



Apollofjärilens (*Parnassius apollo*, L. 1758)
habitatkrav i Ekenäs skärgård – ett
utplanteringsexperiment

Avhandling pro gradu
Åbo Akademi
Fakulteten för naturvetenskaper
och teknik, biovetenskaper
Miljö- och marinbiologi
2021
Fredrik Gripenberg, 29895
Handledare: FD Marianne Fred
Examinator: FD Kai Lindström

“Don’t think twice, it’s alright.”

- *Bob Dylan*

Abstrakt

Under sommaren 2010 utfördes ett utplanteringsexperiment med apollofjärilslarver, *Parnassius apollo*, på nio holmar i tre skärgårdszoner (mellanskärgård, ytterskärgård och havsbandet) i Ekenäs skärgård. Syftet med avhandlingen pro gradu är att genom utplantering identifiera lämpliga habitat för apollofjärilen och förhoppningsvis återinföra fjärilen inom sitt forna utbredningsområde. Larverna kläcktes från övervintrade ägg och föddes upp under labbförhållanden. Larven har specifika krav på sitt habitat och är monofag på värdväxten: kärleksört, *Hylotelephium telephium*. Utplanteringen utfördes enligt ett standardiserat mönster där det inom varje skärgårdszon fanns en kontroll och två olika behandlingar. I behandling ett planterades en larv per fyra värdväxter, i behandling två planterades en larv per åtta värdväxter. Larverna var i olika larvstadier i de olika behandlingarna. Yngre larver planterades ut enligt 1/4-metoden och äldre enligt 1/8-metoden. I kontrollen planterades larver ut enligt båda behandlingsmönstren. Innan larverna planterades ut på holmarna karterades holmarnas bestånd av kärleksört. Även larvens habitatkrav undersöktes med hjälp av habitatrutor. Efter att larverna förpuppats påbörjades nektarväxtkarteringen på holmarna. Vuxna fjärilar räknades längs transekter på holmarna. Resultaten analyserades med statistiska modeller: "linear mixed-effects models" (lmer) och "generalized linear models" (GLM) Totalt planerades det ut ca 2 700 larver på de nio holmarna och totalt observerades 148 vuxna fjärilar. Av de nio undersökta holmarna exkluderades en från alla analyser pga. larvbrist, fem förblev obebodda och på två kunde utplanteringen förklaras lyckad. De statistiska analyserna visade att tillgången till föda är den viktigaste faktorn för larven, medan zonen visade sig vara den viktigaste beskrivande variabeln för den vuxna fjärilen.

Nyckelord: *Parnassius apollo*, utplantering, *Hylotelephium telephium*, larv, lmer, GLM

Abstract

During the summer of 2010 a reintroduction experiment was conducted using larvae of the apollo butterfly, *Parnassius apollo*, on nine islands in tree archipelago zones (sheltered inner archipelago, the intermediate archipelago and the outer archipelago) in the Ekenäs archipelago. The aim of the thesis pro gradu is in the short term to identify potentially suitable habitat islands, and in the long term to reintroduce the apollo butterfly to its former distribution area. Larvae were hatched from overwintered eggs and reared in the lab. The larvae have specific demands on their habitat and are monophagous on the host plant: orpine, *Hylotelephium telephium*. The reintroduction was conducted following a standardized method with one control and two treatments in each of the archipelago zones. In the first treatment one larva was placed among four host plants, and in the second treatment one larva was placed among eight host plants. The larvae were of different instars in each treatment. Younger larvae in the 1/4 method and older larvae in the 1/8 method. In the control larvae were placed first the 1/4 method, followed by the 1/8 method. Before the larvae were relocated to the islands the stems of the host plant were counted, and the larval habitat was mapped with habitat squares. After the larvae had entered the pupal stage, the mapping of the nectar plants started. Butterflies were counted while walking along set transects. The results were analysed with statistical models: linear mixed-effects models and generalized linear models. Nearly 2 700 larvae were planted, and 148 adults were observed. Of the nine islands included in the experiment one was excluded due to a lack of larvae, five remained uninhabited and two were colonized. The statistical analyses showed that access to the host plant was the most important factor for the larvae, while the zone proved to be the most important factor for the adult.

Key words: *Parnassius apollo*, reintroduction, *Hylotelephium telephium*, larvae, lmer, GLM

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Hot, fragmentering och metapopulationsteorier	1
1.2	Utplantering av apollofjärilar	1
1.3	Syftet med avhandlingen pro gradu och frågeställningar	3
2	Modellorganismen: apollofjärilen	3
2.1	Parningsbeteende	5
2.1.1	Hanens beteende	5
2.1.2	Honans ägglägningsbeteende	6
2.2	Apollofjärilens utbredning, fredning och livskraft	7
2.2.1	Möjliga orsaker till apollofjärilens minskning	8
3	Material och metoder	10
3.1	Utplanteringsområdet	10
3.1.1	Mellanskärgården	11
3.1.2	Ytterskärgården	13
3.1.3	Havsbandet	14
3.2	Uppfödning av larverna	15
3.3	Utplantering av larverna	16
3.4	Habitatkartering	18
3.5	Uppföljning av vuxna fjärilar	19
3.6	Statistiska analyser	20
3.6.1	Larvens habitatkrav	21
3.6.2	Övervintrade larver	22
3.6.3	Uppföljning av vuxna och nektarväxtkartering	22
4	Resultat	23
4.1	Utplanteringen och larvens habitatkrav	23
4.1.1	Larvens habitatkrav	23
4.1.2	Övervintrade larver	24
4.2	Uppföljning av vuxna och nektarväxtkartering	25
4.2.1	Mellanskärgården	25
4.2.2	Ytterskärgården	26
4.2.3	Havsbandet	28
4.2.4	Statistisk analys	31
4.4	Grafisk visualisering över utplanteringen 2009–2011	31
5	Diskussion	32
5.1	Utplanteringen och larvens habitatkrav	32
5.2	Etableringsframgången mellan skärgårdszonerna	33

5.2.1 Mellanskärgården	33
5.2.2 Ytterskärgården	34
5.2.3 Havsbandet	35
5.3 Uppföljning av vuxna och nektarväxtkarteringen	35
5.4 Utvärdering av utplanteringsmetodiken och slutsatser	37
6 Tillkännagivanden	38
7 Referenser	39

1 Introduktion

1.1 Hot, fragmentering och metapopulationsteorier

Bland de största hoten mot arter globalt sett är klimatförändringen (Parmesan et al. 1999, Tolman & Lewington 2008), eller habitatförlust (Warren et al. 2001, Fred & Brommer 2005). Enligt vissa uppskattningar kunde 15–37 % av nulevande arter utrotas som en följd av klimatförändringen runt år 2050 (Thomas et al. 2004). Inom bevarandebiologin används flera olika metoder för att skydda hotade arter. En av metoderna är utplanteringar av individer i nya habitat (eng. *assisted migration*). Detta har utförts med olika taxa, t.ex. fåglar (Elliott et al. 2001), träd (Pedlar et al. 2012), däggdjur (Fritts et al. 1997) och insekter.

Insekterna är den överlägset största organismgruppen, med upp till en million namngivna arter, vilket utgör 56 % av den totala globala artsammansättningen (Thomas 2005), och både intresset för och vikten av insektsforskningen har ökat under de senaste två decennierna (Settele et al. 2009). Av de dokumenterade utrotningarna under 1900-talet var största delen insekttaxa (Thomas et al. 2001). Fjärilar (Lepidoptera) anses vara lämpliga modellorganismer för flera olika biologiska processer, bland annat evolutionära och beteendemässiga men även för biogeografiska processer (Settele et al. 2009), eftersom fjärilar ofta har specifika krav på sin omgivning beroende på levnadsstadium (Settele et al. 2009, Eliasson 2005). Fjärilar fungerar även som modellorganismer för metapopulationsstudier (Settele et al. 2009). En metapopulation kunde beskrivas som ”ett landskap bestående av ett nätverk av ideella habitatfläckar, inom vilket arter förekommer som isolerade, lokala populationer sammanbundna genom migration” (Hanski 1998).

1.2 Utplantering av apollofjärilar

Utplanteringsexperiment med apollofjärilar (*Parnassius apollo*, L 1758) har utförts sedan slutet av 1800-talet i olika delar av Europa, med varierande framgång (Witkowski et al. 1997, Nakonieczny et al. 2007). Det första dokumenterade

utplanteringsförsöket är från 1880-talet i Schlesien (dagens Polen) (Witkowski et al. 1997), och under det tidiga 1900-talet utfördes flera utplanteringsförsök i olika delar av Schlesien. De flesta försöken misslyckades (Witkowski et al. 1997), och de utplanterade populationerna försvann eller dog ut inom två generationer (Witkowski et al. 1997 och referenser där i). Möjliga orsaker till misslyckandena kan ha legat i sjukdomar hos de inplanterade larverna, förändringar i vädret, plantering av skog och fjärilssamlare (Witkowski et al. 1997, Nakonieczny et al. 2007), för att nämna några faktorer.

En av de mest studerade apollofjärilspopulationerna är populationen i Pieniny nationalpark i Karpaterna i Polen (Witkowski & Adamski 1996). Populationen isolerades under 1930-talet och utifrån historiska data har fyra utrotningsfaser identifierats: 1) populationens isolation på makroskala (habitatfragmentering på stor skala) 2) fragmentering på mesoskalan (sönderfall av metapopulationen som följd av en klimatkatastrof 1961) 3) fullständig isolering av den sista populationen (Witkowski & Adamski 1996 och referenser där i).

För att förhindra den fjärde och sista fasen där habitatet fragmenteras på mikroskala vilket leder till artens utrotning startades det mest omfattande utplanteringsprojektet år 1991 (Witkowski & Adamski 1996, Adamski & Witkowski 2007). Målet med utplanteringen var att återfå liknande populationstätheter som under 1950-talet, genom att föda upp larver i fångenskap, restaurera habitat och sedan plantera ut larver i de restaurerade habitaterna. Under 1950-talet bestod populationen av över ett dussin olika metapopulationer sammanfogade via in- och utvandring mellan populationerna (Witkowski & Adamski 1996).

Projektet påbörjades med 20 insamlade larver från det sista naturliga habitatet i bergsområdet (Witkowski & Adamski 1996). Under tio års tid planterades uppfödda fjärilar ut för att stärka den naturliga populationen. För att minska effekten av inavel infördes individer från en närbelägen population i Slovakien år 1995 (Adamski & Witkowski 2007). Efter över tio år av årliga utplanteringar i Pieniny nationalpark har populationen stigit från ca 30 individer 1991 till över 1200 individer 2002 (Adamski & Witkowski 2007). Även mängden lämpligt habitat hade ökat från ca 10 ha 1991 till över 40 ha 2002. Habitatrestaureringen har omfattat att avlägsna buskar och annan

skuggande vegetation från lämpliga habitatfläckar och att plantera ut värdväxtsticklingar.

1.3 Syftet med avhandlingen pro gradu och frågeställningar

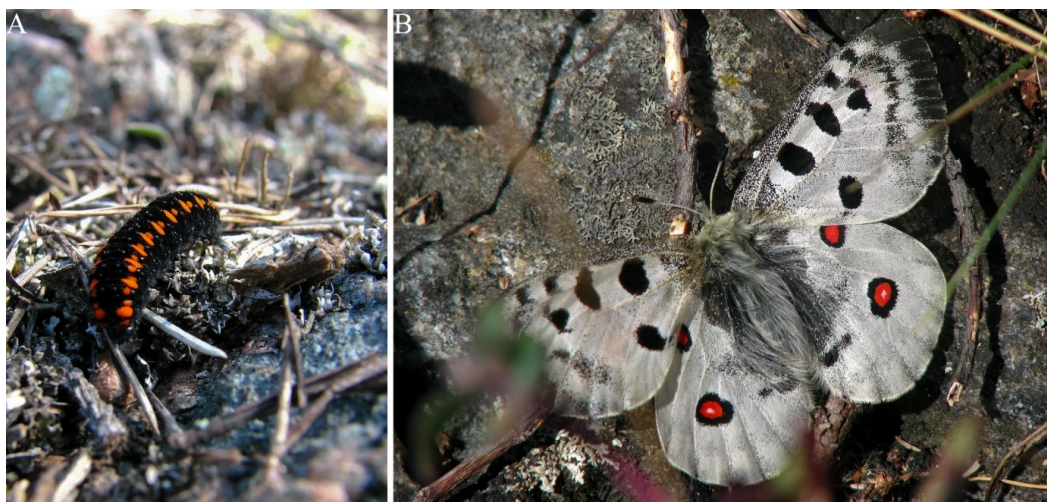
Avsikten med avhandlingen pro gradu är att utföra utplanteringsexperiment av apollofjärilslarver i olika skärgårdszoner i Ekenäs skärgård. Genom att identifiera lämpliga habitat och genom att plantera ut larver inom dessa är det långvariga målet att återinföra apollofjärilen till sitt ursprungliga utbredningsområde. Utplanteringarna som utfördes i samband med avhandlingen pro gradu var en fortsättning på utplanteringar påbörjade 2009 av FD Marianne Fred. Frågeställningen definieras enligt följande:

1. Förekommer det skillnader i marktäckningsgraden (= larvens habitatkrav) i habitaterna mellan skärgårdszonerna?
2. Förekommer det skillnader i etableringsframgången (övervintrade larver) mellan skärgårdszonerna?
3. Påverkar larvens utplanteringsstorlek andra eller sista larvstadiet (egentligen larv → vuxen) antalet observerade fjärilar?

