märktes individuellt med en vattenfast penna på undersidan av bakvingen. Bilden visar en skogsvitvinge.

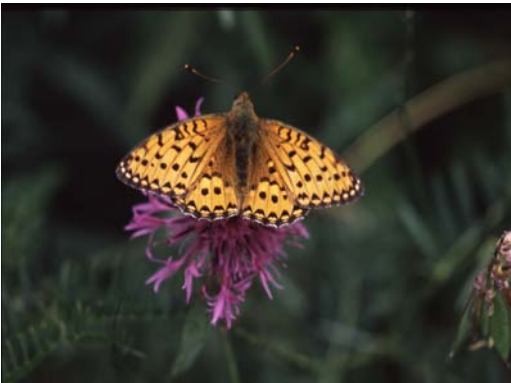
Foto: Karl-Olof Bergman



Skogsnätjäril



Allmän bastardsvärmare



Ängspärlemorfjäril



Vitfläckig guldvinge



Silverstreckad pärlemorfjäril



Metallvingesvärmare

Fig 6. Ett urval av fjärilar som kan vara möjliga att använda som indikatorer för värdefulla odlingslandskap efter studier av 62 hagmarker från biologiskt fattigt slättlandskap till rik lövskogsbygd.

Resultaten visar överraskande att en väg kan ha en signifikant effekt på rörelser även hos flygande organismer (Fig 7). För två av arterna hade vägen en signifikant barriäreffekt. För luktgräsfjäril minskade flödet med 74% och för slättergräsfjäril med 43%. För de fem övriga arterna fanns ingen signifikant effekt av vägen. Vad gjorde att just slättergräsfjäril och luktgräsfjäril drabbades och inte de övriga? Troligen har det att göra med arternas spridningsförmåga och biologi. Rapsfjäril, citronfjäril och aurorafjäril som inte påverkades av vägen tillhör samtliga familjen vitfjärilar och de är alla mer eller mindre långflygande och rörliga arter (Henriksen & Kreutzer 1982). Rapsfjärilen lägger sina ägg på växter i familjen kålväxter. Kålväxter gynnas av störningar i landskapet och dyker upp fläckvis och rapsfjärilen är därför evolutionärt anpassad att röra sig över stora ytor för att hitta dem.

