

ARBETSRAPPORT 1224-2024

Betesskadorna

Vad händer i skogen?
Vad händer i statistiken?

Märtha Wallgren, Christer Kalén, Annika M. Felton, Oskar Franklin,
Emil Broman



Älgbetad ung tallskog vid Bodträsket, Kalix kommun, Norrbotten.



Innehållsförteckning

Förord	5
Summary	6
Sammanfattning	8
Inledning	10
Hur ska man minska betesskador på tall?.....	10
Statistiska modeller	10
Biologiska samband.....	10
Syfte och mål	11
Betning och betesskador	11
Födostrategi och selektivitet.....	11
Betesskador.....	12
Älgstammens uppskattning.....	14
Forskning	15
Vetenskapliga studier som förklarar variation i viltskador	15
Forskningens omsättning till förvaltning.....	17
Hur ska vi tolka statistiken?	18
Sammanfattning i punktform.....	18
Inledning	18
Variationsbredd och standardisering	18
Regressionsmodellens applicerbarhet.....	19
Matematiska beroenden.....	20
Andel kontra antal betesskadade tallar	21
Andra påverkansfaktorer	21
Hur vi närmar oss verkligheten	22
Förändringsanalys av älg, tall och skador	22
Sammanfattning i punktform.....	22
Inledning	22
Andel skadade tallar.....	25
Antal skadade tallar	26
Kombinerad effekt	27
En ekologisk-statistisk förklaringsmodell	28
Sammanfattning i punktform.....	28
Inledning	29
Resultat på nationell nivå.....	30
Resultat på läns- och ÄFO-nivå	33

Biologiska samband och påverkansfaktorer	35
Sammanfattning i punktform.....	35
Inledning	36
Anpassningsbar diet.....	36
Hur många tallar skadas per älg? Regionala skillnader.....	36
Äter älgar mer tall om det finns mer tall tillgänglig? Intag enligt vomanalys	37
Selektivitet för tall.....	38
Betesmönster på trädnivå.....	39
Olika sätt att beta en tall	39
Betesskador och sidoskottsbyte	39
BETTSIM – en modell av älgbyte.....	41
Andra kända och okända påverkansfaktorer	44
Övrigt foder.....	44
Andra hjortdjursarter.....	46
Väder.....	47
Markens bördighet	49
Geografiska strukturer.....	49
Sammanfattning relevanta påverkansfaktorer.....	49
Vad krävs för att nå fem procent betesskador?	50
Diskussion	51
Generella lärdomar för framtida studier	52
Experimentella studier och observationsdata	52
Tolkning av regressionsresultat	52
Antal eller andel betesskadade tallar?.....	52
Medvetenhet om mätvariablers skiftande ”kvalitet”	52
Index för bärris och andra födoslag.....	53
Fortsatt forskning.....	53
Vägledning för förvaltningen	54
Slutsatser	55
Referenser	56
Bilagor	59
Bilaga 1 – Översikt vetenskapliga studier	59
Bilaga 2 – Regressionsanalys.....	61
Bilaga 3 – Förändringar över tid.....	63

Bilaga 4 – Statistisk analys resultattabeller.....	68
Bilaga 5 – Modellanlys för alla län.....	70
Bilaga 6 – BETTSIM: en simuleringsmodell av älgbeta.....	72
Modellstruktur.....	72
Validering.....	73
Referenser.....	74



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts i november 2024 av Erik Ling, programchef Skogsskötsel, och Line Djupström, biträdande programchef, Skogsskötsel. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering i november 2024.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

En fråga som har diskuterats länge i Sverige är vad som reglerar mängden älgbetesskador på ung tall i produktionsskog. Med god kunskap om detta ökar möjligheterna att kunna arbeta målinriktat med åtgärder som syftar till att minska betesskadenivåerna. Frågan har också behandlats i ett flertal forskningsstudier, men tolkningarna av resultaten från dessa har ibland gått vitt isär, vilket också har haft inverkan på ställningstaganden inom myndighet och förvaltning. Den här rapporten utgör en genomlysning av problematiken från några statistiska och biologiska perspektiv. Syftet har varit att göra klagöranden som kan ge ett förbättrat beslutsstöd i framtiden.