2 Modellorganismen: apollofjärilen

Släktet *Parnassius* omfattar globalt ett 50-tal arter (Eliasson 2005, Katoh et al. 2005, Nakonieczny et al. 2007), av vilka två påträffas i Norden (Eliasson 2005, Tolman & Lewington 2008), och med ett vingspann på upp till tio cm, är apollofjärilen en av Europas största dagfjärilar (Elmqvist 2005, Eliasson 2005, Nakonieczny & Kędziorski 2005, Tolman & Lewington 2008). Apollofjärilen (fig. 1) är en bergslevande art, som påträffas från södra Spanien till Norden (van Swaay & Warren 1999, Eliasson 2005, Nakonieczny et al. 2007, Tolman & Lewington 2008). Utbredningen i öster sträcker

sig till Sibirien, Iran och Mongoliet (Eliasson 2005, Nakonieczny et al. 2007). I södra och mellersta Europa påträffas apollofjärilen på höjder upp till 2 400 meter över havet (Tolman & Lewington 2008) främst i torra gräsmarker (van Swaay & Warren 1999, Eliasson 2005, Nakonieczny et al. 2007, Tolman & Lewington 2008), medan populationerna i Norden främst påträffas längs steniga kuster (van Swaay & Warren 1999, Fred & Brommer 2003, Eliasson 2005). Gemensamt för *Parnassius*-släktet är att samtliga arter är bergslevande (Eliasson 2005, Katoh et al. 2005)



Figur 1. Apollofjärilen. *Parnassius apollo* (Lepidoptera: Papilionidae) är en av de största dagfjärilarna i Europa, och utbredningen sträcker sig över de södra och centraleuropeiska bergsområdena till Nordens klippiga havsstränder. Larven (A) kläcks i månadskiftet april till maj och är monofag på fetbladsväxter. Larven är sammetssvart med klara orangea eller gula fläckar på sidorna av varje segment. Den vuxna fjärilen (B) är vit, med stora röda ögonfläckar på bakvingarna. Flygperioden varar i ca en månad från mitten av juli till mitten av augusti. Fjärilen är univoltin (Foton: F. Gripenberg 2010).

Apollofjärilen är tillsammans med makaonfjärilen (*Papilio machaon* L 1758) och mnemosynefjärilen (*Parnassius mnemosyne* L 1758) de enda regelbundet förekommande riddarfjärilarna (Papilionidae) i Norden (Eliasson 2005). Apollofjärilen är univoltin, det vill säga har endast en generation per år (Tolman & Lewington 2008). Apollofjärilen har fullständig metamorfos med en livscykel bestående av ägg, larv, puppa och vuxen. Larverna övervintrar i ägg och kläcks vanligtvis i månadskiftet april till maj (Elmquist 2005, Eliasson 2005, Tolman & Lewington 2008). Förpuppningen sker mellan maj och juni (Elmquist 2005, Eliasson 2005). Hos fjärilar som övervintrar som puppa (t.ex. *P. machaon*) har ett vandringsbeteende före förpuppningen identifierats (Wiklund et al. 2017). Till vandringsbeteendet hör att larven vandrar iväg från ett område med rikligt med

värdväxt för att söka skydd från predatorer och parasiter (Wiklund et al. 2017), för att sedan gräva ner sig i förnaskiktet (Eliasson 2005, Elmquist 2005). Flygperioden varar i ca en månad, från mitten av juli till mitten av augusti (Eliasson 2005, Elmquist 2005, Tolman & Lewington 2008).

Apollofjärilen, så som fler andra fjärilar, har specifika habitatkrav beroende på levnadsstadium (t.ex. Fred et al. 2006), och fördelningen av resurserna för både larven och den vuxna fjärilen har visats vara viktiga drivande ekologiska faktorer (Brommer & Fred 1999, Ashton et al. 2009). Larvens värdväxt, kärleksört (*Hylotelephium telephium* (L.) H. Ohba), växer på öppna, torra och steniga områden, medan den vuxna fjärlens nektarväxter främst växer på strandängar, i näringsrika dungar och skrevor (Brommer & Fred 1999, Eliasson 2005). Brommer och Fred (1999) visade att de vuxna fjärlarna rör sig flitigt mellan både larv- och vuxenhabitat. Ett ideellt habitat består av stora sammanhängande värdväxthabitat i närheten av nektarväxtfläckar. De huvudsakliga nektarväxterna är tistlar (*Cirsium* sp), mjölkört (*Chamaenerion angustifolium* [L.] Scop.), läkevänderot (*Valeriana officinalis* L.) och strandveronika (*Veronica longifolia* L.) (Fred et al. 2006).

2.1 Parningsbeteende

Fjärilar identifierar en potentiell partner främst via visuella signaler (Wickman 2009). Vikten av fjärlens färg spekulerade även Darwin (1871) över. Även feromoner spelar en viktig roll vid identifieringen av en potentiell partner (Scott 1973).

2.1.1 Hanens beteende

Hos fjärilar har två huvudsakliga strategier identifierats för hur hanen hittar en partner: ett aktivt och ett passivt beteende (Scott 1973, Adamski & Witkowski 2006). I det passiva beteendet hittar hanen ett lämpligt habitat inom vilket sannolikheten att hitta en hona är störst, och väntar där på honor medan hanen försvarar området. Apollofjärilshanen kläcks en till två veckor före honan, varefter denna påbörjar sökandet efter honor (Adamski & Witkowski 2006).

Det aktiva beteendet definieras som patrullerande, där hanen flyger mellan olika habitatfläckar och söker efter en lämplig hona (Adamski & Witkowski 2006). Ur patrulleringsbeteendet kan ytterligare två strategier urskiljas: slumpmässigt och habitatskannande. Under slumpmässig patrullering flyger hanen runt ett område, utan att uppvisa ett specifikt mönster i flykten, vilket återspeglas i att hanen ändrar flyktriktning ofta. Under habitatskannande flyger hanen regelbundet mellan områden, och skannar området börjande från den högsta punkten (eng. *hilltopping*) och flyger i ett tydligt mönster mot den lägsta punkten (Scott 1970, Adamski & Witkowski 2006). Området en patrullerande hane opererar inom, kan vara upp till hundra gånger större jämfört med en hane som väntar på en hona (Wickman 2009). Patrulleringsbeteendet är troligtvis mycket energikrävande (Adamski & Witkowski 2006), trots att konflikter mellan andra hanar är sällsynta (Wickman 2009).

Apollofjärilen uppvisar ingen parningslek (Scott 1973), utan hanen identifierar en hona, tvingar ner henne från luften och parar sig med henne (Adamski & Witkowski 2006). Hanen kläcks före honan och kan påbörja sitt patrulleringsbeteende upp till två veckor före de första honorna (Adamski & Witkowski 2006). Hanen söker aktivt efter nykläckta honor (Scott 1970, Eliasson 2005, Wickman 2009), eftersom hanen sluter honans könsöppning med en sphragis efter parningen (Scott 1973, Vlasanek & Konvicka 2009, Wickman 2009). Sphragisen är en hård vaxaktig struktur som hanen utsöndrar och fäster på honans bakkropp för att förhindra andra hannar att para sig med honan (Orr 1995, i Vlasanek & Konvicka 2009). Könsfördelningen uppskattas till två hanar per hona (Adamski 2004).

2.1.2 Honans ägglägningsbeteende

Ägglägningsbeteendet hos apollofjärilen skiljer sig från flera andra fjärilar, dels för att larven övervintrar i ägg (Wiklund 1984, Eliasson 2005, Elmquist 2005, Nakonieczny & Kędzierski 2005, Tolman & Lewington 2008), dels för att apollofjärilshonan oftast inte lägger äggen på larvens värdväxt (Wiklund 1984, Fred & Brommer 2003). Ägglägningsbeteende har beskrivits som slumpmässigt (Wiklund 1984, Fred & Brommer 2003). På Gotland, där vit fetknopp, *Sedum album* (L.), är den huvudsakliga värdväxten, läggs äggen oftast en till två meter från värdväxten. Äggen läggs då oftast på enar ca en halv meter från marken. Hos *H. telephium*-ätande

apollofjärilar har honorna observerats lägga äggen på markväxande lavar (Wiklund 1984). Om honan söker sig till lämpliga larvhabitatfläckar är enligt Wiklund (1984) oklart. Eftersom larven övervintrar i ägget, kräver denna ett stabilare underlag, som tål årstidsväxlingarna, vilket värdväxterna inte erbjuder eftersom dessa dör till vintern och nya växer upp först på våren (Wiklund 1984).

Larvens överlevnad hänger på värdväxtens täthet, eftersom dessa varken känner lukt av eller ser värdväxten (Fred & Brommer 2010). Larven orienterar sig mot ljuset (Fred & Brommer 2010), och trivs i starkt solsken även vid temperaturer runt 30°C (Eliasson 2005). Larven är monofag på fetbladsväxter (*Crassulaceae*) (van Swaay & Warren 1999), och i Finland specifikt kärleksört (*H. telephium*) (Brommer & Fred 1999, 2007, Fred & Brommer 2003, 2005, 2009, 2010). Larven är sammetssvart med korta svart hår. På kroppssegmenten finns två färgstarka fläckar på varje sida, varierande i färg mellan gult och orange. Larven genomgår fem larvstadier (L1-L5) före förpuppningen, och ett larvstadium avslutas då larven ömsar skin (Nakonieczny & Kędziorowski 2005). Förpuppningen sker i månadsskiftet maj och juni och puppstadiet varar i 3–5 veckor (Eliasson 2005, Elmquist 2005, Tolman & Lewington 2008). Enligt Nakonieczny och Kędziorowski (2005) är en tillräcklig tillgång på föda den viktigaste resursen för larven mellan det sista larvstadiet och förpuppningen.

2.2 Apollofjärilens utbredning, fredning och livskraft

Tillbakagången av apollofjärilen inom sitt utbredningsområde har skett under de senaste 100-åren (Witkowski et al. 1997, Štefánik & Fedor 2020), och under en tioårsperiod i början av 2000-talet minskade den europeiska populationsstorleken med ca 30 % (van Swaay et al. 2010). Apollofjärilen är numera klassad som nära hotad (NT) i Europa, och även fridlyst inom EU och Norge (van Swaay & Warren 1999, Eliasson 2005, Tolman & Lewington 2008, van Swaay et al. 2010, IUCN 2012). I IUCNs lista över Europas hotade fjärilar klassas apollofjärilen vidare som hotad enligt kategori 2Ac. Klassificeringen 2A beskriver att en minskning i populationsstorleken har noterats. Orsaken till minskningen kan vara känd eller okänd, och minskningen kan ha avtagit eller att minskningen är irreversibel. Kategorin c beskriver habitatets kvalitet eller "area of occupancy" (IUCN 2012).

Enligt den finska rödlistan 2010 klassificerades apollofjärilen som starkt hotad (EN) (Kaitila et al. 2010). I början av 1900-talet var apollofjärilen relativt vanlig i södra och mellersta Finland (Parkkinen 2004), men under 1930- och 40-talen började arten minska kraftigt (Parkkinen 2004, Eliasson 2005). Under 1950- och 60-talen hade apollofjärilen försvunnit från så gott som hela sitt forna utbredningsområde (Eliasson 2005). Numera förekommer apollofjärilen endast lokalt på Åland, i Åbolands skärgård samt i västra Nyland (Laine 2000, Eliasson 2005). I Finland fredades apollofjärilen 1976, och blev tillsammans med mnemosynefjärilen (*P. mnemosyne*) de första fredade insekterna i Finland (Saarinen et al. 2003, Parkkinen 2004).

2.2.1 Möjliga orsaker till apollofjärilens minskning

Apollofjärilen, som är en bergslevande art (Eliasson 2005, Nakonieczny et al. 2007) har liksom ett flertal andra nordliga fjärilsarter uppvisat en nordlig migration under de senaste decennierna (Parmesan et al. 1999, Thomas et al. 2001, Nakonieczny et al. 2007). Det har uppskattats att ca 35 % av Europas icke migratoriska fjärilsarter har förflyttat sitt utbredningsområde 35–250 km norrut (Parmesan et al. 1999, Warren et al. 2001, Nakonieczny et al. 2007). Klimatförändring är ett globalt hot mot ett flertal arter (Kappelle et al. 1999), och enligt vissa modelleringar kan upp till 37 % av de terrestriska arterna utrotas till år 2050 (Thomas et al. 2004). Klimatförändringen kan påverka arter antingen direkt, eller påverka hela ekosystemet (Kappelle et al. 1999). Kappelle et al. (1999) listar fyra olika sätt som klimatförändringen kan påverka arter: 1) förskjutningar i vegetationszoner eller hela biom 2) skiftningar i arters utbredningsområden och artsammankomster 3) klimatförändringen kan påverka effekten av habitatfragmentering och 4) förändringar i ekosystemens funktioner. Larven är inte speciellt känslig för kyla, eftersom den svarta färgen gör att larven värms upp snabbt och fortsätter furagera (Nakonieczny et al. 2007). Medan temperaturer över 40°C kan förhindra olika faser i metamorfosen (Nakonieczny et al. 2007). Den vuxna fjärilen är mera känslig för låga temperaturer. Både larven och den vuxna fjärilen är känsliga för extrem fukt och regn (Nakonieczny et al. 2007).

Habitatfragmentering är en process bestående av habitatförlust och splittrandet av ett kontinuerligt habitat till mindre enheter på en landskaps-geografisk skala (Fahrig 2002, 2003). Ett habitatfragment är känsligare mot extern störning jämfört med ett

större, mera utsatt för predation och övrig ekologisk stress, och med tiden blir habitatfläckarna för små för att upprätthålla lokala populationer eller artspecifika territorier (Fahrig 2002, 2003, Burkey & Reed 2006).

Även kanteffekterna ökar i ett fragmenterat habitat (kanteffekterna definieras enligt hur stor del av habitatet i en habitatfläck påverkas av kanterna, en större fläck påverkas mindre, jämfört med en liten fläck), vilket ökar utvandring från habitatet till matrisen (Hanski 1998, Fahrig 2003). I fragmenterade landskap ökar organismers vistelse i matrisen, vilket ökar mortaliteten (predation, interaktion med människor) samt sänker reproduktionen hos en population (Fahrig 2002). Som en följd av habitatfragmentering ses minskade populationsstorlekar, som i sin tur ökar risken för inavel. Något som sågs i en återinförd population i Polen under sent 1940-tal, där utplanteringen gav snabba resultat, men även tecken på inavel i form av missbildningar hos nykläckta blev tydligare (Witkowski et al. 1997).