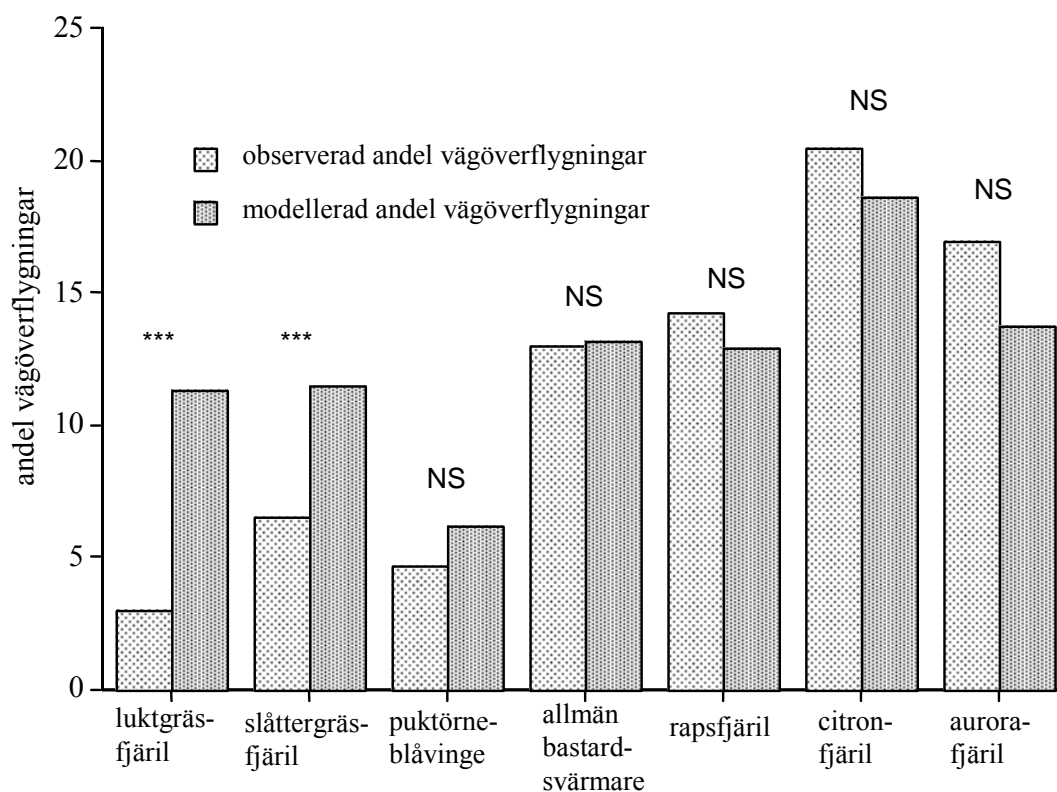
Den hårdast drabbade arten, luktgräsfjäril, befinner sig i andra änden av rörelseskalan. (Bink 1992) delade in dagfjärilsarter efter deras spridningsförmåga och luktgräsfjäril klassades som arten med lägst spridningsförmåga bland arterna i Fig 8. Den flyger liksom slättergräsfjärilen lågt över marken och lever som larv på olika gräsarter, en resurs som finns på samma ställe år från år. Benägenheten att röra sig över ogästvänliga ytor är därför låg hos dessa arter. De flesta av våra dagfjärilsarter rör sig över begränsade ytor. En uppskattning av Storbritanniens dagfjärilsfauna visade att bara 15% var rörliga arter som t ex rapsfjäril (Thomas 1984). Med ett större material hade vi därför kunnat förvänta oss flera arter som påverkas av vägen. Troligen så påverkas många arter i grupperna blå- och guldvingar, gräsfjärilar och en del av pärlemorfjärilarna där många arter har dålig spridningsförmåga. I en annan studie av mindre vägar än E4:an i vår studie var det också färre flyttningar än förväntat över vägen om man antog att fjärilarnas rörelsemönster var slumpmässigt även om effekten var svagare. Även här var det så att arter med god spridningsförmåga inte berördes av vägen och att rörelserna hos arter med sämre spridningsförmåga påverkades negativt.

En engelsk studie visade att en ca 50 meter bred motorväg minskade flödet av aurorafjärilar med 91,8% medan det i vår studie inte fanns några effekter för den arten (Dennis 1986). Det kan bero på hur vägen var utformad i den engelska studien. Där gick vägen på en hög vägbank och korsade dessutom aurorafjärilens område där det var som smalast. Det bidrog troligen till den kraftiga barriäreffekten i den studien. Vägen i vår studie gick däremot delvis i en skärning något som troligen gör det lättare för fjärilar att korsa vägen. Det är möjligt att de kan få flyghöjd över vägbanan och lättare nå andra sidan utan att störas av passerande fordon om de flyger över vid skärningen. Här behövs mera studier för att visa om vägens profil kan påverka barriäreffekten.