Uppkomsten av detta arbete är en diskussion mellan författarna som också initierade uppdraget. Arbetet med rapporten har utförts under 2023–24, men är resultatet av en betydligt längre process. Finansiärer har varit Skogsstyrelsen, IIASA (International Institute of Applied Systems Analysis), Norges Forskningsråd (projekt TaigaClimate ID 326843), Skogforsk (Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut) och SLU (Sverige Lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap). Skogsbrukets nationella samverkansgrupp i viltfrågor bestående av LRF skogsägarna, Skogsindustrierna och Sveaskog bidrog initialt med ett startbidrag.

Summary

A current lively debate in Swedish moose management concerns the relationships between moose, pine, and browsing damage on pine. This discussion has arisen from interpretations of scientific studies, performed at various scales and with various aims, although the conclusions are not necessarily those expressed by the authors themselves. In 2024, the discussion gained new momentum after reports that, while the moose population has declined in many places, a proportional reduction in browsing damage has not yet been observed. This has had consequences for moose management because, at the same time, a view is gaining traction that the number of pine trees is more important than the number of moose in regulating the levels of browsing damage. Interpretations have emerged suggesting that the Moose Browsing Inventory (MBI, known as Äbin in Swedish) is unsuitable as a basis for management decisions. These perceptions have spread widely and are impacting moose management. A previous decline in the moose population in many parts of Sweden now reversed and, as a result of a decline in hunting effort and annual moose harvest, is now increasing.

In this report we highlight relationships between browsing damage and, moose and pine density, from both statistical and biological perspectives. We note that there is no support for the hypothesis that the most effective way to reduce browsing damage on pine is to increase the number of pine trees rather than reduce the number of moose for two main reasons. Firstly, in this report, with a larger amount of data than has been available previously and a different calculation model, we can show the opposite, i.e. that moose density has a greater relative impact on damage than pine density. The other reason is that the statistical effect in an analysis does not necessarily reflect which management implementations are most cost effective. Since “effective” is not defined, everyone applies their own definition.

An explanation as to why pine has previously been interpreted as having a greater effect on damage than moose density is that the scientific studies have often used standardised effects. At a statistical level, we note that while standardisation of data is an important and relevant tool in statistical analysis, interpretation becomes more complicated, because relative differences must be seen in the light of standard deviations in variables rather than a direct percentage-based comparison. Standard deviation differs greatly between moose density, which has little variation across the country’s moose management areas (MMA, in Swedish ÄFO), and pine density, which varies substantially. We also emphasise that caution must be applied when drawing conclusions about the relationship in individual areas on the basis of a statistical model representing an average of all of Sweden’s management areas taken together. The MMAs are expected to differ, in view of their many significant and also unique properties that impact the relationship between damage, moose, and pine.

We investigated the relationships between browsing damage, and moose and pine densities by using 718 observations of browsing damage from the MBI for all of Sweden’s MMAs in 2015-2024, with spatially matched estimates of moose densities. Overall, the results show that, since 2015, browsing damage has decreased as a result of reduction in moose density and an increase in the number of pines. We further analysed the data using a model based on ecological mechanisms that statistically quantifies the individual effects of moose and pine density on browsing damages, accounting for regional differences between MMAs.

The model explains 50 percent of the variation in browsing damage between the MMAs and between years. However, only a few counties show a significant relationship between damage and the two explanatory variables, moose density and pine density locally within the MMA. Our interpretation is that differences in moose and pine density are generally of great importance for the degree of browsing damage, but the magnitude of the effects varies between counties and MMAs as a result of other influencing factors, such as other deer species, climate, browsing history, site productivity, and other vegetation. Based on available data, we cannot use variation in moose and pine densities to reliably explain trends in damage over time in individual MMAs, largely because of the small number of observations (max 8 years per MMA) and uncertainties in observed pine and moose densities.

A central and important, but also highly complicated issue to address with available data is whether or not the relationship between browsing damage and moose density is proportional. If we reduce moose density by a certain percentage, and ensure that no other relevant factors change, will browsing damage fall by the same percentage? In the report, we discuss several different circumstances in moose biology and behaviour that can mean that the relationship is not proportional. One new insight we gained by using data from the MBI in combination with estimates of moose density is that the number of pines that each moose on average damages actually falls as moose density increases. This depends partly on the probability of a moose browsing pines that are already damaged (having browsed top shoots), which increases with the number of pines already browsed and the number of moose in the area. However, the number of damaged pines increases continuously as moose density increases, even if the increase is expected to tail off with greater moose density.