Även habitatförlust i form av t.ex. vägbyggen (Štefánik & Fedor 2020), plantering och skövling av skog (Witkowski & Adamski 1996 och referenser där i, van Swaay & Warren 1999, Nakonieczny et al. 2007) påverkar arters utbredning. Övergången till industriellt jordbruk och djurhushållning har även en effekt genom att betande djur inte håller de essentiella bergiga hållarna uppe som *H. telephium* föredrar, medan överdriven betning har en negativ inverkan på apollofjärilen (Nakonieczny et al. 2007). Betningens effekt har undersökts på flera olika fjärilsarter t.ex. blåvingen *Polyommatus bellargus* (Rottemburg 1775) visade en 81 % tillbakagång av habitatfläcksbesittning i södra England mellan 1955–1980 som en direkt följd av minskad betning (Thomas et al. 2001).

Även tungmetaller, speciellt kadmium (Cd) tros ha påverkat tillbakagången av apollofjärilen (Nieminen et al. 2001, Fred & Brommer 2005). Kadmiumhalterna i värdväxten *H. telephium* är enligt Nuorteva (1990,1999 i Nieminen et al. 2001) de högsta av de finländska fanerogamerna. I undersökningar av Nuorteva (1990,1999 i Nieminen et al. 2001) visade sig Cd-halterna hos vuxna apollofjärilar vara de högsta av de finländska fjärilarna (Nuorteva 1990,1999 i Nieminen et al. 2001). I en undersökning utförd av Fred och Brommer (2006), undersöktes effekten av Cd på *P. apollo*, utgående från "tungmetallhypotesen". Ur experimentet framgick att larverna

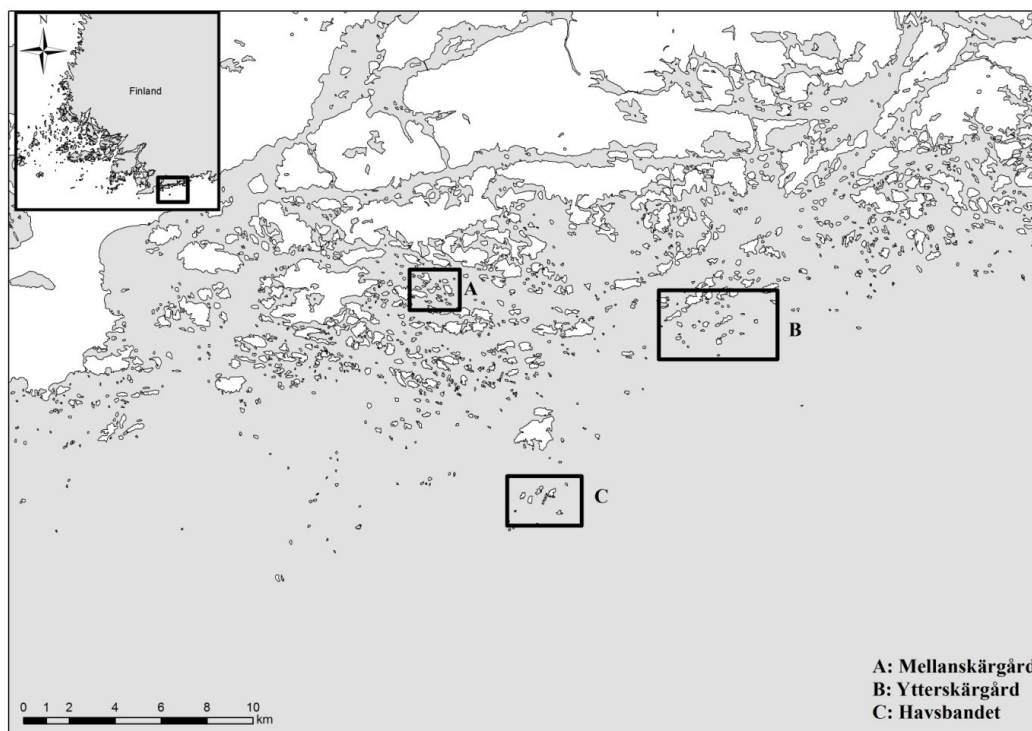
har olika tolerans för Cd-halter i födan, och därför anser Fred och Brommer (2005) att det är osannolikt att endast Cd är orsaken till att en återkolonisering av *P. apollo* inom dess forna utbredningsområde inte skett.

Övriga mänskliga faktorer som fjärilssamlare anses även ha bidragit till lokala försvinnanden (van Swaay & Warren 1999, Witkowski & Adamski 1996, Witkowski et al. 1997, Nakonieczny et al. 2007).

3 Material och metoder

3.1 Utplanteringsområdet

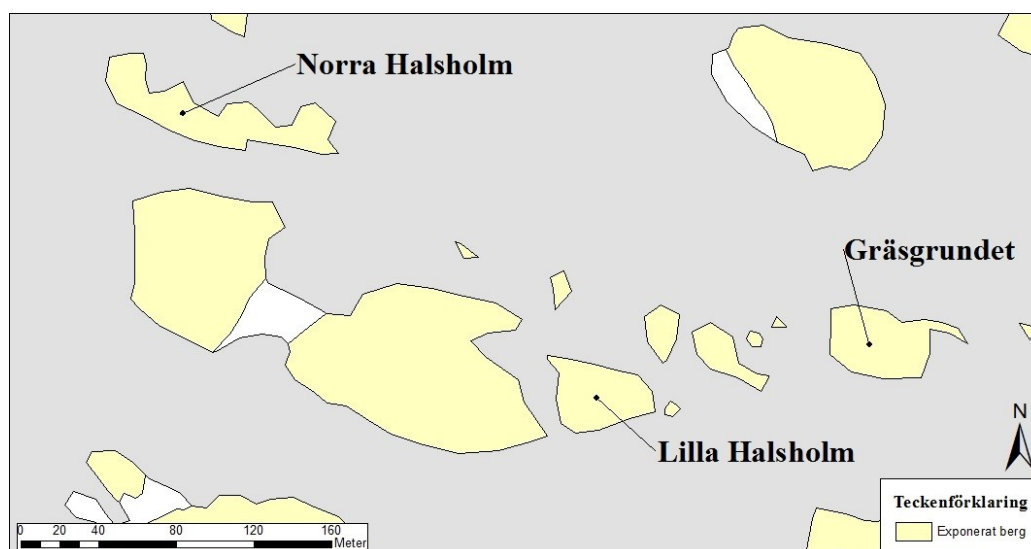
Utplanteringen utfördes i Ekenäs skärgård, på nio holmar fördelade i tre olika skärgårdszoner (fig. 2). Zonerna omfattar mellanskärgården (fig. 2, A), ytterskärgården (fig. 2, B) samt havsbandet (fig. 2, C) (Lindgren & Stjernberg 1986). Holmarna ligger inom tre olika naturskyddsområden tillhörande Skärgårdsmiljöstiftelsen r.s, Nothamns naturskyddsområde och Ekenäs skärgårds nationalpark. Holmarna är utvalda utgående från den uppskattade mängden potentiellt larvhabitat på holmen som vilket utgörs av öppen hällmark i sydlig till västlig riktning. Utplanteringen påbörjades under 2009 då larver planterades på 25 holmar, av dessa valdes sju holmar för utplanteringen 2010. För att få ett jämnt antal replikat, lades två holmar till i havsbandet med liknande värdväxttätheter (2–3 000 stjäklar per ha). På de sju tidigare besökta holmarna fanns möjligheten att hitta larver som övervintrat från utplanteringen 2009. Holmarnas läge i förhållande till varandra bidrar även till möjligheten för populationsexpansion inom respektive zon.



Figur 2. Karta över utplanteringsområdet. Undersökningarna utfördes på holmar belägna i tre olika skärgårdszoner, med tre holmar per zon. I mellanskärgården (A) planterades larver på Norra Halsholm, Lilla Halsholm och Gräsgrundet. I ytterskärgården (B) planterades larver på Tjuvskär, Viören och Skadaharun. I havsbandet (C) utfördes utplanteringar på Västergadden, Skogsgadden och södra Östergadden. GIS-data från Lantmäteriverket under CC 4.0-licens.

3.1.1 Mellanskärgården

Skärgårdsmiljöstiftelsens (fig. 2 ruta A, och fig. 3) naturskyddsområde består av ca 80 ha land och 392 ha skyddade vattenområden i mellanskärgården, söder om Baggö (Ranninen 2011). Holmarna i området är små med korta avstånd mellan holmarna, omgivna av större, skogbeklädda holmar. Utplanteringar utfördes på Norra Halsholm, Lilla Halsholm och Gräsgrundet (fig. 3).



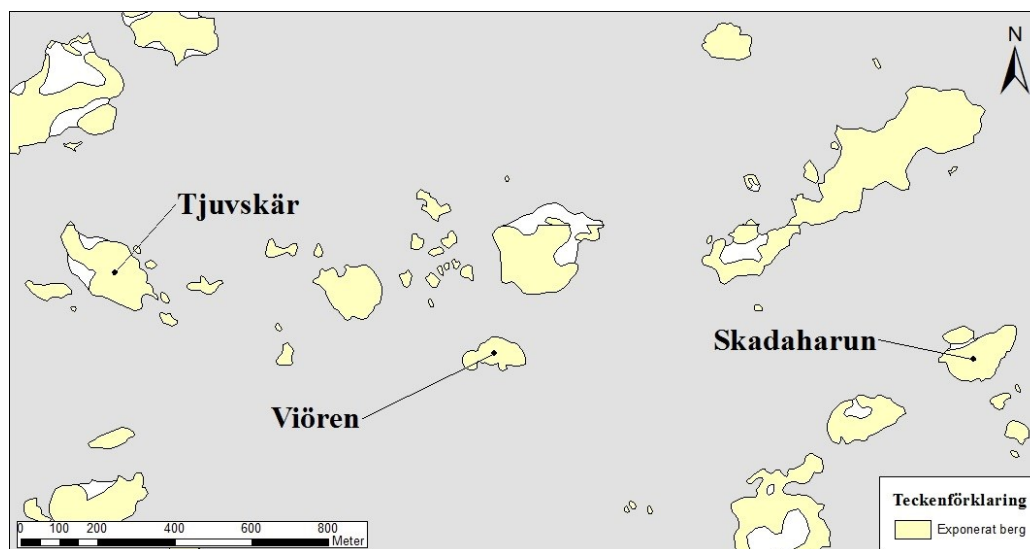
Figur 3. Karta över holmarna i mellanskärgården. I mellanskärgården utfördes utplanteringarna på Norra Halsholm, Lilla Halsholm och på Gräsgrundet. I figuren anger gult berg, vitt anger växtlighet på holmen och grått anger vatten. GIS-data från Lantmäteriverket under CC 4.0-licens.

Norra Halsholm (fig. 3) är en låg och långsmal holme med en liten skogsdunge på holmens västra sida. Utplanteringarna koncentrerades på de öppna områdena mitt på holmen, eftersom det på den västra sidan finns en liten skogsdunge, och på den östra sidan häckade knölsvan (*Cygnus olor* J.F. Gmelin [1789]) som vi inte ville störa. Lilla Halsholm (fig. 3) är en av områdets minsta holmar, med en skogsdunge mitt på holmen. Utplanteringarna koncentrerades på holmens sydöstra sida. Gräsgrundet (fig. 3) ligger mitt i naturskyddsområdet och är en för området medelstor holme, med en skogsdunge mitt på holmen. Utplanteringarna koncentrerades på holmens sydvästra sida.

De besökta holmarna (2010), användes även under den första utplanteringen 2009 (M. Fred, *pers. komm.*). Enligt Lindgren och Stjernberg (1986) definieras mellanskärgården som: ”...ett mellanting mellan yttre och inre skärgårdszon och kännetecknas av rätt stora land, vilka delvis förekommer i grupper med inre skärgårdsprägel, dels avskiljs av så stora fjärdar att vissa partier av landen tydligt präglas av yttre skärgårdszon”.

3.1.2 Ytterskärgården

Nothamns naturskyddsområde (fig. 2 ruta B, och fig. 4) omfattar trettiofyra öar (180 ha) samt 1 700 ha vattenområden. Området blev det första naturskyddsområdet i västra Nyland genom ett aktieemissions köp år 1913, och är privatägt (Ranninen 2011). Holmarna inom området är medelstora, med längre avstånd mellan holmarna. Utplanteringarna utfördes på Tjuvskär, Viören och Skadaharun (fig. 4).



Figur 4. Karta över holmarna i ytterskärgården. I ytterskärgården utfördes utplanteringarna på Tjuvskär, Viören och Skadaharun. I figuren anger gult berg, vitt anger växtlighet på holmen och grått anger vatten. GIS-data från Lantmäteriverket under CC 4.0-licens.

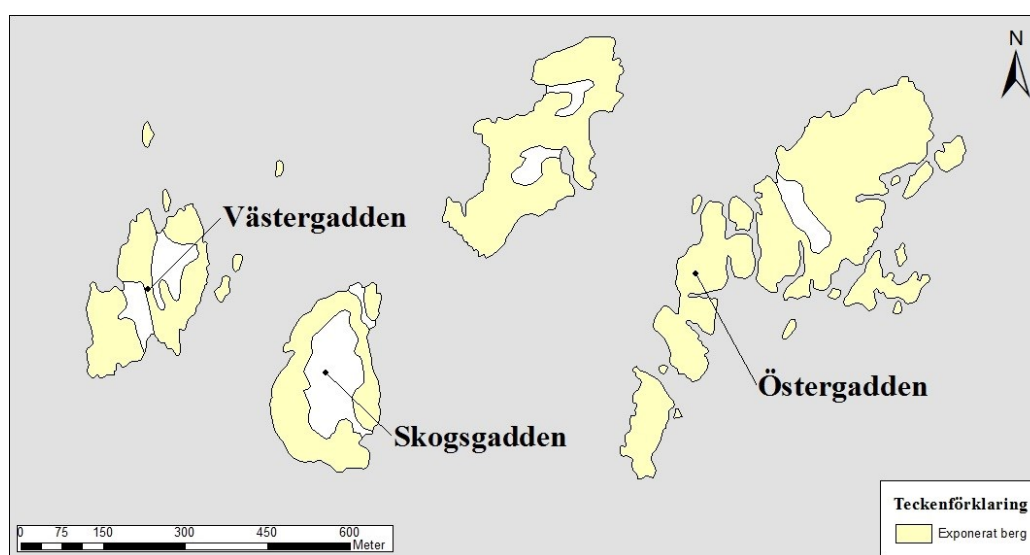
Tjuvskär (fig. 4) ligger i områdets nordvästra sida. Utplanteringarna fokuserades på holmens nordvästra udde, samt sydöstra sida. Holmens mitt domineras av skog, vilket är typiskt för holmarna i området. Viören (fig. 4) är en av områdets mindre holmar. Utplanteringen utfördes huvudsakligen på holmens östra och västra sidor. På Viören växte ingen skog, men på holmens sydöstra sida finns två större hållkar, och Viörens östra del är hög. Skadaharun (fig. 4) ligger i områdets östra ända. Habitatet på Skadaharun är typiskt för området, med skog mitt på holmen, och bara klippstränder. Utplanteringen koncentrerades på områdets södra del, men även på holmens nordöstra udde.