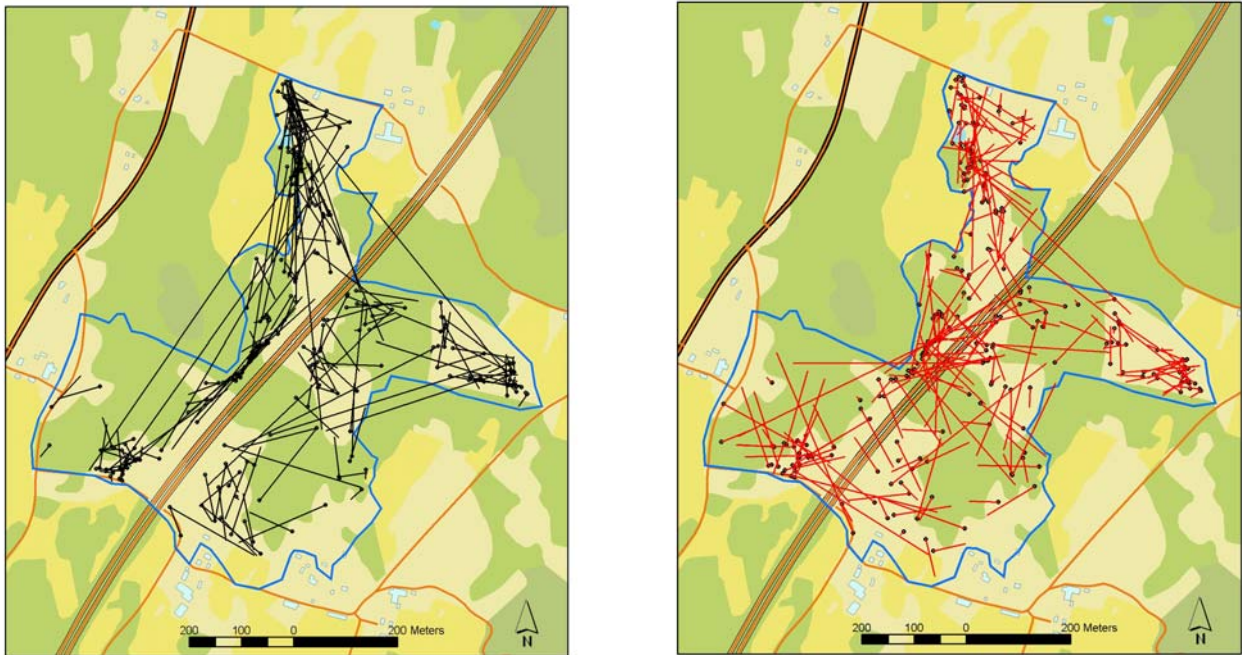
Foto: Karl-Olof Bergman

Figur 7. Två arter av dagfjärilar vars rörelsemönster påverkas helt annorlunda av en motorväg. För luktgräsfjärilen till vänster innebär vägen en kraftig barriär som hindrar 75% av alla rörelser medan rapsfjärilen till höger rör sig obehindrat trots vägen. Skillnaderna beror troligen på fjärilarnas olika biologi.



Figur 8. Andel fjärilar som korsade en motorväg (E4:an) i en märknings- och återfångststudie jämfört med en simuleringsmodell där fjärilarna rör sig lika långa sträckor men i slumpmässig riktning. *=95% sannolikhet, **=99% sannolikhet, NS=ej signifikant.

De få övriga studier som gjorts på ryggradslösa djur pekar på att effekterna av minskad spridning också kan ha andra indirekta effekter. Märkning av humlor på båda sidor om en väg och en järnväg i USA pekade på att de var ovilliga att röra sig över både vägen och järnvägen (Bhattacharya et al. 2003). När blommor klipptes bort för att tvinga dem att söka nya områden sökte de sig till nya platser på samma sida av vägen/järnvägen. Materialet var dock litet och resultaten osäkra. En minskad rörelse av pollinatörer kan leda till minskad frösättning och i längden även floristiskt artfattigare områden. En studie av backnejlikor visade att frösättningen var 40% lägre på isolerade (omgivna av åkermarker) lokaler där antalet fjärilar som kunde pollinera var färre (Jennersten 1988). Jämförelsen hade gjorts med backnejlikor i ett stort sammanhängande hagmarkslandskap. De få frön som ändå bildades var i huvudsak bildade genom självpollinering vilket ger lägre genetisk variation och med tiden kan det orsaka utdöenden. Låg genetisk variation hittades också hos populationer av violett jordlöpare i små biotopfragment isolerade av en motorväg i Schweiz (Keller & Largiadèr 2003). Det fanns även genetiska skillnader mellan populationer hos arten på ömse sidor om motorvägen. Slutsatsen var att motorvägen fungerade som en absolut barriär för jordlöparna.



Figur 9. Rörelser hos luktgräsfjäril på en hagmark som genomkorsas av E4:an utanför Ödeshög (Östergötland). Den vänstra bilden visar verkliga rörelser. Den högra visar en simulering av hur individerna hade rört sig om de rört sig slumpmässigt. Simuleringen utgick från var vi hittade fjärilarna och frekvensfördelningen av artens uppmätta spridningsavstånd men med en slumpmässigt vald riktning.