Working with data from the MBI and estimates of the moose population density enables us to form an understanding of the relationships from the top downwards in a geographical perspective: from all of Sweden, down to county level, and then to the MMAs. However, using this data, it is difficult to find statistically supported patterns at MMA level. In order to fill that knowledge gap, we have also addressed the issue from the bottom up, by examining how moose browsing on individual shoots is aggregated upwards, to trees, stands, and browsing on pine in an MMA. Skogforsk's long-term experiment, BETT, was started in 2012-2014 to examine, on a large scale and over a long time period, increment losses caused by ungulate browsing. The experiment has given us new knowledge about the effects of moose browsing, which has enabled the development of a mechanical simulation model called BETTSIM. This model shows that the relationship at stand level between moose utilization and browsing damage is largely linear. When we upscale the model to MMA level, a clear relationship remains but becomes less linear due to additional influencing factors.

More practical experiments are needed in different areas to improve understanding and to describe respective effects of moose and pine density on browsing damage and the influence of other factors. Furthermore, it is not just more data on spatial and inter-year variation in the MBI that is needed but we also need data for a larger interval of moose densities than today, as this would lead to more robust estimates of the moose effect and the influence of other factors.

The intention of moose management is that it should be supported by science-based knowledge. Because of doubtful interpretations of many earlier studies, a certain indecisiveness has emerged in moose management circles, where for example the effect of reducing moose density on browsing damage has been questioned. We hope that the results in this report show that the principal measures aiming to reduce browsing damage can address both the number of animals and the amount of food. However, this does not imply that they are equally straightforward, feasible in terms of time, or comparable in terms of socio-economic cost. Authorities have an important role to play in guiding moose management, which also involves working with researchers and representatives for forest owners and hunters to compile science-based knowledge.

Sammanfattning

Inom svensk älgförvaltning pågår en livlig diskussion om sambandet mellan älg, tall och betesskador på tall. Diskussionen har till stor del sin grund i tolkningar och slutsatser från vetenskapliga studier, som utförts på olika skalor och med olika syften. Dessa slutsatser har inte nödvändigtvis uttryckts av författarna själva. Diskussionen har under 2024 fått ny fart i samband med rapportering om att älgstammen minskat på många platser, men där en proportionell minskning i betesskador ännu inte har påvisats. Detta har fått konsekvenser för förvaltningen, eftersom det samtidigt har spridits en uppfattning om att mängden tall är viktigare än mängden älg för att reglera nivåerna av betesskador och sedermera att Älgbetesinventeringen (Äbin) inte kan användas som underlag inom älgförvaltningen. Dessa uppfattningar har fått stor spridning och därmed också stor inverkan på älgförvaltningen. En tidigare minskning av älgstammen bedöms nu ha avstannat, och istället har stammen vänt uppåt till följd av att avskjutningen har minskat avsevärt i många områden i Sverige.

I föreliggande rapport belyser vi samband mellan betesskador, älg- och talltätthet både från statistisk och biologisk synvinkel. Vi konstaterar att det saknas stöd för tesen att det mest effektiva sättet att i ett område minska betesskador på tall är att öka antalet tallar snarare än att minska antalet älgar. Denna slutsats vilar primärt på två skäl. Först och främst kan vi i denna rapport, med ett större dataunderlag än vad man haft tillgång till tidigare och en annan beräkningsmodell, visa motsatta resultat, det vill säga att älgtätheten har större relativ inverkan på skador än talltätthet. Det andra skälet är att den statistiska "effekten" i en analys inte nödvändigtvis reflekterar vad som är samhällsekonomiskt. Eftersom begreppet "effektivt" inte är definierat då det använts i diskussionen är det upp till var och en att tillämpa sin egen definition.

En förklaring till att talltätthet tidigare har tolkats ge en större effekt på skadorna än älgtäthet är att standardiserade effekter ofta har använts i de vetenskapliga studierna. Standardisering av data är visserligen ett viktigt och relevant redskap vid statistisk analys, men samtidigt kompliceras tolkning eftersom relativa skillnader måste ses i ljuset av variabelers standardavvikelser och inte som en direkt procentuell jämförelse. Standardavvikelsen skiljer sig mycket åt mellan älgtäthet, som har en förhållandevis låg variation över landets älgförvaltningsområden, och talltätthet som däremot varierar starkt. Vi understryker också i rapporten att man måste vara försiktig med att dra slutsatser om samband inom enskilda områden utifrån en statistisk modell som är anpassad för alla Sveriges förvaltningsområden sammantaget. Områden förväntas skilja sig i sammansättning av flera betydelsefulla och unika egenskaper som i sin tur har en inverkan på relationen mellan skador, älgar och tall.