Avstånden mellan holmarna där utplanteringarna utfördes är störst i Nothamnsområdet, men möjligheten för spridning fanns även här. Den yttre skärgårdszonen definieras av Lindgren och Stjernberg (1986) som område där

vattenarealen dominerar klart över landarealen. Holmarna hade även besökts under utplanteringen 2009 (M. Fred, *pers. komm.*).

3.1.3 Havsbandet

Ekenäs skärgårds nationalpark täcker ett 52 km² stort område som sträcker sig från Älgö i väst till Jussarö i söder. Nationalparken innehåller tre av fyra skärgårdszoner, men inget fastland. Nationalparken grundades år 1989, och sköts av Forststyrelsen (Ranninen 2011). Holmarna i ytterskärgården (fig. 2 ruta C) är de största, och mest exponerade holmarna inom utplanteringsområdet. Enligt definitionen i Lindgren och Stjernberg (1986) kännetecknas havsbandet av ett öppet område, dominerat av hav med endast få och oftast små holmar. Utplanteringar utfördes på Västergadden, Skogsgadden och Östergadden. Nya holmar för 2010 var Västergadden och Östergadden. Utplanteringsområdet ligger i nationalparkens sydöstra ända, söder om Jussarö i det yttersta havsbandet.



Figur 5. Karta över holmarna i havsbandet. I havsbandet utfördes utplanteringarna på Västergadden, Skogsgadden och södra Östergadden. I figurens anger gult berg, vitt anger växtlighet på holmen och grått anger vatten. GIS-data från Lantmäteriverket under CC 4.0-licens.

Utplanteringen på Västergadden (fig. 5) koncentrerades på holmens östra sida, eftersom holmens mitt består av en sammanhängande matta av lågväxt en (*Juniperus communis* L.). På holmens södra sida finns en gråtrutkoloni (*Larus*

argentatus Pontoppidan, [1763]), separerad från resten av holmen via en rik strandäng, med apollofjärilens huvudsakliga nektarväxter. Skogsgadden (fig. 5) ligger i mitten av utplanteringsområdet, och domineras av granskog mitt på holmen. Utplanteringen utfördes huvudsakligen på holmens södra och sydöstra sidor. Östergadden (fig. 5) är områdets största holme. Holmens norra sida består av skog, och lågväxt en, medan den södra sidan främst är öppen. Utplanteringen koncentrerades till holmens sydvästra sida, eftersom denna separeras från nordsidan via ett smalt sund. På grund av larvbrist, kunde det standardiserade utplanteringsmönstret inte följas på Östergadden.

På alla holmarna råder landstigningsförbud, eftersom de flesta är fågelskyddsområden, och specialtillstånd hade anhållits av Marianne Fred från Forststyrelsen, gällande säsongerna 2009–2010 (M. Fred, *pers. komm.*).

3.2 Uppfödning av larverna

Kläckningen påbörjades i månadskiftet april till maj 2010. De övervintrade äggen hade samlats in under sommaren 2009 från honor ur en labbpopulation. Labbpopulationen etablerades 2005 med 81 insamlade ägg från en naturlig finsk skärgårdspopulation, samt 189 insamlade ägg från sex honor år 2006 (M. Fred, *pers. komm.*). Äggen hade övervintrat i en mörk källare i ca 0°C i 1,5 ml eppendorf-rör tillslutna med bomull. För att minska risken att äggen skulle ruttna, hade varje kärl täckts med fuktsamlade kristaller. Rören var märkta med en lapp, med den ursprungliga honans nummer, ägglägningsdatum samt antalet ägg. I naturen kläcks larverna på våren, då vårsolen värmer tillräckligt (Eliasson 2005), vanligtvis i månadskiftet april till maj.

Larverna förvarades i två större plastkärl (fig. 6), med mjukt sågspån på botten. För att maximera ventilationen täcktes kärlet av ett tygnät. Larverna överfördes från eppendorf-rören genom att försiktigt tömma dem in i lådorna, så att kläckta larver fick tillgång till mat. Om det även fanns okläckta ägg kvar i rören fick dessa kläckas i lådan. Larverna matades efter hand med *H. telephium* som plockades i naturen. Larverna granskades dagligen, eftersom i de senare larvstadierna krävdes det daglig matning.



Figur 6. Förvaringskärl. Larverna förvarades i två stora plastkärl, med mjukt sågspån och *H. telephium*. Eppendorf-rör innehållande larver och/eller ägg tömdes försiktigt in i kärnen (foto: F. Gripenberg 2010).

Plastkärnen förvarades utomhus, skyddade från regn i ett växthus med öppna väggar. Eventuella döda larver avlägsnades efter hand, och plastkärnen städades under larvfasen, där gamla stjälkar avlägsnades och nytt spån fylldes på. Larverna hölls i plastkärnen till de fjärde eller femte larvstadierna (L4-L5) innan de planterades ut i skärgården.

3.3 Utplantering av larverna

Utplanteringarna utfördes som ett standardiserat experiment med två behandlingar och en kontroll per zon (mellanskärgård, ytterskärgård och havsbandet) där antalet utplanterade larver var beroende av tillgången på föda. I behandling ett planterades larver ut enligt en larv per fyra plantor kärleksört och i behandling två enligt en larv per åtta plantor. På kontrollen planterades larver ut enligt båda metoderna. Således erhöles tre replikat, med tre olika behandlingar per replikat. Utplanteringarna skedde endast en gång på behandlingarna, men två gånger på kontrollen. Larverna i behandling ett var i L3-L4, medan larverna i behandling två var i L5-L6. Larver

användes eftersom tidigare utplanteringar i Polen har påvisat att larvstadiet är det bästa stadiet för utplanteringar (Witkowski et al. 1997). Tillgången på föda och larvens begränsade rörlighetsförmåga ställer specifika krav på habitatet, till skillnad från den vuxna fjärilen (Fred & Brommer 2003).

Utplanteringsens första fas bestod av att kartera mängden kärleksört på holmarna. Trots att tätheterna hade räknats i samband med utplanteringen 2009, utfördes karteringen på alla holmar 2010. Värdiväxttätheten låg som bas för utplanteringsmetodiken. Endast områden som ansågs vara lämpliga larvhabitat karterades, inte områden där t.ex. tätt gräs dominerade habitatet.

De första larverna planterades ut i Nothamn i början av juni 2010. Antalet utplanterade larver (tab. 1) var standardiserat till mängden *H. telephium* tillgängligt på holmen, för att utplanteringarna skulle vara jämförbara. Utplanteringsmetodiken bestämdes utgående från larvens ökade krav på föda i de senare larvstadierna. En larv i de sista larvstadierna har ett större energibehov jämfört med yngre larver (Nakonieczny & Kędziorowski 2005), därför planterades larver i de sista larvstadierna ut med en större tillgång till omedelbar föda (1/8) jämfört med de unga (1/4) (Nakonieczny et al. 2007). En larv i det sista larvstadiet kan äta upp till fyra gram färska blad per dygn (Nakonieczny & Kędziorowski 2005).

Tabell 1. Sammanfattning över utplanteringsmetodik. Utplanteringen följde ett standardiserat mönster med två behandlingar och en kontroll per zon, i tre olika skärgårdszoner. På behandlingarna planterades det ut antingen en larv per fyra plantor *H. telephium* eller en larv per åtta plantor *H. telephium*. På kontrollerna planterades det ut larver i två omgångar (först 1/4 följt av 1/8). Tillgången på föda ökade desto äldre larverna var (de äldre planterades ut med mera föda i närheten). Holmarnas areor är uppskattade enligt kartsiktet i ArcGIS och habitatareorna är uppskattade enligt flygbilder från Geologiska forskningscentralen (2016)

Holme	Zon	Behandling	Area (ha)	Habitatarea (ha)	<i>H. telephium</i>	Larver 1/4	Larver 1/8
Norra Halsholm	Mellan	Behandling 1	0,23	0,22	908	227	-
Lilla Halsholm	Mellan	Behandling 2	0,14	0,12	429	-	61
Gräsgrundet	Mellan	Kontroll	0,17	0,10	460	107	54
Tjuvskär	Ytter	Kontroll	2,92	0,60	1239	306	153
Viören	Ytter	Behandling 1	0,9	0,86	1738	434	-
Skadaharun	Ytter	Behandling 2	1,94	0,71	1009	-	228
Västergadden	Hav	Behandling 1	4,32	3,65	1346	337	-
Skogsgadden	Hav	Kontroll	5,06	1,74	1466	392	201
Södra Östergadden	Hav	Behandling 2	2,49	2,49	1336	-	164

Tidsskillnaden mellan utplanteringsstorlekarna var ca en vecka. Skillnaden mellan yngre och äldre larver definierades enligt storlek. Eftersom larverna hållits i samlade burar kunde endast larvstadier urskiljas, inte åldern på enskilda larver. Utplanteringen utfördes på holmarna enligt det standardiserade mönstret genom att försiktigt lägga en larv i ett område med en tillräcklig mängd *H. telephium*. Totalt planterades det ut 2 667 larver under utplanteringen 2010. Efter utplanteringen, lämnades larverna tills uppföljningen av vuxna fjärilar påbörjades.

3.4 Habitatkartering

I samband med utplanteringen utfördes även en larvhabitatkartering. Detta utfördes genom att avgränsa ett område med en karteringsruta (25 x 25 cm) och notera det som fanns inom rutan (fig. 7). Inom rutan uppskattades andelen berg, mossa och växtlighet. Även antalet *H. telephium* räknades. Om *H. telephium*-plantorna var ättna (till exempel fig. 7B) noterades även det i protokollet, eftersom detta kunde antyda att en larv finns eller hade funnits i området. Om det fanns en larv i rutan noterades även detta. Larvhabitatkarteringen utfördes på försommaren, då endast övervintrade larver kunde påträffas och förekomsten av dessa noterades, eftersom dessa tydligt hade sökt sig till

det specifika området och inte placerats där av oss i samband med utplanteringen. För att beskriva larvhabitatet togs två habitatrutor per m² tillgängligt larvhabitat. Habitatkarteringen utfördes på alla holmar under sommaren 2010 och endast på holmar där utplanteringen följde den standardiserade modellen under sommaren 2011. Habitatkarteringsresultaten från 2011 används i de statistiska analyserna.



Figur 7. Exempel på habitatkarteringen och i de olika habitaten i vilka larver kan hittas. Bilderna är tagna under samma dag (10 juni 2011), på holmarna i havsbandet. Larverna på bilderna är övervintrade larver (Foton: F. Gripenberg 2011).

3.5 Uppföljning av vuxna fjärilar

Uppföljningen påbörjades den 19 juli 2010 och avslutades den 12 augusti 2010, och bestod av två huvudsakliga faser: transekträkning och nektarväxtkartering. Transekträkningen utfördes två till tre gånger per vecka på alla holmar under fyra veckors tid under goda väderförhållanden. Transekträkningen utfördes genom att två personer gick runt holmen i motsatta håll, och räknade alla apollofjärilar på vägen. Eftersom fjärilarna är så pass stora, räknades alla fjärilar i en tio meters radie i

färdriktningen (ca 180°). Transekterna skulle vara logiska och lätta att följa, så att samma rutt kunde upprepas under följande transekt. Den utvalda ruten skulle täcka både larv- och vuxenhabitatet. På vissa holmar avslutades transekträkningen tidigare, eftersom inga vuxna fjärilar påträffats under minst två veckor.

Nektarväxtkarteringen utfördes i stort sett på samma sätt som värdväxtkarteringen, genom att räkna det totala antalet stjälkar (med undantag av renfana [*Tanacetum vulgare* L.], där blomkorgarna räknades) som en eventuell fjäril kunde använda. För att en växt skulle klassificeras som ”användbar” skulle största delen av blommorna blomma. Förutom de huvudsakliga nektarväxterna presenterade i Fred et al. (2006) (*Cirsium* sp, *C. angustifolium*, *V. officinalis* och *V. longifolia*) räknades även fibblor, fackelblomster (*Lythrum salicaria* L.) och renfana. Växtkarteringen utfördes en gång per vecka, under de vuxna fjärilarnas flygperiod. Eftersom den vuxna fjärilen är mycket rörlig, räknades alla nektarväxter på holmen, med undantag för skogbeklädda områden.

För att beskriva den vuxna fjärilens habitat räknades ett nektarväxtindex. Indexet bygger på ett medeltal av nektarväxtkarteringarna dividerat med den tillgängliga habitatarean på holmen i ha (nektarväxter per hektar, nv/ha). Habitatarean uppskattades enligt flygbilder från Geologiska forskningscentralen (2016). Lämpligt habitat ansågs vara öppet, eftersom fjärilens vistelse i tät skog ansågs vara osannolik.

3.6 Statistiska analyser

De statistiska analyserna utfördes i programmet R (version 2.12.1), med tilläggen ”lme4” och ”Rcommander”. De statistiska analyserna omfattade linear mixed-effects models (härefter lmer) och generalized linear models (härefter GLM). I både lmer- och glm-analyserna användes paketen ”lme4” och ”MASS”. I de statistiska analyserna beaktades inte utplanteringarna på södra Östergadden eftersom det inte fanns tillräckligt med larver för att följa den experimentella designen.

