

# Genetiker hävdar: Fler va spridning mellan populat



Varg i Finland. Bra för genetiken både om den vandrar till Sverige och om dess finska släktingar får svenska vargbesök.

Av Torbjörn Nilsson

Den skandinaviska vargstammen behöver få betydligt mer invandring österifrån, för att bli långsiktigt livskraftig, än vad som tidigare antagits. Det är också viktigt att Skandinavien inte bara tar emot vargar österifrån, utan det måste bli ett genutbyte som går i båda riktningarna. Detta är två viktiga slutsatser i en ny studie från en grupp forskare, bestående av populationsgenetiker och matematiker vid Stockholms universitet.

För att en djurpopulation ska vara långsiktigt livskraftig, så räcker det inte att den har en låg utdöenderisk de närmaste hundra åren. Populationen måste också ha tillräckligt mycket genetisk variation för att ha en god chans att överleva och anpassa sig till miljöförändringar, som till exempel utbrott av nya sjukdomar som inte funnits hos arten tidigare.

Och populationen måste vara tillräckligt stor, eller få tillräckligt mycket invandring från en tillräckligt stor population, för att långsiktigt behålla tillräckligt mycket genetisk variation.

## GENETISKT EFFEKTIV POPULATIONSTORLEK GRUND FÖR LÅNGSIKTIGT BEVARANDE

När det gäller att bedöma hur stor en population behöver vara för att långsiktigt behålla tillräckligt mycket genetisk variation, så finns det inom populationsgenetiken en väl etablerad modell för att uppskatta det.

Genetisk variation skapas i varje ny generation genom mutationer, men förloras samtidigt i en takt som bland annat beror på populationens storlek. Hur fort förlusten av genetisk variation går brukar beskrivas med ett mått som kallas genetiskt effektiv populationsstorlek, eller bara effektiv populationsstorlek, vanligen förkortat  $N_e$ . I en

isolerad men väl sammanhängande population, där inte geografisk isolering påverkar vilka djur som parar sig med varandra, kommer förlusten av genetisk variation på lång sikt att balanseras av mutationer så att en god genetisk variation uppnås och bibehålls, om effektiva populationsstorleken  $N_e$  är minst 500.

## PÅVERKAS AV VILKA DJUR SOM DELTAR I REPRODUKTIONEN

Men den genetiskt effektiva populationsstorleken,  $N_e$ , påverkas inte bara av hur många djur det finns i populationen, utan också av flera andra faktorer: könskvoten, hur stor andel som är könsmogna, om individer från olika generationer kan få avkomma ihop (överlappande generationer), hur reproduktionsframgången varierar bland de djur som förökar sig, med mera.

## MOTSVARAS AV BETYDLIGT STÖRRE VERKLIG POPULATION

Hos vilda däggdjur är  $N_e$  ofta mellan en tiondel och hälften av det totala antalet djur i en population. Det totala antalet djur

# Vargrar och större populationerna behövs



Foto: Jan-Åke Hillarp



Vargpopulationer i Fennoskandia (Norge, Sverige, Finland, Kolahalvön och Karelen) och dess närmaste omgivning. Helgråa fält anger populationerna i Skandinavien och Finland med kända antal och utbredningar. För Kolahalvön och Karelen saknas detaljerad information och vargpolygonernas utbredning där är oklar. På övriga mönstrade ytor anges ungefärliga uppskattningar av antal vargar.

Källa och förlaga: Laikre et al. 2016. *Metapopulation effective size and conservation genetic goals for the Fennoscandian wolf (Canis lupus) population*, Figur 1.

brukar betecknas med  $N$ , och kvoten  $N_e/N$  är då ett sammanfattande mått på alla andra faktorer, utöver det totala antalet individer, som påverkar hur fort genetisk variation förloras i populationen. Om  $N_e/N$  är 0,5 så behövs det 1 000 djur för att  $N_e$  ska vara 500, och om  $N_e/N$  bara är 0,1 så behövs det 5 000 djur för att  $N_e$  ska vara 500.