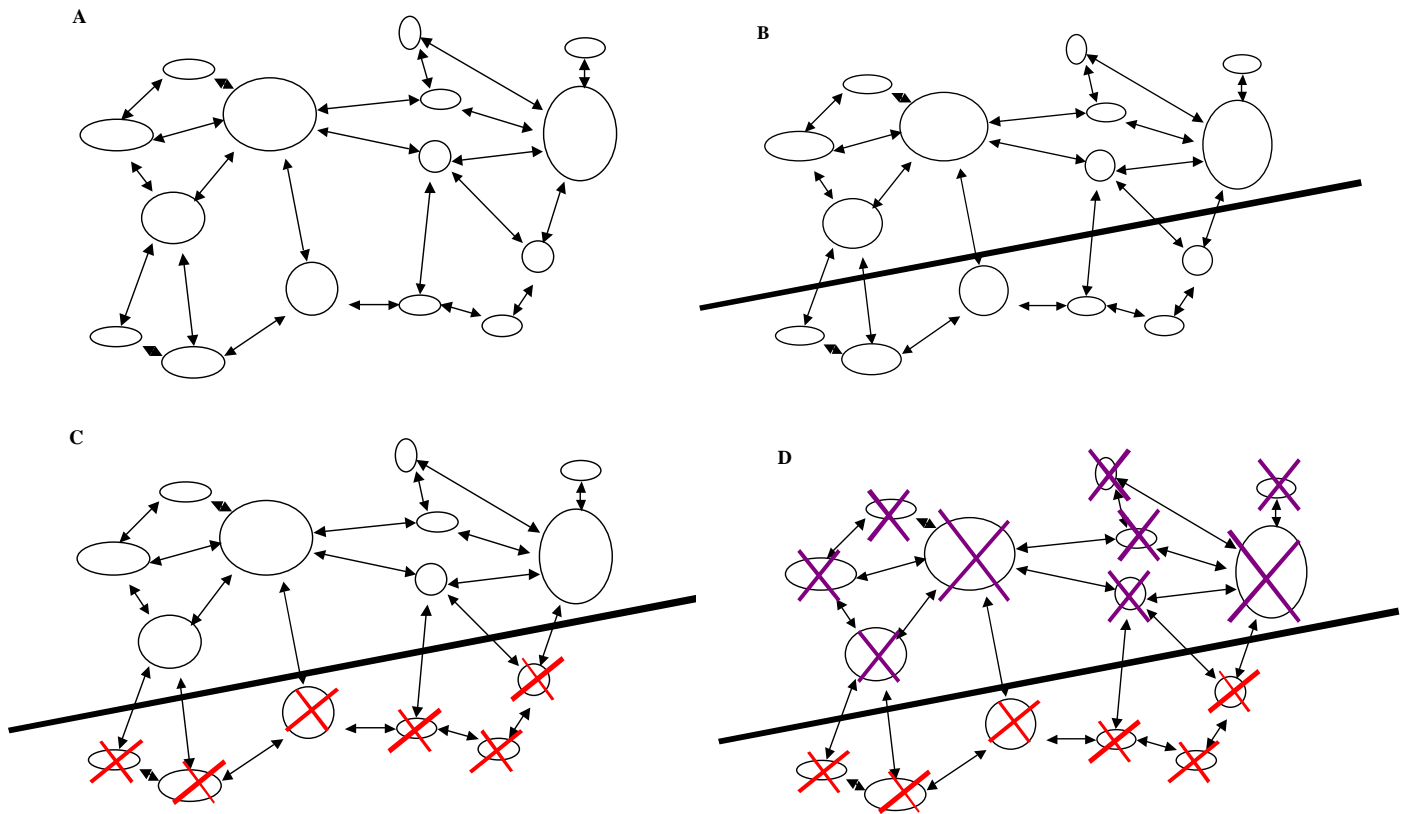
Ett hypotetiskt exempel av barriäreffekter på utdöenderisker