3.6.1 Larvens habitatkrav

Larvens habitatkrav analyserades med hjälp av lmer (med paketen "lme4" och "MASS"), genom att analysera variabler som förklarar larvens närvaro eller frånvaro i de karterade habitatrutorna. I modellen var larvens närvaro eller frånvaro responsvariabeln och de förklarande variablerna var de olika täckningsgraderna (berg, lav, växtlighet (inklusive värdväxt) samt antalet värdväxtstjälkar i rutorna. I modellen var responsvariabeln binomialt fördelad, dvs. ja eller nej. Holmen var modellens random faktor. Larvens habitatkrav analyserad på alla holmar förutom Östergadden, eftersom larverna som planterades ut där var de återstående från labbet. Utplanteringen på Östergadden uppfyllde varken kraven för behandling eller kontroll.

De statistiska modellerna (lmer & GLM) utfördes enligt följande. Modellen analyserades genom att först köra hela modellen (eng. *full model*) med alla förklarande variabler i modellen, varefter den förklarande variabeln med det sämsta p -värdet valdes bort ur modellen. För att styrka vilken förklarande variabel skulle avlägsnas användes funktionen "drop1" där ett χ^2 -test körs på variablerna varefter den minst signifikanta avlägsnades (Dalgaard 2008). Den avlägsnade variabeln anses vara minst beskrivande för modellen.

Efter att en förklarade variabel avlägsnats från modellen kördes modellen på nytt och den sämsta variabeln i den modellen plockades bort. Processen upprepades tills endast en signifikant variabel återstod i modellen (eng. *final model*). Den slutliga modellen testades sedan mot en nollmodell utan förklarande variabler. Ifall nollmodellen har lägre AIC-värde jämfört med en modell innehållande en eller flera förklarande variabler tyder detta på att ingen av de förklarande variablerna bidrar till modellens lämplighet, och modellen förkastas (Crawley 2007). Modellens lämplighet bestämdes med hjälp av dess AIC-värde (eng *Akaike's Information Criterion*) som är ett mått på en modellens lämplighet. När två modeller jämförs, anses modellen med det lägre AIC-värdet vara mera lämplig (Crawley 2007). Förutom AIC-värde anges även modellens signifikans i form av p -värde (konfidensintervall 0,05). Det erhållna p -värdet för "Intercept" anger positionen var regressionslinjen skär y-axeln

3.6.2 Övervintrade larver

Faktorer som påverkar larvens överlevnad på holmarna undersöktes med hjälp av GLM. I modellen var responsvariabeln det totala antalet upphittade larver mellan 2010 och 2011 (övervintrade larver). De förklarande variablerna var: totala antalet observerade vuxna under 2010 och 2011, behandling (under utplanteringen 2010), zonen, nektarväxterna (ett medeltal baserat på karteringarna 2010) och antalet värdväxtstjälkar (efter värdväxtkarteringen 2010). Fördelningen var gaussisk.

Analysförloppet följde metoden som beskrevs i samband med lmer-analysen (dvs. eliminera en faktor i taget för att förenkla modellen, med drop1 som test på vilken variabel var minst lämplig i modellen). Den slutliga modellen validerades med hjälp av AIC-värdet (Crawley 2007).

3.6.3 Uppföljning av vuxna och nektarväxtkartering

En GLM användes för att undersöka vilka faktorer som påverkar chansen för att se en vuxen fjäril på en av holmarna där utplanteringar utfördes. En GLM användes eftersom data representerades av endast en punkt (en holme, med ett värde för de olika observationerna). I modellen fungerade det totala antalet observerade vuxna som responsvariabel och som förklarande variabler: antalet övervintrande larver, utplanteringstypen (B1, B2 eller K), zonen och antalet nektarväxter. För att ta i beaktande olika fluktuationer i nektarväxtdensitet under flygperioden räknades ett medeltal utgående från resultaten från nektarväxtkarteringarna. Medeltalen räknades på holmnivå.

Analysförloppet följde metoden som beskrevs i samband med lmer-analysen (dvs. eliminera en faktor i taget för att förenkla modellen, med drop1 som test på vilken variabel var minst lämplig i modellen). Den slutliga modellen validerades med hjälp av AIC-värdet (Crawley 2007).

4 Resultat

4.1 Utplanteringen och larvens habitatkrav

4.1.1 Larvens habitatkrav

Habitatkarteringen visade att de flesta habitatrutorna främst bestod av växtlighet, och väldigt lite exponerat berg på de flesta holmarna (tab. 2). Habitatfördelningen var jämnast mellan holmarna i ytterskärgården, medan habitatrutorna i havsbandet visade störst variation. När täckningsgraden uppskattades beaktades värdväxten tillsammans med övrig växtlighet (se fig. 7 för exempel på habitatrutor). I de statistiska analyserna användes *H. telephium* som en egen faktor. På Östergadden utfördes inga habitatkarteringar under 2011.

Tabell 2. Ett medeltal på den procentuella täckningsgraden av habitattyper i karteringsrutan under habitatkarteringarna. De beaktade habitattyperna var berg, mossor/lavar och växtlighet (inklusive *H. telephium*). Östergadden karterades inte under 2011

Holme	Zon	Behandling	% berg	% mossor/lavar	% växtlighet
Norra Halsholm	Mellan	Behandling 1	13	45	41
Lilla Halsholm	Mellan	Behandling 2	5	31	64
Gräsgrundet	Mellan	Kontroll	3	40	58
Tjuvskär	Ytter	Kontroll	9	26	64
Viören	Ytter	Behandling 1	8	25	67
Skadaharun	Ytter	Behandling 2	12	25	63
Västergadden	Hav	Behandling 1	6	23	71
Skogsgadden	Hav	Kontroll	11	7	81

AIC-värdet är högt i alla modeller och endast mängden *H. telephium* uppvisar signifikanta resultat i alla modeller (lmer, $p < 0,05$) (tab. 3). De övriga variablerna uppvisade inga signifikanta resultat i någon av modellerna. Modellen med det lägsta AIC-värdet var modellen med endast värdväxten (AIC = 156,7). Utgående från modellen skulle larven i första hand föredra tillgång på föda medan de övriga habitatvariablerna spelar mindre roll.

Tabell 3. Larvens habitatkrav analyserat med lmer. Tabellen illustrera de olika modellerna som analyserades, och dess p-värden för de olika variablerna inom analysen. I tabellen står L = larv, B = andelen exponerat berg, M = andelen mossa, V = andelen växtlighet och S = antalet *H. telephium*. Randomfaktorn H = holme, och – anger att variabeln inte analyserades i den aktuella modellen. AIC-värdet anger modellens lämplighet och signifikansen anges $p = 0,05$

Modell	AIC	P _{Intercept}	P _{Berg}	P _{Mossa}	P _{Växtlighet}	P _{Sedum}
L ~ 1 + (1 H) (nollmodell)	178,7	< 0,05	-	-	-	-
L ~ B + M + P + S + (1 H)	161,0	0,88	0,88	0,88	0,88	< 0,05
L ~ B + M + S + (1 H)	159,5	< 0,05	0,66	0,30	-	< 0,05
L ~ M + S + (1 H)	157,7	< 0,05	-	0,33	-	< 0,05
L ~ S + (1 H)	156,7	< 0,05	-	-	-	< 0,05

4.1.2 Övervintrande larver

Under vårkarteringen hittades larver på fem holmar: Skadaharun ($n = 1$), Tjuvskär ($n = 1$), Viören ($n = 11$), Skogsgadden ($n = 42$) och Västergadden ($n = 16$). På holmarna i mellanskärgården hittades inga larver. Modellerna gav allmänt låga AIC-värden och zonen framgick som den bäst beskrivande variabeln (GLM, $p < 0,05$) i tre av modellerna (tab. 4).

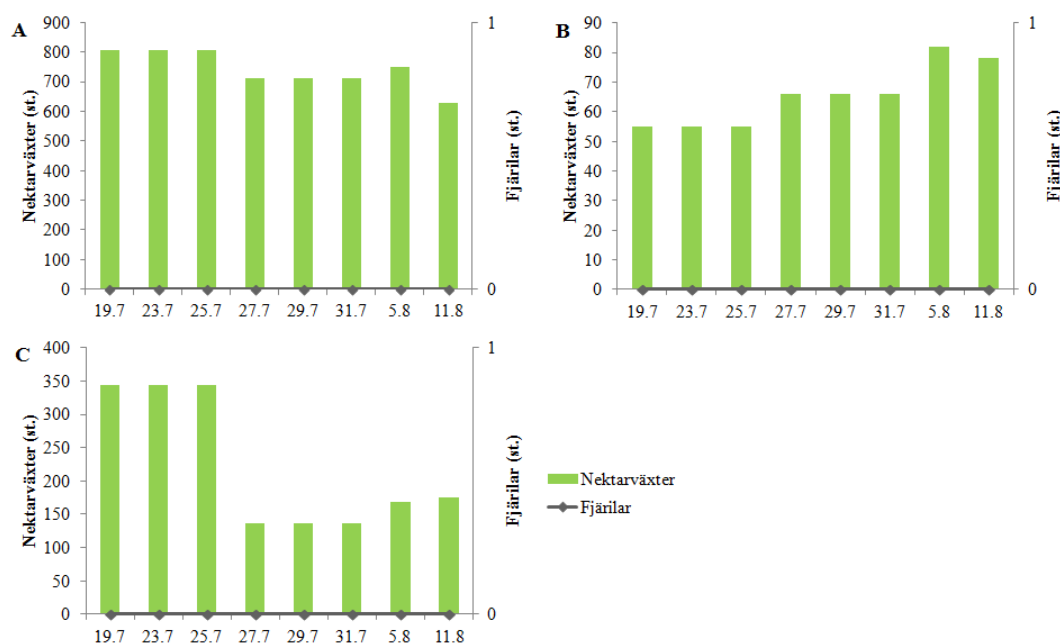
Tabell 4. GLM över övervintrade larver 09–11. Tabellen illustrera de olika modellerna som analyserades, och dess p-värden för de olika variablerna inom analysen. L = Upphittade (övervintrade) larver, V = antalet observerade vuxna, B = behandling, Z = zon, N = nektarväxter, S = sedum. AIC-värdet anger modellens lämplighet och signifikansen anges $p = 0,05$

	AIC	P _{Intercept}	P _{Vuxna_Tot}	P _{Behand}	P _{Zon}	P _{Nektar}	P _{Sedum}
L ~ 1 (nollmodell)	68,6	0,13	-	-	-	-	-
L ~ V + B + Z + N + S	63,0	0,30	0,72	0,56	0,26	0,24	0,93
L ~ V + B + Z + N	61,0	0,18	0,53	0,45	0,09	0,14	-
L ~ B + Z + N	60,3	0,11	-	0,37	< 0,05	0,10	-
L ~ Z + N	60,0	< 0,05	-	-	< 0,05	0,09	-
L ~ Z	63,2	0,12	-	-	< 0,05	-	-

4.2 Uppföljning av vuxna och nektarväxtkartering

4.2.1 Mellanskärgården

På Norra Halsholm sjönk antalet nektarväxter under karteringsperioden, och densiteten var högst i början av säsongen (v. 29: 805 stjälkar, v. 30: 710 stjälkar, v. 31: 751 stjälkar och v. 32: 627 stjälkar). På Lilla Halsholm utfördes nektarväxtkarteringen fyra gånger. Mängden nektarväxter på Lilla Halsholm var låg, men ökade ständigt under besökstiden (v. 29: 55 stjälkar, v. 30: 66 stjälkar, v. 31: 82 stjälkar och v. 32: 78 stjälkar). Även nektarväxtdiversiteten var låg, med endast två arter närvarande. Antalet nektarväxter på Gräsgrundet var högst i början av karteringsperioden och sjönk drastiskt efter den första veckan (v. 29: 344 stjälkar, v. 30: 136 stjälkar, v. 31: 168 stjälkar och v. 32: 176 stjälkar). Nektarväxtdiversiteten var låg med endast tre arter.



Figur 8. Det totala antalet nektarväxter och antalet observerade vuxna fjärilar under karteringstillfällena (v. 29–32) på holmarna i mellanskärgården. I figuren anger staplarna antalet räknade nektarväxter och linjen antalet observerade fjärilar. A = Norra Halsholm, B = Lilla Halsholm och C = Gräsgrundet. Inga vuxna påträffades under någon av de åtta karteringarna.

Totalt räknades fem olika nektarväxter (fackelblomster, fibblor, läkevänderot, renfana och strandveronika) (tab. 5) på holmarna i mellanskärgården. Av dessa påträffades alla fem på Norra Halsholm, Två växter påträffades på alla holmar: fibblor och

renfana. Det högsta nektarväxtindexet uppnåddes på Norra Halsholm, medan det lägsta uppmättes på Lilla Halsholm.