För varg tycks kvoten  $N_e/N$  vara omkring 0,25, vilket betyder att i storleksordningen 2 000 vargar behövs för att  $N_e$  ska vara 500. Naturvårdsverket har i sin senaste bedömning antagit att kvoten är cirka 0,3 och att undre gränsen för en långsiktigt livskraftig population därför är 1 700 vargar.

## FLERA POPULATIONER BILDAR TILLSAMMANS METAPOPOPULATION

En begränsning med modellen för  $N_e$  är att det hittills varit oklart hur den kan tillämpas på ett system av flera populationer, där de flesta parningar sker mellan djur i samma population men där det också finns ett visst utbyte av djur som sprider sig mellan de olika populationerna. Ett sådant system kan kallas för en metapopulation. Vargen

i Skandinavien är ett exempel på en relativt isolerad population som ändå får ett visst inflöde av nya individer från andra populationer. Nu har populationsgenetikerna Linda Laikre, Eeva Jansson och Nils Ryman och matematikerna Fredrik Olsson och Ola Hössjer utvecklat nya beräkningsmetoder för att kunna analysera en sådan situation. Deras resultat och slutsatser presenteras i en artikel som kom ut i tidskriften *Heredity* i början av sommaren.

## SPRIDNING LEDER TILL JÄMVIKT

Laikre, Olsson, Jansson, Hössjer och Ryman börjar med att skilja mellan den effektiva populationsstorleken för hela metapopulationen,  $N_{eMeta}$ , och för de olika ingående populationerna,  $N_{eRx}$  (där  $x$  kan bytas mot en beteckning som anger vilken population det gäller).

Forskarna kommer fram till att om spridning sker både till och från alla populationer i systemet, så blir resultatet att så småningom förlorar alla populationer genetisk variation i samma takt som hela metapopulationen. Det betyder att  $N_{eRx}$  för de

olika populationerna blir lika med  $N_{eMeta}$ . Men det kan ta lång tid, hundratals generationer, för en sådan jämvikt att ställas in.

Och det har betydelse vad som händer på vägen dit. Om spridningen mellan populationer är för liten kan akuta inavelsproblem uppstå i en eller flera av delpopulationerna.

## EFFEKTIV STORLEK PÅ 500 EFTERSTRÄVAS

Forskarna föreslår därför att bevarandemålet bör vara att inte bara metapopulationen som helhet utan även de ingående delpopulationerna (vars förlust av genetisk variation bromsas av invandring från andra populationer) ska tappa variation så pass långsamt att det motsvarar en effektiv populationsstorlek om minst 500. De föreslår också att detta mål bör uppnås inom en rimligt kort tid, i storleksordningen fem till tjugo generationer.

Detta kan verka förvirrande – om varje population har en effektiv populationsstorlek om minst 500, kommer inte hela metapopulationen att ha en mycket större effektiv populationsstorlek då? Jag ställde den frågan till Linda Laikre, som förklarar

hur det hänger ihop:

– Nej, här gäller det att komma ihåg att den genetiskt effektiva populationsstorleken i grund och botten inte är en populationsstorlek, utan ett mått på hur fort genetiska förändringar sker i populationen. I en enskild population kommer förändringstakten att bero dels på populationens storlek, dels på genetiskt inflöde från andra populationer. Om spridning i rimligt hög takt sker kontinuerligt och i båda riktningarna mellan flera populationer, så kommer till slut takten i förlust av genetisk variation att bli densamma i de olika populationerna, och även densamma i metapopulationen som helhet. Och eftersom effektiva populationsstorleken är ett mått på hur fort genetisk variation förloras, har då de ingående populationerna samma effektiva populationsstorlek som hela metapopulationen. Om å andra sidan spridningen mellan delpopulationerna är liten så kommer var och en av dem att ha en mycket mindre effektiv storlek än totalpopulationens, och  $N_{eMeta}$  blir ett dåligt mått på hur snabbt genetisk variation förloras i delpopulationerna.