Våra studier visar att en väg kan ha barriäreffekter även på ryggradslösa djur. Ett hypotetiskt exempel får belysa problematiken med att planera infrastruktur i fragmenterade miljöer med arter som lever i metapopulationer. I dagens odlingslandskap är de lämpliga enskilda områdena ofta små och hyser som en följd små populationer av de djur som lever där inklusive fjärilar. Små populationer drabbas oftare av utdöenden än stora men i fungerande metapopulationer repareras de snabbt genom invandring från andra, för tillfället mera livskraftiga, populationer. Områden av olika karaktär tenderar att fungera olika bra beroende på hur vädret ser ut under året (årsmånen). Under torra år kan miljöer med fuktiga svackor hysa nektarrika blommor och larvernas värdväxter hela sommaren medan allt torkar bort i öppna miljöer med tunna jordtäcken. En riktig regnsommar däremot kan öppna miljöer med tunna jordtäcken vara de enda miljöerna som ger tillräckligt höga temperaturer för nektarsök och fortplantning. Genom att olika områden klarar variationerna i miljön olika bra under olika år blir systemet stabilt och arten kan klara sig på lång sikt. Aurorafjärilen är ett gott exempel på hur en art är beroende av olika miljöer för att klara mellanårsvariationer i vädret (Wiklund 1982). En av de viktiga värdväxter som aurorafjärilen lägger ägg på och som larverna sedan ska leva av, är backtrav som växer på hållmarker och torra magra sandmarker. Jordtacket är ofta inte mer än några centimeter där backtrav växer. En annan viktig värdväxt är ängsbräsma som växer på blöta ängs- och hagmarker eller i diken. Under torra och varma somrar är dödligheten stor hos de larver som lever på backtrav eftersom växten ofta torkar bort innan larven hunnit växa färdigt. Larver på ängsbräsma klarar sig dock utmärkt under torra somrar. Under blöta somrar ser bilden helt annorlunda ut. Då är dödligheten stor för larver på ängsbräsma som då dör av drunkning medan larverna på backtrav klarar sig utmärkt. En

liknande situation med olika överlevnad på olika områden beroende på mellanårsvariation finns hos nätfjärilen *Euphydryas editha bayensis* i USA (McLaughlin et al. 2002). Omfattande studier av ängsnätfjärilen visar också att utdöenden och kolonisationer är vanliga i den typ av fragmenterade landskap som vi har idag och att populationer på få områden på sikt är ”säkra” med avseende på utdöenderisker (Nieminen et al. 2004). Det hypotetiska exemplet nedan har alltså en god förankring i empiriska data.

I exemplet (Fig 10) finns från början 15 små områden (A) med hagmarker av olika typ, torrare öppnare områden i söder och tätare och fuktigare i norr. På dessa 15 områden lever flera fjärilsarter i fungerande metapopulationer. Lokala utdöenden kompenseras av kolonisationer från andra områden. Alla områden identifieras under planeringsprocessen och vägen läggs så att samtliga områden lämnas intakta (B). Efter att vägen byggts så sker ett slumpmässigt utdöende av flera populationer söder om vägen efter ett torrår eftersom de flesta av dessa områden hade tunna jordtäcken och var känsliga. Innan vägen fanns kunde dessa områden snabbt återkoloniserats från de fuktigare områdena norr om vägen. I avsaknad av invandring dör samtliga populationer ut med tiden söder om vägen (C). Men de nio områdena norr om vägen drabbas av blött väder några år senare och även de drabbas av slumpmässiga utdöenden. Invandring från andra områden saknas och till slut dör samtliga nio populationer norr om vägen också ut (D). Antalet områden på var sida om vägen (sex respektive nio) var för få för att en fungerande metapopulation skulle kunna existera. Fältdata från ängsnätfjäril, ljungblåvinge och silversmygare har visat att metapopulationer med 15-20 områden för arterna tenderar att hysa arterna medan metapopulationer med färre än 10 områden tenderade att vara tomma, så scenariot är inte osannolikt. Troligen har antalet områden passerat viktiga tröskelvärden i dessa metapopulationer vilket lett till utdöenden när antalet områden är färre än 10. Det bör dock påpekas att antalet områden inte är den viktigaste faktorn i många fall utan den totala arean som finns. Ett enda stort område kan vara nog och om områdena är små kan det behövas långt över 20 för att en art ska kunna överleva.

Exemplet ovan beskriver vad som kan hända om populationsprocesser inte tas in i planeringen. I detta fall är det möjligt att ett bättre vägval hade varit att förstöra ett av områdena i utkanten av systemet än att dela systemet i två icke fungerande delar trots att inga områden direkt berördes. Det behövs dock mer kunskap innan vi kan ta riktiga beslut i den typen av frågeställningar.