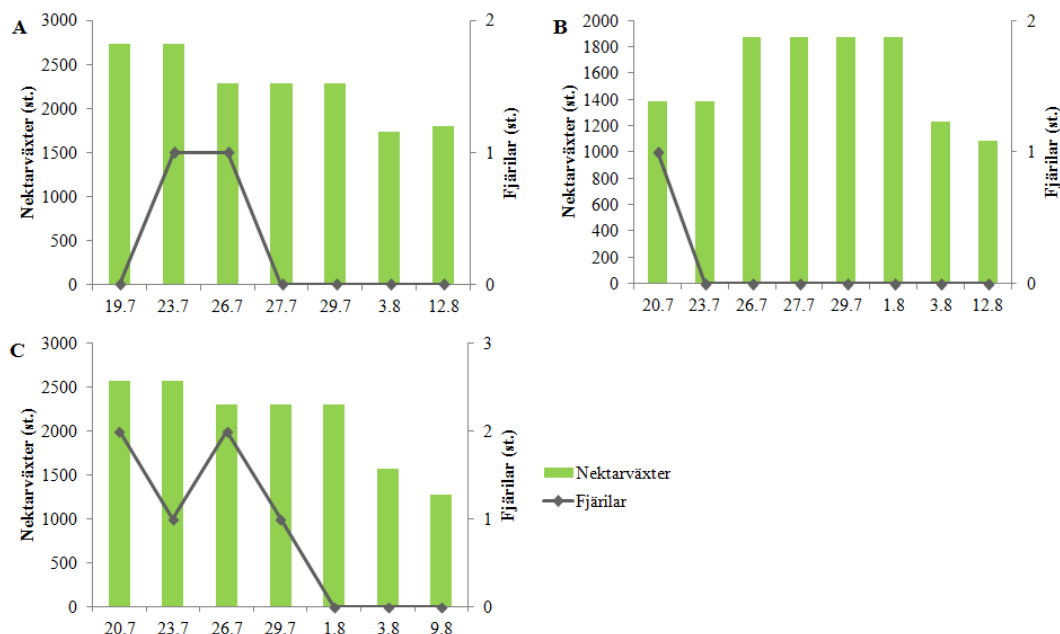
Tabell 5. Räknade nektarväxter och dess förekomst på holmarna i mellanskärgården. I tabellen anges även ett nektarväxtindex som illustrerar antalet nektarväxter per area habitat

Nektarväxt	Norra Halsholm	Lilla Halsholm	Gräsgrundet
Fackelblomster - <i>Lythrum salicaria</i>	Närvarande	-	Närvarande
Fibbla sp.	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Läkevänderot - <i>Valeriana officinalis</i>	Närvarande	-	-
Renfana - <i>Tanacetum vulgare</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Strandveronika - <i>Veronica longifolia</i>	Närvarande	-	-
Nektarväxtindex	3 287,5 nv/ha	585,4 nv/ha	2 060 nv/ha

Holmarna i mellanskärgården var de lättast tillgängliga och besöktes flitigt under de två första veckorna (v. 29–30). Efter att inga fjärilar observerats under de två första veckorna minskades besöksfrekvensen från tre gånger per vecka till en gång i veckan (v. 31–32). Totalt utfördes åtta transekträkningar på holmarna i mellanskärgården. Inga fjärilar observerades i området varken under 2010 eller 2011.

4.2.2 Ytterskärgården

På Tjuvskär (fig. 9A) var antalet nektarväxter högst i början av besöksperioden (v. 29: 2 733 stjätkar, v. 30: 2 286 stjätkar, v. 31: 1 729 stjätkar och v. 32: 1 796 stjätkar). På Viören (fig. 9B) var nektarväxtdensiteten högst i mitten av observationsperioden (v. 29: 1 380 stjätkar, v. 30: 1 869 stjätkar, v. 31: 1 226 stjätkar och v. 32: 1 082 stjätkar). På Skadaharun (fig. 9C) var mängden nektarväxter högst vid det första karteringstillfället och lägst under det sista tillfället (v. 29: 2 571 stjätkar, v. 30: 2 306 stjätkar, v. 31: 1 571 stjätkar och v. 32: 1 279 stjätkar).



Figur 9. Det totala antalet nektarväxter och antalet observerade vuxna fjärilar under karteringstillfällena (v. 29–32) på holmarna i ytterskärgården. I figuren anger staplarna antalet räknade nektarväxter och linjen antalet observerade fjärilar. A = Tjuvskär, B = Viören och C = Skadaharun. Fjärilar sågs på alla holmarna i ytterskärgården.

På holmarna i ytterskärgården räknades nektarväxterna fackelblomster, fibbla, läkevänderot, mjölkört, renfana och strandveronika på alla holmar. På Viören i områdets mitt, fanns även tistel (tab. 6). Det högsta nektarväxtindexet räknades på Tjuvskär, och det lägsta indexet räknade på Viören.

Tabell 6. Räknade nektarväxter och dess förekomst på holmarna i ytterskärgården. I tabellen anges även ett nektarväxtindex som illustrerar antalet nektarväxter per area habitat

Nektarväxt	Tjuvskär	Viören	Skadaharun
Fackelblomster - <i>Lythrum salicaria</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Fibbla sp.	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Läkevänderot - <i>Valeriana officinalis</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Mjölkört – <i>Chamaenerion angustifolium</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Renfana - <i>Tanacetum vulgare</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Strandveronika - <i>Veronica longifolia</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Tistel - <i>Cirsium</i> sp.	-	Närvarande	-
Nektarväxtindex	3 560 nv/ha	1 615,4 nv/ha	2 720,8 nv/ha

På Tjuvskär (fig. 9A) observerades totalt två vuxna fjärilar under transekträkningarna. Fjärilarna observerades under de två första veckorna (den 23 och den 26 juli 2010), men efter dessa observerades inga fler fjärilar på Tjuvskär. Besöksfrekvensen

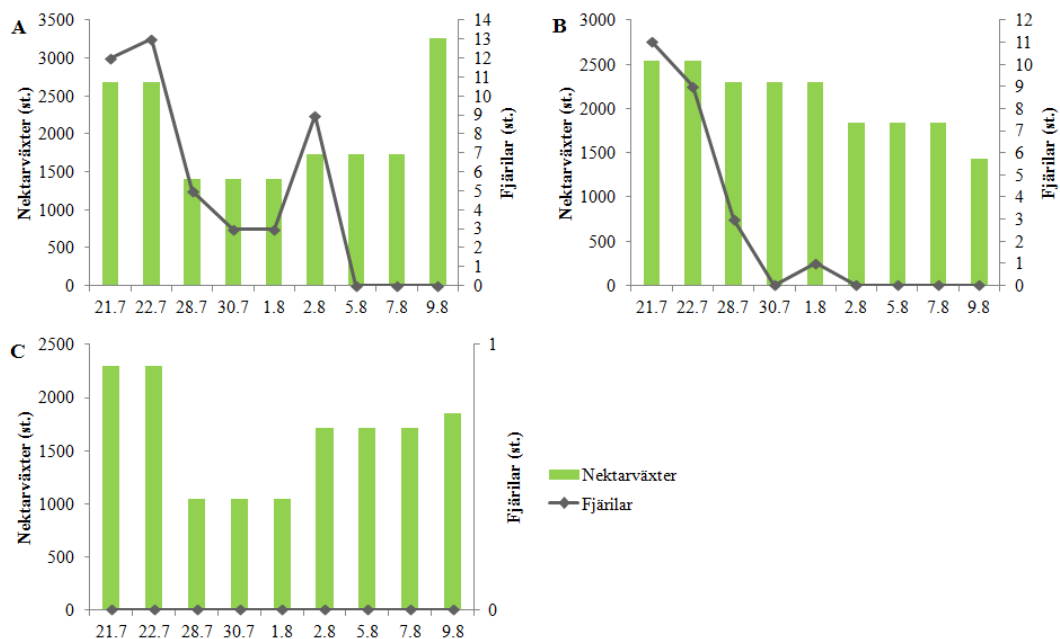
minskade från tre gånger per vecka de två första veckorna (v. 29–30) till en gång per vecka de två sista veckorna (v. 31–32). Sju besök gjordes till Tjuvskär under perioden 19 juli till den 11 augusti 2010.

En vuxen fjäril observerades på Viören (fig. 9B), under den första besöksgången (20 juli 2010). Efter att endast en fjäril setts efter två veckor besöktes holmen endast två gånger under de två sista experimentveckorna. Totalt besöktes Viören åtta gånger under karteringsperioden.

På Skadaharun (fig. 9C) utfördes sju transekträkningar och totalt sex fjärilar observerades. De sex fjärilarna observerades alla i juli (två den 20e, en den 23e, två den 26e och en den 29e). Under de två första veckorna besöktes holmen två till tre gånger per vecka, men efter det endast en gång per vecka. Under 2011 sågs två vuxna fjärilar på Skadaharun (14 juli).

4.2.3 Havsbandet

Nektarväxtförekomsterna på Västergadden (fig. 10A) var rikliga (v. 29: 2 689 stjälar, v. 30: 1 405 stjälar, v. 31: 1 734 stjälar och v. 32: 3 263 stjälar), och flest nektarväxter fanns under den sista nektarväxtkarteringen. På Skogsgadden (fig. 10B) fanns det mest nektarväxter i början av karteringsperioden, och mängden sjönk under hela karteringsperioden (v. 29: 2 543, v. 30: 2 302 stjälar, v. 31: 1 846 stjälar och v. 32: 1 438 stjälar). Antalet nektarväxtstjälar på Östergadden (fig. 10C) var störst under den första karteringen, och lägst i mitten av karteringsperioden (v. 29: 2 298 stjälar, v. 30: 1 050 stjälar, v. 31: 1 719 stjälar och v. 32: 1 850 stjälar).



Figur 10. Det totala antalet nektarväxter och antalet observerade vuxna fjärilar under karteringstillfällena (v. 29–32) på holmarna i havsbandet. I figuren anger staplarna antalet räknade nektarväxter och linjen antalet observerade fjärilar. A = Västergadden, B = Skogsgadden och C = Östergadden. På holmarna i havsbandet sågs flest fjärilar under transektträkningarna och fjärilar sågs på alla holmarna i havsbandet.

Av apollofjärilens huvudsakliga nektarväxter fanns fackelblomster, fibbla, läkevänderot, mjölkört, renfana och strandveronika på alla holmar i ytterskärgården (tab. 7). På Västergadden fanns även tistel. Det högsta nektarväxtindexet räknades på Skogsgadden, medan det lägsta indexet räknades på Västergadden.

Tabell 7. Räknade nektarväxter och dess förekomst på holmarna i havsbandet. I tabellen anges även ett nektarväxtindex som illustrerar antalet nektarväxter per area habitat

Nektarväxt	Västergadden	Skogsgadden	Östergadden
Fackelblomster - <i>Lythrum salicaria</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Fibbla sp.	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Läkevänderot - <i>Valeriana officinalis</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Mjölkkört - <i>Chamaenerion angustifolium</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Renfana - <i>Tanacetum vulgare</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Strandveronika - <i>Veronica longifolia</i>	Närvarande	Närvarande	Närvarande
Tistel - <i>Cirsium sp.</i>	Närvarande	-	-
Nektarväxtindex	622,7 nv/ha	1 168,0 nv/ha	694,5 nv/ha

Transekträkningar utfördes nio gånger på holmarna i ytterskärgården (v. 29–32). På Västergadden (fig. 10A) observerades totalt 45 fjärilar under 9 transekträkningar. Antalet räknade fjärilar var högst på Västergadden jämfört med de andra holmarna. I medeltal observerades fem fjärilar per transekt. Mest fjärilar observerades under den andra transekten den 22 juli, då 13 fjärilar räknades. Holmarna i ytterskärgården besöktes aktivare jämfört med holmar i övriga zoner. Holmen var ny för utplanteringen 2010.

På Skogsgadden (fig. 10B) observerades totalt 24 fjärilar under 9 transekträkningar. Flest fjärilar observerades i början av perioden med 11 fjärilar den 21 juli och 9 den 22 juli. På holmen utfördes transekträkningar under hela den uppskattade flygperioden. På Östergadden observerades inga vuxna fjärilar under nio transekträkningar, trots att holmen besöktes aktivt under hela den potentiella flygperioden (fig. 10C).

Under 2011 sågs 25 vuxna på Västergadden, 22 vuxna på Skogsgadden och 21 vuxna på Östergadden.

4.2.4 Statistisk analys

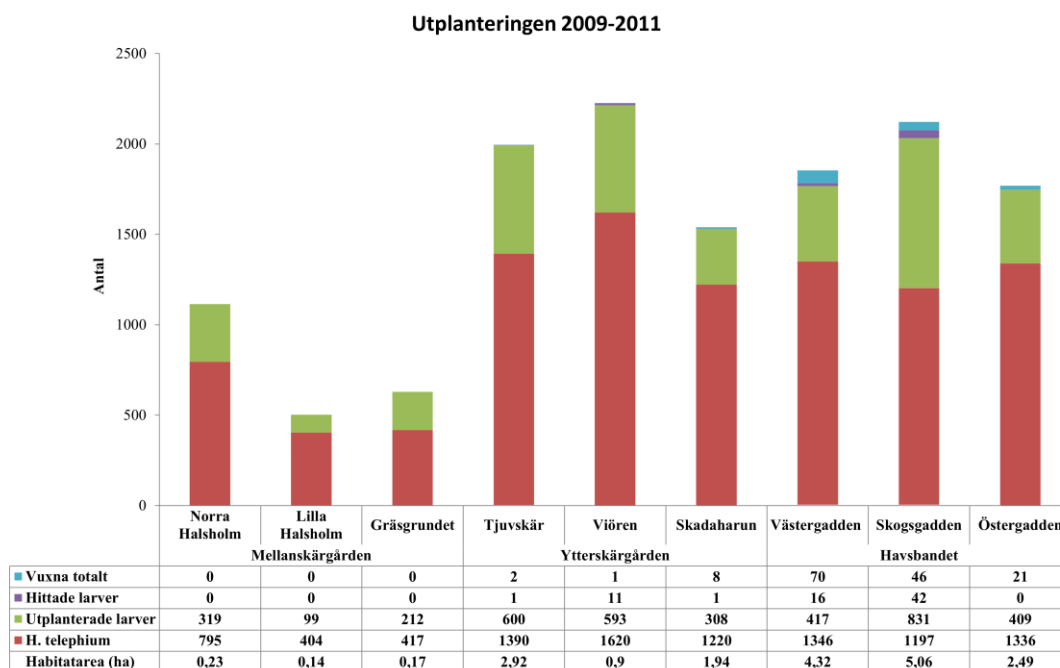
De analyserade modellerna gav låga AIC-värden, där behandlingen var en av de första variablerna som avlägsnades (tab. 8). Från modellen framgår att zonen är den viktigaste beskrivande faktorn för var man kan se en vuxen fjäril (GLM $p < 0,05$).