För att belysa relationerna mellan betesskador, älg- och talltätthet har vi använt 718 observationer av betesskador från Äbin för alla Sveriges älgförvaltningsområden (ÄFO) under åren 2015–2024, med rumsligt matchade uppskattningar av älgtätheter. Övergripande visar resultaten att det sedan 2015 har skett förändringar mot minskade betesskador som en följd av en minskning i älgtäthet och en ökning av mängden tall. Dessutom analyserade vi datat med en modell som baseras på ekologiska mekanismer, som användes för att statistiskt uppskatta hur betet påverkas av älg- och talltätthet samt regionala skillnader mellan ÄFO:n. Modellen förklarar 50 procent av variationen i betesskador mellan älgförvaltningsområden och år. Resterande del av variationen kan åtminstone delvis förklaras av att förvaltningsområdena skiljer sig åt i ett flertal andra påverkansfaktorer som har betydelse för andelen betesskador. Endast ett fåtal län påvisar ett signifikant samband mellan skador och de två förklarande variabelerna älgtäthet och talltätthet på lokal nivå. Vår tolkning är att skillnader i älg- och talltätthet generellt har en stor betydelse för betesskadorna, men att effekternas storlek varierar mellan län och ÄFO:n som ett resultat av andra påverkansfaktorer, som andra hjortdjur, klimat, beteshistorik, bördighet och annan vegetation. Baserat på variation i älg- och talltätthet kan vi inte tillförlitligt förklara utvecklingen av skador över tid i enskilda ÄFO:n, vilket till stor del beror på det låga antalet observationer (max åtta år per ÄFO) och osäkerheter i observerade tall- och älgtätheter.

En central och viktig men också mycket komplicerad fråga att besvara med tillgängliga data, är om sambandet mellan betesskador och älgtäthet är proportionellt eller inte. Om vi minskar älgtätheten med ett visst antal procent och inga andra relevanta faktorer förändras, kommer då betesskadorna att minska procentuellt lika mycket? I rapporten diskuterar vi flera olika omständigheter i älgarnas biologi och beteende som kan göra att sambandet inte är proportionellt. En insikt vi fått genom att använda data från Äbin i kombination med älgtäthetsuppskattningar är att antalet tallar som varje älg i genomsnitt skadar faktiskt minskar med en ökande älgtäthet. Det beror delvis på att sannolikheten att en älg betar på en tall som redan är skadad (genom att toppskottet är betat) ökar ju fler älgar som finns i området. En redan skadad tall kan nämligen fortfarande betas på sidoskotten. Totalt sett ökar dock antalet skadade tallar kontinuerligt i takt med att älgtätheten ökar, även om ökningstakten förväntas avta med högre älgtäthet.

Genom att arbeta med data från Äbin och uppskattning av älgpopulationernas täthet bidrar vi till en ökad förståelse för relationerna uppifrån-och-ner från en geografisk skaleffekt: från hela Sverige, till län och därefter ÄFO. Som beskrivet ovan är det dock svårt att med dessa data finna statistiskt underbyggda mönster på ÄFO-nivå. För att fylla den kunskapsluckan har vi i rapporten även angripit problemet nerifrån-och-upp, genom att titta på hur älgens bete på enskilda skott aggregeras upp till träd, bestånd och bete på tall inom ett förvaltningsområde. Skogforsks långliggande försök, BETT, startades 2012–2014 för att storskaligt och långsiktigt undersöka tillväxtförluster orsakade av klövviltsbete. Genom försöket har vi fått ny kunskap om älgbetets effekter, vilket har möjliggjort utvecklingen av en mekanistisk simuleringsmodell som vi kallar BETTSIM. BETTSIM visar att det finns ett i stort sett linjärt samband på beståndsnivå mellan total andel betade skott (betesutnyttjande) och andel betade toppskott. När vi skalar upp modellen till områdesnivå kvarstår ett tydligt samband, även om sambandet blir mindre linjärt. För att bättre förstå och beskriva dessa samband och påverkan från andra faktorer behövs fler praktiska försök inom olika områden.