**ANTALET VARGAR BEHÖVER FÖRDUBBLAS**  
Sedan gör forskarna beräkningar på en modell av vargen i Fennoskandia, ett område som består av Sverige, Norge, Finland, Kolahalvön och Karelen. Summan av  $N_e$  för olika populationer av varg i detta om-

råde bedöms till mellan 200 och 250. Om alla populationerna är sammanlänkade genom spridning, så kan alltså området hålla en långsiktigt livskraftig vargpopulation ( $N_e$  minst 500) om antalet vargar får öka till lite mer än dubbelt så många som idag.

**FLERA HUNDRA ÅR FÖR ATT UPPNÅ LÅNGSIKTIG LIVSKRAFT**

Men det behövs en hel del spridning mellan populationerna för att de ska bli långsiktigt livskraftiga inom rimlig tid. Spridningen beskrivs i forskarnas modell med en variabel, kallad  $m$ . Variabeln  $m$  anger hur många vargar som under en generation flyttar från en viss population och bidrar med sina gener i en viss annan population. Se pilarna i figuren nedan. Även om  $m=3$ , så att den skandinaviska populationen får nya gener från tre nya invandrare per generation (cirka fem år hos varg), tar det omkring hundra generationer, det vill säga flera hundra år.

**VIKTIGT ATT VARGAR BÅDE INVANDRAR OCH UTVANDRAR**

Dessutom är det viktigt att spridning sker både från och till varje population. Även om populationen i Skandinavien har tagit emot en handfull invandrande, reproducerande vargar de senaste årtiondena, så har den såvitt känt inte bidragit med några utvandrare som lyckats etablera sig och få ungar i andra populationer. Om den situationen

skulle bestå, bidrar inte den skandinaviska populationen till att långsiktigt bibehålla genetisk variation i metapopulationen, utan Skandinavien blir bara ett område där gener försvinner (på engelska används uttrycket "genetic sink"). Och då måste de andra populationerna få bli ungefär fyra gånger så stora som idag, för att metapopulationen och dess populationer ska kunna ha en effektiv populationsstorlek på 500.

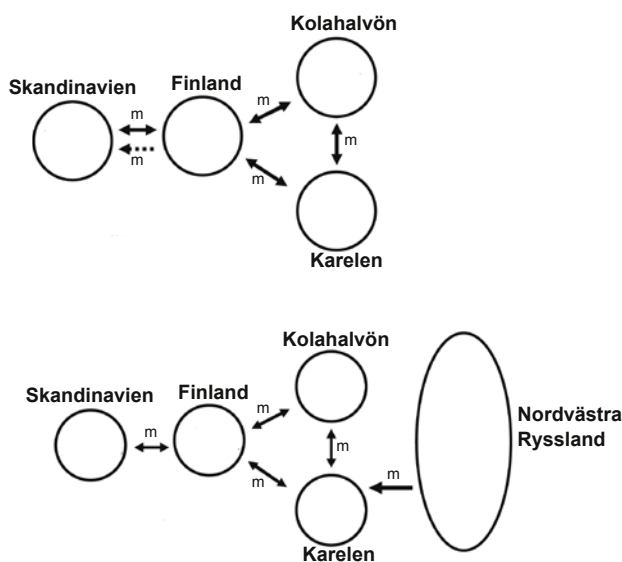
**STÖRRE POPULATION I RYSSLAND**

Därefter provar forskarna att även lägga till invandring från en stor ( $N_e$  uppskattas till 750) population i nordvästra Ryssland (förutom Kolahalvön och Karelen). En sådan population är i sig själv långsiktigt livskraftig.

Frågan är då hur mycket spridning som behövs mellan delpopulationerna i Fennoskandia (Skandinavien, Finland, Kolahalvön och Karelen) för att dessa delpopulationer och den sammanlagda metapopulationen ska bli långsiktigt livskraftiga inom rimlig tid.