Tabell 8. Modellering (GLM) för uppföljning av vuxna och nektarväxtkartering. Tabellen illustrerar de analyserade modellerna, och dess p-värden. I tabellen är VT = Totala antalet vuxna, LT = totala antalet upphittade (övervintrade) larver, B = behandling, Z = Zon, N = Nektarväxter och H = habitatarea. AIC-värdet anger modellens lämplighet och signifikansen anges $p = 0,05$

Modell	AIC	P _{Intercept}	P _{Larver_tot}	P _{Behandling}	P _{Zon}	P _{Nektarväxter}	P _{Habitatarea}
VT ~1 (nollmodell)	78,31	0,14					
VT ~ LT + B + Z + N + H	70,85	0,30	0,44	0,84	0,32	0,25	0,40
VT ~ LT + Z + N + H	69,06	0,18	0,28	-	0,15	0,14	0,29
VT ~ LT + Z + N	70,49	0,08	0,46	-	0,08	0,19	-
VT ~ Z + N	69,75	< 0,05	-	-	< 0,05	0,20	-
VT ~ Z	70,58	0,05	-	-	< 0,05	-	-

4.4 Grafisk visualisering över utplanteringen 2009–2011

Under utplanteringen kvantifierades holmarna för att få dem jämförbara, och för att kunna utföra utplanteringen enligt den standardiserade metoden, med larver per stjälkar värdväxt. Trots det fanns det mera *H. telephium* på holmarna i ytterskärgården, jämfört med holmarna i havsbandet, trots att holmarna i havsbandet var större. Det sågs flest vuxna i havsbandet, och där hittades även flest övervintrade larver. En grafisk sammanfattning av utplanteringen presenteras nedan (fig. 11).



Figur 11. Utplanteringen 2009–2011. Figuren sammanfattar all utplanteringsdata (antalet observerade vuxna, antalet hittade larver, antal utplanterade larver, antalet stjälgar *H. telephium* och habitatarea) på de nio holmarna under en treårsperiod.

5 Diskussion

5.1 Utplanteringen och larvens habitatkrav

Enligt de statistiska undersökningarna skulle närvaron av kärleksört vara den viktigaste faktorn för att hitta en larv ($AIC_{GLMM} = 156,7$) medan de övriga analyserade variablerna (berg, mossor och växtlighet) var mindre betydelsefulla enligt modelleringen. I litteraturen har värdväxtens täthet beskrivits som mycket viktig för larvens överlevnad (Fred & Brommer 2010). Resultatet kan eventuellt påverkas av att vid utplanteringen placerades larven direkt på värdväxten, till skillnad från honans naturliga slumpmässiga ägglägningsbeteende (t.ex. Fred & Brommer 2005). Larven äter mycket, speciellt under de sista larvstadierna (Fred & Brommer 2005, Munguira et al. 2009), och i laboratorieexperiment har larven vistats söka sig främst mot ljus, och inte mot föda (Fred & Brommer 2010). Larvens vandringsbeteende (Wiklund et al. 2017), beaktades inte vid placeringen av larven, huruvida larven kunde vandra fritt i sökande efter ett lämpligt förpuppningsställe. Men vandringsbeteendet kunde

förklara varför larver kunde hittas på tillsynes ”icke fördelaktiga” platser under habitatkarteringen.

I en liknande studie av Ashton et al. (2009) med apollofjärilar i Spanien visade det sig att på hög höjd påträffas larver bland mera lågväxt växtlighet, medan på lägre höjd påträffas larverna bland mera högvuxet och buskigare habitat. Enligt habitatkarteringen var andelen högvuxet habitat störst på holmarna i havsbandet jämfört med de övriga zonerna. Medan andelen mossa var högst på holmarna i mellanskärgården. I den statistiska modelleringen framgick mossa som den näst viktigaste variabeln, medan tillgången på öppet berg (t.ex. Brommer & Fred 1999, Eliasson 2005) var den andra variabeln som avlägsnades (lmer $p = 0,66$). Under habitatkarteringen 2011 lades speciell fokus på områden där tecken på betning av *H. telephium* sågs och speciellt om rutan hade en (eller flera) larver i sig. Dessa rutor kan ses som speciellt lämpliga eftersom larverna som sågs under 2011 var övervintrade och hade självmant sökt sig till platsen. Mest övervintrade larver hittades på holmarna i havsbandet, och mest larver planterades ut i området. Utplanteringsmetodiken, dvs. att plantera ut larver i olika larvstadier, visade sig inte öka chansen att se en vuxen fjäril. Behandlingen var den tredje variabeln som avlägsnades ur modellen (GLM $p = 0,37$).

5.2 Etableringsframgången mellan skärgårdszonerna

5.2.1 Mellanskärgården

Trots att de i förhållande till holmens storlek hade de högsta densiteterna av kärleksört, förblev holmarna i mellanskärgården (Lilla Halsholm, Norra Halsholm och Gräsgrundet), obebodda under hela utplanteringsperioden (2009–2011). Totalt planterades det ut 449 larver på holmarna i mellanskärgården under 2010, men inga övervintrade larver påträffades, varken under 2010 eller karteringarna 2011. Holmarna konstateras vara obebodda då inga larver upphittas under vårkarteringen före eventuella utplanteringar utförs. Larver som hittades i naturen (övervintrade larver) var generellt sett större än larverna vi hade i labbet, och om övervintrade larver hittades under utplanteringsfasen kunde dessa identifieras även då. Holmarna i

mellanskärgården hade i förhållande till sin totalarea, den största andelen larvhabitat, men trots det sågs inga tecken på etablering. Predation av främst myror kunde spela en större roll för etableringen i mellanskärgården (på Gräsgrundet anfölls en ny utplanterad larv av myror inom några minuter efter utplanteringen), trots att effekten av predation skulle vara ytterst liten enligt Nakonieczny et al. (2007).

Orsaken till att holmarna i mellanskärgården förblev obebodda är oklar, men en möjlig förklaring kan vara att holmarna är så små att de vuxna fjärilarna snabbt tvingas till ”det för organismen hostila matrisen” (Hanski 1998). Eftersom matrisen i det här fallet är vatten dör den vuxna fjärilen i matrisen. Men i en undersökning av Fred och Brommer (2009) uppskattades 80 % av de kläckta fjärilarna hållas på sin födelseö. En ytterligare förklaring kunde ligga i att avstånden mellan holmarna i mellanskärgården är så korta, och att de vuxna individerna snabbt lämnat sin födelseholme i jakt på ett mera lämpligt habitat. De omkringliggande holmarna karterades inte under transekträkningarna, men inga fjärilar observerades flyga i området.

En orsak kunde vara de omkringliggande holmarnas skuggande effekt i mellanskärgården. Eftersom avstånden mellan holmarna i mellanskärgården är korta, och holmarna som besöktes var små, kunde träden på de omkringliggande större holmarna skugga holmarna. Detta skulle orsaka en senare uppvärmning av de sydliga slutningarna (där utplanteringarna skedde) på våren, som i sin tur skulle försena uppkomsten av *H. telephium*. Kärleksörten (*H. telephium*) börjar växa så fort som vårsolen värmer (Eliasson 2005).

5.2.2 Ytterskärgården

I ytterskärgården (Tjuvskär, Viören och Skadaharun) planterades totalt 1 502 larver ut under 2009–2011, varav 1 121 planterades ut 2010. Vi hittade övervintrade larver i området (Tjuvskär $n = 1$, Viören $n = 11$ och Skadaharun $n = 1$), men trots det anses utplanteringen i ytterskärgården vara misslyckad. I ytterskärgården fungerade Tjuvskär som kontroll, Viören som behandling ett och Skadaharun som behandling två. Trots att ett relativt stort antal larver planterades ut i ytterskärgården, sågs endast elva vuxna fjärilar i området. Detta var fallet trots att holmarna i området var relativt stora, ca 1,92 ha i medeltal, med en uppskattad habitatarea på ca 0,72 ha i medeltal.

Densiteten av kärleksört på holmarna i ytterskärgården var nästhögst bland de undersökta holmarna. Både på Tjuvskär och på Skadaharun låg densiteten under 1 000 värdväxter per ha. På Viören, som är den minsta holmen i zongruppen, var densiteten 1 800 värdväxter per ha. Det var även på Viören som flest övervintrade larver hittades ($n = 11$). På både Tjuvskär och Skadaharun hittades en övervintrad larv per holme. Av holmarna i ytterskärgården är Viören minst, mest exponerad och även den enda holmen utan skog. Holmarna i ytterskärgården och havsbandet var mera högvuxna jämfört med mellanskärgården, och inom zonen var Viören högre jämfört med de övriga holmarna.

5.2.3 Havsbandet

Utplanteringen lyckades i havsbandet (Västergadden och Skogsgadden). Under utplanteringsperioden utplanterades totalt 1 097 larver på holmarna. I de statistiska analyserna beaktades inte data från Östergadden, eftersom larverna som planterades ut var i varierande larvstadier (de sista larverna i labbet). Under vårkarteringen 2011 hittades larver på Skogsgadden ($n = 42$) och Västergadden ($n = 16$). En orsak till att utplanteringen lyckades i havsbandet kunde vara att holmarna i området är stora och högre jämfört med de övriga holmarna. Den intraspecifika konkurrensen kan vara mindre på de större holmarna då mera habitat och fler nektarväxter finns att tillgå. Holmens höjd skyddar habitatfläckarna från t.ex. fluktuationer i havsvattenståndet under våren och hösten. Havsisen går tidigare på våren i havsbandet jämfört med de mera skyddade holmarna i t.ex. mellanskärgården. Eftersom holmarna är exponerade för väder och vind värms holmarnas södra delar upp snabbt under våren. Detta påverkar i sin tur kärleksörtens tillväxt (Eliasson 2005). Larven söker sig till ljus (Fred & Brommer 2010) och värme (Eliasson 2005). Det omgivande havsvattnet påverkar troligen även de övervintrande larverna genom att hålla en jämnare temperatur genom hösten.

5.3 Uppföljning av vuxna och nektarväxtkarteringen

Efter att larverna förpuppats besöktes holmarna nästa gång först vid första transekträknningen, tre veckor senare. Tidsperioden hade uppskattats utgående från

litteraturen. Enligt litteraturen varar puppstadiet 3–5 veckor (t.ex. Eliasson 2005). Enligt statistik från Meteorologiska institutet var sommaren 2010 mycket varm i sydvästra Finland (ANON 2021), vilket torde ha snabbat upp larvens utveckling (Eliasson 2005, Elmquist 2005, Nakonieczny et al. 2007). Transekträkningen var mycket väderberoende. Även fjärilens beteende är beroende av vädret (Nakonieczny et al. 2007). Vid regn, eller för hård vind flyger fjärilen inte (Nakonieczny et al. 2007). Vid transekträkningen kan det inte uteslutas att samma individ räknades flera gånger eftersom individerna räknades i flykt, och fjärilarna fångades inte in för att sedan släppas.

Mest övervintrade larver hittades på holmarna i havsbandet, och mest larver planterades ut i området. Av de totalt 148 observerade fjärilarna under 2010–2011 var 137 på holmarna i havsbandet. Trots att larverna som planterades ut på Östergadden ($n = 164$) under 2010 var små och ansågs olämpliga, observerades under 2011 totalt 21 fjärilar på holmen. De övriga 116 fjärilarna observerades på Skogsgadden och Västergadden. Avståndet mellan holmarna var inte stort och om fjärilar flög mellan de två holmarna är oklart. Vi såg inga apollofjärilar flyga över vatten, vilket även stöds av litteraturen (Brommer & Fred 1999). Holmens storlek och den höga diversiteten av nektarväxter på holmarna i havsbandet kan även bidra till att så rikligt med vuxna observerades i området. Ur de statistiska analyserna framgick att zonen var den viktigaste beskrivande faktorn (GLM $p < 0,05$).

Holmarna i mellanskärgården hade låg diversitet av nektarväxter, och inga av artens stora favoriter (tistlar och mjölkört). Läkevänderot fanns endast på Norra Halsholm. På Norra Halsholm var nektarväxtindexet ($n = 3\,287$ per ha) jämförbart med de stora holmarna i ytterskärgården ($n = >3\,000$ nektarväxter per ha). Ur de statistiska analyserna framgick att tillgången på nektarväxter var en viktigare faktor i modellen jämfört med t.ex. holmens area.

Både nektarväxtindexet (Västergadden $n = 623$ nv/ha och Skogsgadden $n = 1\,168$ nv/ha) och andelen *H. telephium* per ha var lägst på holmarna i havsbandet jämfört med de övriga zonerna, men holmarna var signifikant mycket större jämfört med övriga zoner (se tab. 1). På de stora holmarna finns däremot en större diversitet av olika nektarväxter för de vuxna fjärilarna. De statistiska analyserna (GLM) visade att

zonen var den viktigaste beskrivande faktorn (GLM $p < 0,05$) i två av modellerna. Detta kan ses som missvisande eftersom inga vuxna sågs i mellanskärgården och största delen av vuxna sågs i ytterskärgården, med endast ett fåtal observationer i mellanskärgården. Om man bortser från zonen, skulle tillgången på nektarväxter vara den viktigaste beskrivande faktorn. I en undersökning av Brommer och Fred 1999 framkom att den vuxna fjärilen högst antagligen påträffas i områden med hög densitet av larvens värdväxt, i områden med nära anslutning till nektarväxter.

5.4 Utvärdering av utplanteringsmetodiken och slutsatser

De statistiska analyserna visade inga skillnader i utplanteringsmetodiken, men ur observationerna och larvkarteringarna framgår att holmar där larver planterades ut enligt behandling ett (en larv per fyra *H. telephium*: Västergadden och Viören) visade sig ha en större etableringsframgång jämfört med andra metoder. Vilka omgivningsfaktorer som gör en holme till en god kandidat förblir oklart i mina undersökningar, men det ser ut som om holmens storlek spelar en roll. Om detta är bundet endast till skärgårdszonen är oklart. Men i modellen med de vuxna fjärilarna kan resultaten ses som missvisande, eftersom fjärilar sågs främst på två holmar, båda i havsbandet, varav en var kontroll och andra var behandling ett. Om det är en fördel att plantera ut unga larver, som har tid på sig att bekanta sig med habitatet under flera larvstadier före förpuppning (jämfört med äldre larver som eventuellt endast äter födan den planteras på före förpuppning) är även oklart. Habitatfläckarna undersöktes endast visuellt. Och genom att endast visuellt bedöma en habitatfläck som "lämplig" för en larv, tas inte övriga möjliga biologiska och kemiska faktorer i beaktande. Dessa okända faktorer kan visa sig vara kritiska för larvens överlevnad. Alla holmarna som utplanteringen utfördes på ansågs vara lämpliga utgående från tillgången på föda, både för larven och för den vuxna fjärilen, men faktumet att utplanteringen endast lyckades på holmar i ytterskärgården kan även ge en inblick i varför arten inte naturligt har koloniserat holmarna på nytt (Fred & Brommer 2015). Holmarna i Ekenäs skärgård har flera likheter med holmar i Åbolands skärgård, där apollofjärilen förekommer naturlig (Fred & Brommer 2009), så varför utplanteringen i Ekenäs skärgård inte gav de förväntade resultaten trots de tillsynes fördelaktiga förhållandena förblir oklart.