Figur 10. Ett hypotetiskt exempel på hur en metapopulation av fjärilar kan påverkas om en väg har en kraftig barriäreffekt. Genom den fungerande metapopulationen (A) läggs en väg (B). Metapopulationen förlorar först alla mindre delpopulationer söder om vägen (C) och när totala antalet områden minskat till nio norr om vägen så dör till slut samtliga populationer ut (D).

Dagfjärilar som verktyg i planering av infrastruktur

De huvudsakliga slutsatserna av den här studien av dagfjärilar som verktyg i infrastrukturplanering är att:

- Dagfjärilar kan användas för att identifiera biologiskt rika odlingslandskap
- Det finns kritiska tröskelvärden för mängden av habitat i landskapet och infrastruktur har troligen sin största negativa påverkan kring dessa värden
- Tröskelvärdena för enskilda arter varierade mellan 130-950 ha, det vill säga 1,6-12,1% av landskapet ska bestå av passande habitat.
- Indikatorarter kan användas för att identifiera rika landskap
- Vägar kan fungera som barriärer för vissa arter
- Det kan vara avgörande för en fjärilsmetapopulations öde var en väg läggs i landskapet och att det är nödvändigt att studera populationsprocesserna i det berörda landskapet. Det är viktigare än att undvika att enskilda områden berörs.

- Potentiellt rika landskap ska gå att identifiera från flygbilder och satellitdata utan att göra omfattande fältinventeringar i framtiden baserat på våra resultat. Fortfarande är dock resultaten för osäkra (ej upprepade i andra landskap) för att appliceras i större skala.
- När vägplaneringsprocessen kommit fram till vägutredningen kan indikatorerna användas för att identifiera viktiga områden och för att precisera målsättningarna för vilken naturhänsyn som skall tas i arbetet. Indikatorerna kan också användas i uppföljningsarbete för att uppskatta om projektmålen uppnåtts. Exempel på formulering av projektmål med utgångspunkt från fjärilar kan ses nedan.

Exempel på formulering av projektmål i olika planeringsskeden av en väg

Nationellt mål:

Arter skall ha möjlighet att överleva och sprida sig inom sina naturliga utbredningsområden

Projektmål:

Förstudie

- Fjärilsfaunans art- och individrikedom skall bibehållas. Landskapsavsnikt med >7% hagmark/lövskog skall undvikas.
- I landskap med 3-7% hagmark/lövskog skall särskild hänsyn till areal och spridning mellan områden tas. Studier av populationsprocesser är nödvändiga såsom rörelser mellan områden, identifiering av nyckelområden och viktiga hagmarkskomplex och liknande.

Vägutredning

- Om vägen läggs i landskap med 3-7% hagmark ska arealen hävdad hagmark vara opåverkad.
- De tre arterna bastardsvärmare (allmän bastardsvärmare, metallvingesvärmare och bredbrämrad bastardsvärmare) skall kunna överleva på lång sikt.
- Bastardsvärmarna skall kunna sprida sig mellan de 15 lokalerna i hagmarkskomplex y.

Arbetsplan

- Vägport skall finnas mellan 1x, 2y och z för att säkerställa funktionen som betesmark.
- Ledlinjer mellan x och z skapas för att kompensera för minskad kontakt mellan områden.
- 5 ha igenväxt hagmark skall restaureras i anslutning till x för att kompensera för barriäreffekter och ökad dödlighet. Restaureringen genomförs enligt upprättad restaureringsplan.

Bygghandling

- Vägporten skall ha en minsta diameter av 10 meter för att möjliggöra transporter av tunga jordbruksmaskiner.
- Ledlinjer skapas inom vägområdet som skall bestå av torrängsflora och låga buskar. Kantzonen utanför vägen skall vara minst 10 m. Floran skall ha en för trakten naturlig torrängsflora och etableras i kvadratmeterstora fläckar var 5:e meter med omhändertaget ytmaterial. Omgivande kantzoner lämnas för fri etablering och sprutsås ej. Ingen matjord skall påföras. I de yttre 30% av vägskärningen etableras buskar till ett bryn. Arterna som skall användas är: slån, nypon, hagtorn, en, säl, hassel och hägg.
- Tretrådigt elstängsel sätts runt den 5 ha stora hagmarken. All björk under 20 cm diameter och all gran gallras ut från hagmarken. Se vidare separat restaureringsplan.