För att få fram statistiskt säkrare uppskattningar av den effekt älg- respektive talltäthet har på betesskador behövs inte bara mer data för rumslig och mellanårsvariation i Äbin. Vi behöver också data inom ett större intervall av älgtätheter än vi har idag, eftersom detta gör det lättare att statistiskt skatta älgeffekten trots inflytandet av andra påverkansfaktorer.

Älgförvaltningen är tänkt att vila på vetenskapligt grundad kunskap. På grund av tveksamma tolkningar av flera tidigare studier har en obeslutsamhet infunnit sig inom älgförvaltningen, där bland annat effekten på betesskador av att minska älgtätheten har ifrågasatts. Vi hoppas att resultaten i denna rapport tydliggör att de huvudsakliga åtgärderna för att minska betesskador kan fokusera på både antalet djur och mängden foder. I stort sett är det två likvärdiga sätt att reglera skadorna, därmed inte sagt att de är lika enkla, tidsmässigt möjliga eller samhällsekonomiskt jämförbara. Myndigheter har en viktig roll att vägleda förvaltningen, vilket även innefattar att i samråd med exempelvis forskare och representanter för markägare och jägare sammanställa forskningsbaserad kunskap.

Inledning

Hur ska man minska betesskador på tall?

Frågan hur betesskador ska minskas har diskuterats i Sverige i decennier. I Prop 2021/22 skriver regeringen att en tydlig minskning av klövviltpopulationerna utifrån lokala och regionala förhållanden bör ske i närtid samtidigt som skogsskötseln anpassas för ökade fodermängder. Även om målbilden hos olika intressentgrupper ofta är gemensam och okontroversiell – man vill ha tolerabla betesskadenivåer på tall – råder skilda uppfattningar beträffande vägen dit. Det finns i grunden en intressekonflikt mellan skogsproduktion och viltproduktion som innebär kompromisser eller eftergifter och det är dessa som oftast diskuteras och vägs mot varandra. Som regel saknas dock gemensamma relevanta mätskalor såsom kronor eller kubikmeter som underlag, vilket försvårar möjligheterna till ett objektivt förhållningssätt. I stället har diskussionen kommit att värdera olika intressen och föreslagna åtgärder mot varandra, deras olika egenskaper till trots. Ett sätt som har tillämpats är att statistiskt analysera variation i nivå av betesskador för att kunna dra slutsatser om de omständigheter som påverkar dem.

Av våra fyra olika hjortdjur står älg för det mesta av betet på ung tall i Sverige. I studier där man statistiskt har försökt väga betydelsen av mängden älgar och mängden tallar för att förklara nivån av betesskador på tall är det generella resultatet att betesskadorna förklaras mer av variation i antalet tallar än av variation i antalet älgar. Detta har föranlett en debatt i Sverige där man argumenterar för att viltskador i första hand ska stävjas genom att öka tallförekomst snarare än minska älgtätheten. Faktum kvarstår dock, att såväl älgar som tallar måste finnas för att ge upphov till älgbetesskadade tallar. Hur ska man då förhålla sig till resultat som antyder att tallar förklarar mer än älgar av variationen i betesskador? Detta är huvudfrågan som vi avser att svara på i denna rapport.

Statistiska modeller

I grunden består problematiken av ett komplext biologiskt system som vi vill styra mot ett specifikt tillstånd, nämligen uppsatta målnivåer för betesskador på tall, med vägledning av numeriska och statistiska analyser av systemet. De underliggande samband som finns mellan mängd älg, mängd tall och mängd betesskador på tall kan vara av både biologisk och statistisk karaktär. Om vi hypotetiskt sett skulle förmå att identifiera och analysera alla samband i deras rätta sammanhang, på ett exakt och felfritt sätt, skulle vi kunna beskriva världen mycket sanningsenligt. I verkligheten råder dock stora begränsningar gällande kunskapen om hur komplexa interaktioner styr biologiska skeenden samt om förhållandet mellan dessa skeenden och vår numeriska beskrivning av dem. Sammantaget får det konsekvensen att vi behöver använda oss av förenklade modeller av verkligheten och att dessa inte är felfria.