Laikre och hennes medarbetare undersöker detta för ett fall då tio nya invandrare per generationstid kommer in via Karelen från andra delar av Ryssland och bidrar med sina gener i Fennoskandia. Om spridningsmättet inom Fennoskandia  $m$  bara är lika med 1, så tar det 90 generationer, alltså många hundra år. Om  $m=3$  så tar det 37 generationer, och om  $m=5$  så tar det 26 generationer. 26 varggenerationer, det är över hundra år.

Av detta kan vi dra slutsatsen att om vargpopulationerna i Fennoskandia inte blir betydligt större än nu, utan ska vara beroende av påfyllning österifrån för sin långsiktiga livskraft, då behöver mer än fem vargar per



Schematisk illustration av två modeller av en fennoskandisk metapopulation som består av flera vargpopulationer. I den övre modellen är den fennoskaniska metapopulationen isolerad och i den undre modellen räknar man med inflöde av vargar från en större population i nordvästra Ryssland. Lilla  $m$  visar migration av vargar, som kan variera i antal migranter per generation. Pilarna visar riktningen på genflöde mellan populationerna (tvåvägspil = genutbyte i båda riktningar, enkelpil = migration i endast en riktning). Källa: Förenklat utdrag ur Figur 2, "Metapopulation effective size and conservation genetic goals for the Fennoscandian wolf (*Canis lupus*) population" av Laikre et al. 2016.

**Långsiktig livskraft – inte bara ett mål på lång sikt**

Ibland hör man resonemang om att även om långsiktig livskraft är ett rimligt mål, räcker det om det uppnås på lång sikt, eller någon gång ganska långt bort i framtiden. Men det är en riskabel strategi.

Långsiktig livskraft handlar om populationens förmåga att överleva och anpassa sig till miljöförändringar. En plötslig miljöförändring, som uppkomsten av en ny allvarlig sjukdom, kan inträffa om några tusen år, men den kan lika gärna ske i år.

Varje år som en population är genetiskt utarmad innebär en förhöjd risk att populationen slås ut om något sådant inträffar. Därför är det bra att Laikre med flera betonar att bevarandemål om långsiktig livskraft bör uppnås inom en rimligt kort tid.

generationstid invandra till Skandinavien och sprida sina gener här, för att vår vargstam någorlunda snabbt ska bli långsiktigt livskraftig.

#### OSÄKERT RÄKNA MED RYSKA VARGAR

I den avslutande diskussionen konstaterar forskarna att kunskapen om Rysslands vargpopulationer är begränsad. Uppskattningar av populationsstorlek i olika områden är osäkra, och det är osäkert hur sammanhängande eller fragmenterade vargpopulationerna är. Dessutom är Ryssland inte med i vare sig Bernkonventionen eller EU, och har därmed inget åtagande om att bevara och främja långsiktigt livskraftiga vargpopulationer. Praktiskt samarbete om vargförvaltningen mellan Ryssland och de nordiska grannländerna är inte heller välutvecklat. Allt detta talar för att Sverige, Norge och Finland bör bygga upp vargstammar som tillsammans blir långsiktigt livskraftiga, utan att vara beroende av invandring från Ryssland.

#### FEM PUNKTER FÖR BEVARANDE

Forskarna avslutar artikeln med fem rekommendationer för vargen i Fennoskandia:

1. Spridning av vargar i båda riktningarna mellan de skandinaviska och finska populationerna måste säkerställas.
2. Spridningen mellan alla vargpopulationer i Fennoskandia behöver undersökas och följas.
3. De olika vargpopulationerna i området behöver bli så sammanhängande att utbytet mellan dem omfattar i storleksordningen tre till fem individer, som flyttar från respektive population och får ungar i en annan population, per generationstid.
4. Populationsstorlekarna i området behöver öka så att deras gemensamma effektiva populationsstorlek närmar sig 500.
5. Eftersom det saknas gemensamma bevarandemål med Ryssland, bör Sverige, Norge och Finland låta sina vargpopulationer öka så att de tillsammans uppnår en genetiskt effektiv populationsstorlek om 500 eller mer.