6 Tillkännagivanden

Först och främst vill jag tack min handledare FD Marianne Fred för chansen att jobba med en så fantastisk försöksorganism, och för den hjälp och det stöd hon bistått med under alla delar av denna massiva process. Ett stort tack riktas även till FD Kai Lindström för all hjälp!

Taivas varjele mitä sieltä tulee!?! No sieltä tulee TOUKKA!!! Jag vill även tacka kollegerna/fältassistenterna Lasse Kurvinen och Marianne Kovasin för de allt som oftast angenäma dagarna i fält under 2010 (den där dagen då det plötsligt började blåsa son phaen kan vi lämna onämnd), och Päivi Toivola för somrarna 2010 och 2011!

Till näst vill jag tack min familj, speciellt Hanna Wiklund för allt stöd och hjälp under skrivprocessen. Hanna: utan dig skulle det här inte ha blivit av! Till Kaffeklubben, främst Tony Cederberg och Henri Jokinen höjs en rykande kopp kaffe i hedersam salut! De som inte är nämnda med namn här, är inte glömda och tackas hjärtligt och framför allt personligt, men jag kan inte komma ihåg alla heller!

Anna och Karl Eklunds Stiftelse och Svenska Folkskolans Vänner tackas för det finansiella stöd som tilldelades i form av stipendier.

7 Referenser

- Adamski, P., 2004. Sex ratio of Apollo butterfly *Parnassius apollo* (Lepidoptera: Papilionidae) – facts and artifacts. *Eur J Entomol* 101: 341-344.
- Adamski, P. & Witkowski, Z., 2006. Male patrolling models in Apollo butterfly *Parnassius apollo* (L.): simulation of optimal choice (Lepidoptera: Papilionidae). *Nat Conserv* 62: 27-36.
- Adamski, P & Witkowski, Z.J., 2007. Effectiveness of population recovery projects based on captive breeding. *Biol Cons* 140: 1–7.
- ANON, 2021. Statistik från och med början av 1961. URL:
<https://sv.ilmatieteenlaitos.fi/statistik-fran-och-med-1961>
Besökt: 14.3.2021
- Ashton, S., Gutiérrez, D. & Wilson, R.J., 2009. Effects of temperature and elevation on habitat use by a rare mountain butterfly: implications for species responses to climate change. *Ecol Entomol* 34:437-446.
- Brommer, J.E. & Fred, M.S., 1999. Movement of the Apollo butterfly *Parnassius apollo* related to host plant and nectar plant patches. *Ecol Entomol* 24: 125-131.
- Brommer, J.E. & Fred, M.S., 2007. Accounting for possible detectable distances in a comparison of dispersal: Apollo dispersal in different habitats. *Ecol Model* 209: 407-411.
- Burkey, T. V., Reed, D. H., 2006. The effects of habitat fragmentation on extinction risk: Mechanisms and synthesis. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.* 28(1): 9-37.
- Crawley, M.J., 2007. *The R Book* (1a upplagan). John Wiley & Sons Ltd, England, 942s.

- Dalgaard, P., 2008. Introductory statistics with R. Springer Science+Business Media LLC, Nederländerna, 363 s.
- Darwin, C., 1871. The decent of man, and Selection in Relation to sex. London, sid 400. URL:
<http://darwin-online.org.uk/content/frameset?pageseq=14&itemID=F937.1&viewtype=side>
Besökt: 21.4.2021
- Eliasson, C.U., 2005. *Parnassius apollo* - Apollofjäril. I: Eliasson, C.U., Ryrholm, N., Holmer, M., Jilg, K. & Gärdenfors, U. (red.) 2005. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Fjärilar: Dagfjärilar. HesperIIDae - Nymphalidae (4:e upplagan). ArtDatabanken, SLU, Uppsala. sid. 152–154.
- Elliott, G.P., Merton, D.V. & Jansen, P.W., 2001. Intensive management of critically endangered species: the kakapo. Biol Conserv 99:121–133.
- Elmquist, H., 2005. Faktablad: *Parnassius apollo* – apollofjäril. ArtDatabanken, Sveriges lantbruksuniversitet. URL:
http://www.artfakta.se/artfaktablad/Parnassius_Apollo_101509.pdf
Besökt: 30.5.2011
- Fahrig, L., 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a Synthesis. Ecol appl 12: 346-353.
- Fahrig, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annu Rev Ecol Evol Syst 34: 487–515.
- Fred, M.S. & Brommer, J.E., 2003. Influence of habitat quality and patch size on occupancy and persistence in two populations of the Apollo butterfly (*Parnassius apollo*). J Insect Conserv 7: 85-98.

- Fred, M.S. & Brommer, J.E., 2005. The decline and current distribution of *Parnassius Apollo* (Linnaeus) in Finland; the role of Cd. *Ann Zool Fennici* 42: 69–79.
- Fred, M.S. & Brommer, J.E., 2009. Resources influence dispersal and population structure in an endangered butterfly. *Insect Conserv Diver* 2: 176-182.
- Fred, M.S. & Brommer, J.E., 2010. Olfaction and vision in host plant location by *Parnassius Apollo* larvae: consequences for survival and dynamics. *Anim Behav* 79: 313–320.
- Fred, M.S. & Brommer, J.E., 2015. Translocation of the endangered apollo butterfly *Parnassius apollo* in southern Finland. *Conserv Evid* 12: 8-13.
- Fred, M.S., O’Hara, R.B. & Brommer, J.E., 2006. Consequences of the spatial configuration of resources for the distribution and dynamics of the endangered *Parnassius apollo* butterfly. *Biol Cons* 130: 183-192.
- Fritts, S.H., Bangs, E.E., Fontaine, J.A., Johnson, M.R., Phillips, M.K., Koch, E.D., & Gunson, J.R., 1997. Planning and implementing a reintroduction of wolves to Yellowstone National Park and Central Idaho. *Restor Ecol* 5: 7-27
- Hanski, I., 1998. Metapopulation dynamics. *Nature* 396: 41-49.
- IUCN, 2012. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. 32 s.
- Kaitila, J-P., Nupponen, K., Kullberg, J. & Laasonen, E., 2010. *Perhoset. I: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (red.) 2010. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Miljöministeriet & Finlands miljöcentral, Helsingfors, s. 430–470.*

- Katoh, T., A. Chichvarkhin, T. Yagi & Omoto, K., 2005. Phylogeny and Evolution of butterflies of the Genus *Parnassius*: Inferences from mitochondrial 16S and ND1 sequences. *Zool Sci* 22: 343-351.
- Kappelle, M., van Vuuren, M.M.I. & Baas, P., 1999. Effects of climate change on biodiversity: a review and identification of key research issues. *Biodivers Conserv* 8: 1383-1999.
- Konvička, M. & Kuras, T., 1999. Population structure, behavior and selection of oviposition sites of an endangered butterfly, *Parnassius mnemosyne*, in Litovelské Pomoraví, Czech Republic. *J Insect Conserv* 3: 211-223.
- Laine, L.J., 2000. Apollo. I: Suomen luontoopas. WSOY, Gummeruksen kirjapaino Oy, Jyväskylä, s. 274.
- Lindgren, L. & Stjernberg, T., 1986. Skärgårdshavets nationalpark. WSOY, Borgå, s. 11-14.
- Munguira, M.L., García-Barros, E. & Cano, J.M., 2009. Butterfly herbivory and larval ecology. I: Settele, J., Shreeve, T., Konvička, M., & Van Dyck, H. (red.), *Ecology of butterflies in Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, s. 43-54.
- Nakonieczny, M. & Kędzierski, A., 2005. Feeding preferences of the Apollo butterfly (*Parnassius apollo* ssp. *frankenbergeri*) larvae inhabiting the Pieniny Mts (southern Poland). *C. R. Biol.* 328: 235-242.
- Nakonieczny, M., Michalczyk, K. & Kędzierski, A., 2006. Midgut glycosidases activities in monophagous larvae of Apollo butterfly, *Parnassius apollo* ssp. *frankenbergeri*. *C R Biologies* 329: 765–774
- Nakonieczny, M. & Kędzierski, A. & Michalczyk, K., 2007. Apollo Butterfly (*Parnassius apollo* L.) in Europe – its History, Decline and Perspectives of Conservation. *Func Ecosyst Commun* 1: 56-79.

- Nieminen, M., Nuorteva, P. & Tulisalo, E., 2001. The effect of metals on the mortality of *Parnassius apollo* larvae (Lepidoptera: Papilionidae). *J Insect Conserv* 5: 1-7.
- Parkkinen, S., 2004. Apollo. I: Halkka, A., Karttunen, K., Kokko, U., Koskimies, P., Lokki, J., Nummi, P., Parkkinen, S., Suominen, T. & Taipale, K. (red.), *Kotimaan luonto-opas* (10:e upplagan). WSOY, WS Bookwell Oy, Borgå, s. 419.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A., Warren, M., 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-583.
- Pedlar, J.H., McKenney, D.W., Aubin, I., Beardmore, T., Beaulieu, J., Iverson, L., O'Neill, G.A., Winder, R.S., Ste-Marie, C., 2012. Placing forestry in the assisted migration debate. *BioScience* 62: 835-842.
- Ranninen, T., 2011. Skärgårdsliv – stänk av natur och kultur. KA Järvenpää OY 229 s.
- Saarinen, K., Lahti, T. & Marttila, O., 2003. Population trends of Finnish butterflies (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) in 1991-2000. *Biodiversity Conserv* 12: 2147-2159.
- Scott, J.A., 1970. Hilltopping as a mating mechanism to aid the survival of low density species. *J Res Lepidoptera* 7:191-204.
- Scott, J.A., 1973. Mating of butterflies. *J Res Lepidoptera* 11:99-127.

- Settele, J., Shreeve, T., Konvička, M. & Van Dyck, H., 2009. Preface. I: Settele, J., Shreeve, T., Konvička, M., & Van Dyck, H. (red.), Ecology of butterflies in Europe. Cambridge University Press, Cambridge, Förord s. xi-xii
- Štefánek, M. & Fedor, P., 2020. Environmental stress in *Parnassius Apollo* reflected through wing geometric morphometrics in a historical collection with a possible connection to habitat degradation. *Nat Conserv* 38:79-99.
- Thomas, J.A., 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Phil Trans R Soc B* 360: 339–357.
- Thomas, J.A., Bourn, N.A.D., Clarke, R.T., Stewart, K.E., Simcox, D.J., Pearman, G.S., Curtis, R. & Goodger, B., 2001. The quality and isolation of habitat patches both determine where butterflies persist in fragmented landscapes. *Proc R Soc Lond B*: 268:1791-1796.
- Thomas, C.D., Cameron, C.D., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L. & Williams, S.E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
- Tolman, T., & Lewington, R., 2008. *Apollo Parnassius apollo*. I: Collins butterfly guide - The most complete guide to the butterflies of Britain and Europe. HarperCollins Publishers, London, s. 36-37.
- van Swaay, C.A.M. & Warren, M.S., 1999. Red Data book of European butterflies (Rhopalocera). *Nature and Environment*, No. 99, Council of Europe Publishing, Strasbourg, s. 86-88.

- Van Swaay, C., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., López Munguira, M., Šašić, M., Settele, J., Verovnik, R., Verstrael, T., Warren, M., Wiemers, M. & Wynhof, I., 2010. European Red List of Butterflies.
- Vlasanek, P., & Konvicka, M., 2009. Sphragis in *Parnassius mnemosyne* (Lepidoptera: Papilionidae): male-derived insemination plugs loose efficiency with progress of female flight. *Biologia* 64: 1206-1211.
- Warren, M.S., Hill, J.K., Thomas, J.A., Asher, J., Fox, R., Huntley, B., Roy, D.B., Telfer, M.G., Jeffcoate, S., Harding, P., Jeffcoate, G., Willis, S.G., Greatorex-Davies, J.N., Moss, D & Thomas, C.D., 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414: 65-69.
- Wickman, P-O., 2009. Mating behavior in butterflies. I: Settele, J., Shreeve, T., Konvička, M., & Van Dyck, H. (red.), *Ecology of butterflies in Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, s. 17-28.
- Wiklund, C., 1984. Egg-laying patterns in butterflies in relation to their phenology and the visual apparency and abundance of their host plants. *Oecologia* 63: 23-29.
- Wiklund, C., Stefanescu, C. & Friberg, M., 2017. Host plant exodus and larval wandering behaviour in a butterfly: diapause generation larvae wander for longer periods than do non-diapause generation larvae. *Ecol Entomol* 42:531-534
- Witkowski, Z. & Adamski, P., 1996. Decline and rehabilitation of the Apollo butterfly *Parnassius Apollo* (Linnaeus, 1758) in the Pieniny National Park (Polish Carpathians). I: Settele, J., Margules, C.R., Poschlod, P. & Henle, K. (red.), *Species survival in fragmented landscapes*. Kluwer Academic Publishers, Nederländerna, s. 7-14.

Witkowski, Z., Adamski, P., Kosior, A. & Płonka, P., 1997. Extinction and reintroduction of *Parnassius apollo* in the Pieniny National Park (Polish Carpathians). *Biologia, Bratislava* 52/2: 199-208.