Statistik kan ses som just matematiska modeller av den verkliga världen, där modellerna byggs upp av variabler (någonting som kan ändras). Vissa variabler går att mäta enkelt och med hög exakthet. Dit hör till exempel avstånd i cm från en eks stam till centrum av en ruta inom vilken antalet ekollon räknas. Andra variabler är svårare. Vi kan mäta höjd och räkna antal träd i ungskog, men om det är mängden älgfoder i kg som vi är ute efter att skatta motsvarar sådana data endast ett ungefärligt mått. Eftersom det är en mycket snabbare metod att räkna antal stammar och mäta höjder än att klippa ner all ätbar skottbiomassa och väga den, nöjer vi oss ofta med det förstnämnda alternativet, men vi ska ha klart för oss att statistiken som genereras då är en mer oprecis återgivning av verklig mängd foder. Dessa är bara exempel och vi återkommer till hur det förhåller sig med variabeln betesskadad tall.

Biologiska samband

Variabler samvarierar ofta, vilket kan bero på att det finns reella samband mellan dem, men det kan också bero på slumpen. Ofta förväntar vi oss linjära samband i alla möjliga sammanhang, till exempel

ju snabbare vi springer desto högre blir pulsen. Men avtagande samband är också vanliga, till exempel blir man knappast dubbelt så nöjd av att äta två chokladkakor jämfört med en, och dessa kallas kurvlinjära eller helt enkelt icke-linjära. I biologiska system förekommer både linjära och icke-linjära samband, samt en mängd samband av annan karaktär. Ett exempel på ett linjärt samband är att antalet ekollon i en ruta minskar ju längre avståndet är från ekens stam. Ett icke-linjärt förhållande kan illustreras genom att antalet blomarter som man hittar i en inventeringsyta först ökar snabbt med ytans storlek, men planar ut mer och mer eftersom man kommer närmare och närmare att faktiskt ha hittat alla blomarter som finns i hela studieområdet. Ickelinjära samband uppstår ofta genom att två linjära samband påverkar samma variabel. Exempelvis ökar pulsen både med den hastighet som vi springer i, och om vi springer i uppförslänt. Om både hastighet och lutning samverkar kan effekterna leda till att pulsen ökar icke-linjärt, det vill säga snabbare än vad som orsakas av hastighet och lutning var för sig.

Hur det förhåller sig för betande växtätare och deras foderresurs är komplicerat. Vegetationens sammansättning, mängden djur, landskapets struktur samt klimat är exempel på variabler som påverkar betandet, ofta i samverkande eller motverkande manér, och det är i regel svårt att reda ut orsakssamband. Särskilt svårt är det om vi tittar på ett fåtal variabler och genom ett litet "fönster" i tid eller rum. Experiment där man kan analysera en variabel i taget (och hålla övriga variabler konstanta) är enklare att dra slutsatser från, men är ofta inget alternativ när det kommer till frilevande populationer i större geografiska sammanhang. Det viktiga är dock att komma ihåg att en observerad avsaknad av en förväntad effekt inte behöver betyda att sambandet inte existerar. Det kan vara så att effekten överskuggas av andra samband eller omständigheter utifrån den metodik som vi tillämpar, men att effekten skulle framträda om vi ändrade i delar av vårt angreppssätt.

Syfte och mål

Syftet med denna rapport är att analysera och beskriva resultat och tolkningar som rör sambanden mellan betesskada på tall och de variabler som bidrar till att förklara dess variation. Primärt förklaras variationen av de två faktorerna älg och tall, men i rapporten berörs även andra viktiga faktorer som kan medverka till variationen och göra tolkningen av data svårare. Kärnfrågan initialt var om det finns stöd för tesen att det är en bättre eller mer effektiv strategi att öka mängden tall än att minska antalet älgar för att minska betesskadorna på tall. Under arbetets gång har även andra frågor inkluderats.

Målet är att rapporten kan läsas och förstås med god behållning av alla som på ett eller annat sätt är involverade i den operativa älgförvaltningen. Rapporten ska ses som en pusselbit i uppbyggnaden av en kunskapsbaserad viltförvaltning.

Först görs en översikt av betning och betesskador samt en genomgång av ett antal centrala forskningsrapporter. Därefter följer ett antal avsnitt eller kapitel som belyser frågeställningarna ovan från olika aspekter. Varje sådant avsnitt inleds med sammanfattande punkter.