*Källa: L Laikre, F Olsson, E Jansson, O Hössjer & N Ryman. 2016. Metapopulation effective size and conservation genetic goals for the Fennoscandian wolf (Canis lupus) population. Heredity, advance online publication, 22 June 2016.*

*Artikeln kan laddas ner från <http://www.nature.com/hdy/journal/vaop/ncurrent/full/hdy201644a.html>*

## ”Runt 3-5 vargar per generation bör utväxlas mellan populationerna”

I fjol lät regeringen Naturvårdsverket ta fram underlag för en ny bedömning av vargens bevarandestatus. Regeringen har ännu inte dragit någon slutsats av det material som togs fram, och det är kanske lika bra, eftersom den nya studien av Laikre, Olsson, Jansson, Hössjer och Ryman inte var färdig då. Därför ställer jag frågan till Linda Laikre, professor i populationsgenetik vid zoologiska institutionen, Stockholms universitet: Vad är det



Foto: Hans Ring

Linda Laikre, professor i populationsgenetik vid Stockholms universitet.

viktigaste som regeringen bör förstå av er studie, om de ska komma till en välgrundad slutsats om vad som behövs för att vargen ska uppnå en gynnsam bevarandestatus?

– Att relativt många immigranter behövs till den svenska vargpopulationen för att den ska kunna betraktas som genetiskt livskraftig. Att vargbestånden på hela den fennoskandiska halvön, alltså även det i Finland, behöver öka från nuvarande nivåer och att ett relativt omfattande, ömsesidigt utbyte mellan bestånden behövs. Det handlar om i storleksordningen 3-5 vargar per generation som bör utväxlas mellan populationerna och det är viktigt att vargar inte enbart vandrar in i Sverige utan att den svenska populationen även bidrar med emigranter österut. Detta är några av de slutsatser för vargens del som vi kunnat dra och de baseras på det förslag till bevarandegenetiskt betraktelsesätt för metapopulationer som vi föreslår i artikeln, förklarar Linda Laikre.

## En invandrare per generation räcker inte alltid

En ofta återopad regel, som grundas på populationsgenetisk teori, säger att om en population tar emot en invandrare per generationstid, som sprider sina gener i populationen, så räcker det för att populationen inte ska bli genetiskt utarmad även om den är liten. En förutsättning är då att invandrarna kommer från en population eller metapopulation som är stor och har god genetisk variation.

Det är känt sedan tidigare att en del faktorer kan påverka så att det behövs lite fler invandrare eller så att det räcker med lite färre, men ”en invandrare per generation” har ändå setts som en bra tumregel när man inte har data som säger om det behövs lite fler eller lite färre.

**DE ANALYSER SOM** nu presenterats av Laikre, Olsson, Jansson, Hössjer och Ryman visar dock att hur mycket spridning som behövs i en metapopulation, för att inte de ingående populationerna ska bli genetiskt utarmade, beror på antalet populationer, populationernas storlek och hur de hänger ihop med varandra. Resultaten visar också att när man tar hänsyn till dessa faktorer, så kan det visa sig att det behövs flera gånger så mycket spridning

som ”en invandrare per generation”.

Det här har stor betydelse för vargstammen i Sverige. De flesta är överens om att det skulle vara svårt att hysa en långsiktigt livskraftig vargstam inom Sveriges gränser. För oss som vill att vargstammen ska få bli långsiktigt livskraftig är det därför viktigt att få klarhet i hur mycket invandring som då behövs.

**I FJOL LÄT NATURVÅRDSVERKET** ett antal forskare skriva underlag för en ny bedömning av vargens bevarandestatus, och de forskarna var eniga i en rekommendation enligt den generella tumregeln, det vill säga en ny invandrare per generation som sprider sina gener i populationen.

Från Svenska Rovdjursföreningens sida har vi kritiserat Naturvårdsverket för att de låtsas att vargen skulle ha gynnsam bevarandestatus, trots att invandringen varit mindre frekvent än så. Utifrån de resultat som Laikre och hennes forskarkollegor nu fått fram måste kravet ställas betydligt högre än en invandrare per generation – och därmed blir det också ännu tydligare hur otillräcklig invandringen av nya vargar till Skandinavien är.