Behov av fortsatt forskning och utveckling

Våra studier under 2001-03 har pekat på att artrikedom hos fjärilar och förekomst av vissa arter korrelerar positivt med mängden habitat. Våra data pekar också mot att det finns kritiska tröskelvärden på mellan 2-12% av miljön som bör bestå av hagmarker/öppen lövskog för att arter som skogsnätfjäril och bastardsvärmare skall kunna överleva i ett landskap. Vi har också tagit fram tänkbara kandidater för indikatorarter som visar på rika landskap. Dit hör arter och grupper som skogsnätfjäril, brunfläckig pärlemorfjäril, samtliga pärlemorfjärilar, samtliga bastardsvärmare, midsommarblåvinge och vitgräsfjäril.

Fortsatt kunskapsutveckling

För att kunna använda våra resultat i planeringsprocessen krävs en fortsatt kunskapsutveckling. Följande punkter bör prioriteras:

- Andra odlingslandskap än åkerdominerade landskap som det som studerats här bör också undersökas för att kontrollera om de framtagna tröskelvärdena för mängd habitat gäller även i andra landskap.
- De föreslagna indikatorarterna behöver verifieras. För att vara användbara bör de fungera i andra typer av odlingslandskap och i en större region utanför vårt studieområde.
- Även järnvägar och mindre vägars effekter bör studeras. Våra studier pekar på att det finns en barriäreffekt för vissa arter av större vägar. Mindre vägar förefaller ha en mindre barriäreffekt på fjärilar men kunskaperna är bristfälliga. Ännu större kunskapsbrist råder om järnvägars eventuella barriäreffekt.
- Kompletterande studier behövs för att förstå vad som kan hända när infrastruktur passerar genom system av områden (Fig 10). Vårt studieområde var en hagmark som genomkorsades av vägen, vilket innebär förhållandevis korta avstånd mellan passande miljöer. Men hur stark är barriäreffekten om en väg passerar genom ett redan ogästvänligt habitat för fjärilar, t ex åkermark, där avstånden är några hundra meter mellan passande områden? Förstärks barriäreffekten ytterligare?

Utveckling av verktyg

Slutligen återstår att omsätta resultaten och utveckla ett verktyg som är användarvänligt och passar i planeringsprocessens olika steg. En GIS-tillämpning måste tas fram, samtidigt som möjligheterna att använda modern fjärranalys behöver utredas. En manual för MKB-författare respektive naturvårdskonsult behöver också tas fram. Områden som potentiellt kan ha stor nytta av resultaten är drift och underhåll av befintligt vägnät. Här finns ett behov av att omsätta viktiga strukturer som bryn och ledlinjer i skötsel av exempelvis vägområden.



Foto: Karl-Olof Bergman

Fig 11. Prydlig pärlmorfjäril, en art bland många som minskat kraftigt i södra Europa men som fortfarande håller ställningarna i Sverige, och som skulle dra nytta av en bättre planering av vägnätet för att inte minska också här.

Tack

Stort tack till Kerstin Nordström som gjort GIS-analyser, Per Milberg för statistiska analyser och Oscar Ekberg och Annika Samuelsson för fältarbete.

Referenser:

- Angelstam, P., Danell, S., Kautsky, L., Kautsky, N., Liljelund, L.-E., Lingdell, P.-E. & Löfroth, M. 1993. Biologisk mångfald. - Naturvårdsverket.
- Bergman, K.-O., Askling, J., Ekberg, O., Ignell, H., Wahlman, H. & Milberg, P. 2004. Landscape effects on butterfly assemblages in an agricultural region. - *Ecography* 27: 619-628.
- Bhattacharya, M., Primack, R. B. & Gerwein, J. 2003. Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban area? - *Biological Conservation* 109: 37-45.
- Bink, F. A. 1992. *Ecologische atlas van de dagvlinders van Noordwest-Europa*. - Schuyt & Co Uitgevers en Importeurs bv.
- Dennis, R. L. H. 1986. Motorways and cross-movements. An insect's 'mental' map of the M56 in Cheshire. - *Bulletin of the Amateur Entomologists' Society* 45: 228-243.
- Franzén, M. & Ranius, T. 2004. Habitat associations and occupancy patterns of burnet moths (Zyganeidae) in semi-natural pastures in Sweden. - *Entomologica Fennica* 15: 91-101.
- Gärdenfors, U., Ed. 2000. *The 2000 Red List of Swedish Species*. Uppsala, ArtDatabanken.
- Henriksen, H. J. & Kreutzer, I. 1982. *The butterflies of Scandinavia in nature*. - Skandinavisk bogförlag.
- Jennersten, O. 1988. Pollination in *Dianthus deltoides* (Caryophyllaceae): Effects of habitat fragmentation on visitation and seed set. - *Conservation Biology* 2: 359-366.
- Keller, I. & Largiadèr, C. R. 2003. Recent habitat fragmentation caused by major roads leads to reduction of gene flow and loss of genetic variability in ground beetles. - *Proc. R. Soc. Lond. B* 270: 417-423.
- Kommittén för svenska djurnamn 2004
<http://www.sef.nu/nyhetsarkiv/Nya%20dagfj%orilsnamn.pdf>

- Kudrna, O. 1986. Aspects of the conservation of butterflies in Europe. - Aula Verlag.
- Kuitunen, M., Viljanen, J., Rossi, E. & Stenroos, A. 2003. Impact of busy roads on breeding success in pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*. - *Environmental Management* 31: 79-85.
- Maes, D. & Van Dyck, H. 2001. Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? - *Biological Conservation* 99: 263-276.
- McLaughlin, J. F., Hellmann, J. J., Boggs, C. L. & Ehrlich, P. R. 2002. The route to extinction: population dynamics of a threatened butterfly. - *Oecologia* 132: 538-548.
- Nieminen, M., Siljander, M. & Hanski, I. 2004. Structure and dynamics of *Melitaea cinxia* populations. - In: Ehrlich, P. R. and Hanski, I. (ed.), *On the wings of checkerspot*. Oxford University Press, pp. 63-91.
- Pollard, E. & Eversham, B. C. 1995. Butterfly monitoring 2 - interpreting the changes. - In: Pullin, A. S. (ed.), *Ecology and conservation of butterflies*. Chapman & Hall, pp. 23-36.
- Reijnen, R., Foppen, R., Ter Braak, C. & Thissen, J. 1995. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. - *Journal of Applied Ecology* 32: 187-202.
- Rondinini, C. & Doncaster, C. P. 2002. Roads as barriers to movement for hedgehogs. - *Functional Ecology* 16: 504-509.
- Seiler, A. 2004. Vägars ekologiska effekter på djur. - In: Jansson, G., Andrén, H. and Seiler, C. (ed.), *Skogsvilt 3. Vilt och landskap i förändring*. Grimsö forskningsstation, pp. 251-261.
- Thomas, C. D. 1994. Local extinctions, colonisations and distributions: habitat tracking by british butterflies. - In: Leather, S. R., Watt, A. D., Mills, N. J. and Walters, K. F. A. (ed.), *Individuals, populations and patterns in ecology*. Intercept, pp. 319-336.
- Thomas, C. D. & Hanski, I. 1997. Butterfly metapopulations. - In: Hanski, I. and Gilpin, M. E. (ed.), *Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution*. Academic Press, pp. 359-386.
- Thomas, J. A. 1984. The conservation of butterflies in temperate countries: past efforts and lessons for the future. - In: Vane-Wright, R. I. and Ackery, P. R. (ed.), *Biology of butterflies: Symposium of the Royal Entomological Society of London No 11*. Academic Press, pp. 333-353.
- Trombulak, S. C. & Frissell, C. A. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. - *Conservation Biology* 14: 18-30.
- Warren, M. S. 1992. Britain's vanishing fritillaries. - *British Wildlife* 3: 282-296.
- Wiklund, C. (1982). Generalists versus specialist utilization of host plants among butterflies. *Proc. 5th int Symp. Insect-Plant Relationships, Wageningen*.

Vägverket

781 87 Borlänge

www.vv.se vagverket@vv.se

Telefon: 0771-119 119. Texttelefon: 0243-750 90. Fax: 0243-758 25.



Vägverket