Betning och betesskador

Födostrategi och selektivitet

Syftet med att äta är att få i sig näring och energi för att upprätthålla kroppens funktioner, lagra energi inför framtiden, ge mat till ungar eller växa och bli större. Olika hypoteser har under årens lopp lagts fram om vilka näringsmässiga faktorer som förklarar hjortdjurens val av föda. Tongivande hypoteser inkluderar: 1) maximering av energiintag, 2) maximering av proteinintag, 3) minimering av fiberintag,

4) undvikande av växters försvarskemikalier och 5) balansering av flera olika näringsämnen och försvarskemikalier på samma gång. En litteraturgenomgång av forskningsresultat för samtliga hjortdjursarter i norra hemisfären fann svagt stöd för de hypoteser som fokuserar på maximering eller begränsning av någon av de enskilda faktorerna (Felton m.fl. 2018). I stället kan det vara så att hjortdjur (där älg ingår) strävar efter att hålla en diet som är varierad och näringsmässigt balanserad (Felton m.fl. 2018). Älgar verkar undvika att få i sig för mycket eller för lite av de olika näringsämnena på samma gång, och försöker i stället välja föda på ett sådant sätt att det blir rätt proportioner i vommen mellan protein och lättsmälta kolhydrater, det vill säga socker och stärkelse (Felton m.fl. 2021, Spitzer m.fl. 2023). Till skillnad från oss människor kan älgar, som är idisslare, även dra nytta av växtfibrer (de strukturella kolhydraterna cellulosa och hemicellulosa), eftersom mikroberna i vommen hjälper dem att smälta fibrerna och omvandla dem till energi.

I praktiken verkar älgar föredra en blandad diet med avseende på olika födoslag. Vissa växter verkar ha ett näringsinnehåll som är perfekt för älgan, i det att näringsammansättningen matchar älgens mål. Exempel på sådant foder är sälgens kvistar (Felton m.fl. 2016, Spitzer m.fl. 2023). Men även om säl inte finns tillgänglig för älgarna kan de nå samma balans mellan protein och lättsmälta kolhydrater genom att blanda tall och blåbärsris, eftersom dessa växter innehållsmässigt kompletterar varandra.

Tall är en viktig födokälla för älgar i Sverige, inte minst under vinterhalvåret, då merparten av betesskadorna uppstår i våra tallungskogar. Under vinterhalvåret kan andelen tall i älgarnas kost vara så hög som 90 procent. Detta har uppmätts genom analys av spillning hos älgstammar i Norrlands inland (Spitzer m.fl. 2023). Men de svenska älgarna äter mer än bara tall, även under det långa vinterhalvåret, och variationen mellan olika områden kan vara väldigt stor. I fjälltrakterna i Norrland spelade tallen bara en liten roll i vinterdieten (8 procent), medan vid kusten söder om Umeå representerade tallen omkring 50 procent (Spitzer m.fl. 2023). En studie av variationen i älgars vomminnehåll mellan olika älgförvaltningsområden (ÄFO:n) i Götaland och södra Svealand fann att andelen tall i älgarnas vinterdiet varierade mellan 15–42 procent av torrmassan (Felton m.fl. 2020).

Älgar föredrar vissa växter framför andra om de får chans att välja. Alla vilda djur är fria att välja bland olika födoämnen, men valfriheten påverkas förstas av vad som finns tillgängligt och i vilken mängd. Man får en uppfattning om vad djuren föredrar att äta genom att jämföra utnyttjandet av olika födoslag med deras förekomst i djurens hemområden. Kvoten mellan den andel de äter och den andel som finns tillgänglig blir därmed ett mått på ”selektivitet”, ett viktigt begrepp som kommer att återkomma flera gånger i den här rapporten. Studier av det slaget i Sverige har visat att älgar äter mycket mer av vissa lövträd (rönn, asp, sälk och ek: ”RASE”) än förväntat baserat på deras tillgång i landskapet (till exempel Månsson m.fl. 2007b). Andelen RASE i älgens diet kan vara låg, men eftersom tillgången på träden i landskapet kan vara jämförelsevis ännu lägre, rankas de ofta högt på älgens lista av föredragna (selektade) födoämnen. Jämfört med flera andra lövträd betas tall ofta i lägre utsträckning. Dock inte lika lågt som granskott, som på de flesta platser betas i mycket lägre utsträckning. Tall är trots det en viktig stapelföda som äts i stora mängder och under stor del av året. Det låga betet på gran har fått effekten att detta trädslag ofta utesluts då man pratar om de födoslag som älgan äter. Utöver dessa trädfoderarter har fältskiktsarter, framför allt olika bärrisarter, stor betydelse som foder. Hur älgan väljer och prioriterar mellan träd och arter i fältskiktet vet vi inte så mycket om, men mot bakgrund av att blåbärsris konsumeras i betydande mängder över en stor del av året, verkar det vara ett foder som är lika eller mer begärligt än tall. Delar av året kan dock snön förhindra att älgan äter av markvegetationen.

Betesskador

Tall uppvisar arttypiskt ett strukturerat växtsätt, med ett dominerande upprättväxande toppskott samt sidoskott som växer ut åt sidorna och bildar grenar. Om toppskottet på en tall skadas eller dör är trädets strategi att ersätta det med ett sidoskott som vänder uppåt, företrädesvis ett som är oskadat och högt placerat i relation till toppskottet vid skadetillfället. Resultatet blir då efter något år en förändring av tallens stamstruktur, ofta i form av en böj på stamaxeln och en sprötkvist (se Figur 1, där

den högra tallen har en gammal betesskada medan den vänstra inte har motsvarande). Det är inte så ovanligt att två sidokott i stället börjar tävla om att bli nytt toppskott med resultatet att tallen utvecklar en dubbelstam. Den betesskadade stammens utseende ändras under tiden som trädet växer sig större och sannolikt kommer den högra tallens stam att räta ut sig och sprötkvisten växa in i stammen, så att skadan blir svårare att upptäcka med tiden. Inne i veden förblir dock skadan permanent i form av böjda fibrer och långt grenmärke, egenskaper som gör den olämplig som framtida sågtimmer och sänker dess ekonomiska värde.

På sidokotten sitter merparten av tallens sammanlagda gröna barrbiomassa som bidrar till trädets tillväxt genom fotosyntes. Förlust av sidokott medför i regel inga effekter på stamstrukturen, men minskar trädets "motor" för tillväxt eftersom fotosyntesen sker i barren. I Äbin registreras inte sidokottsbyte, utan endast betesskador som påverkar stamaxeln. Dit hör ovan beskrivna toppskottsbyte, men även stambrott och barknag, samt fejning. Av dessa skadetyper utgör toppskottsbyte den absoluta merparten (~ 90 procent) så länge som tallen befinner sig inom beteshöjd, det vill säga upp till cirka 2,5 m höjd (Wallgren 2023).



Figur 1. Betesskadad tall till höger och oskadad tall till vänster. Betesskadan har bestått i ett bortbetat toppskott (gul pil), vilket tallen har kompenserat för genom att ett lägre sittande sidokott har böjts uppåt och bildat en ny stamaxel. Stammen har nu en böj och en sprötkvist, egenskaper som försämrar kvaliteten på stammen. Bägge tallarna har betade sidokott, men enligt Äbin (nationell betesskadeinventering) räknas endast betesskador på stamaxeln, det vill säga den högra har en betesskada enligt Äbins kriterier (i det här fallet en "gammal skada"), men inte den vänstra.

När vi i denna rapport nämner betesskada som andel eller antal betesskadade tallar syftar vi på skador som har uppkommit under det senaste året (det som i Äbin benämns "årsskada") och inte äldre skador som har ackumulerats under flera år (det som i Äbin benämns "gammal skada").

Insamling av data avseende betesskador sker inom landets älgförvaltningsområden årligen genom att placera ut ett antal rutor i landskapet helt slumpmässigt. Inom dessa rutor, som är en kvadratkilometer stora, söks ungsogor fram som är 1–4 meter i medelhöjd. I dessa ungsogor registrerar man skador på tall i ett antal provytor. Uppgifter om hur mycket tall det finns och hur stor andel av dem som är skadade räknas fram via Äbin och har sitt ursprung från samma provyta. Till skillnad från hur vi mäter älgförekomst är alltså tallförekomst och betesskador på tall sammankopplade, vilket man bör ta hänsyn till då man tolkar analysresultat där dessa båda ingår.

I den här rapporten avser både mängd tillgänglig tall och skadad tall så kallade Äbin-tallar, det vill säga tallar som har registrerats i Äbin. Om man vill ha närmare beskrivning av metodiken kan man hitta aktuella instruktioner för lottning, planläggning och fältinventering hos Skogsstyrelsen (www.skogsstyrelsen.se/abin).

Älgstammens uppskattning

När man vill undersöka inflytandet av älg på betesskador kan olika mått användas. Med avskjutningsstatistik kan vi gå långt tillbaka i tiden (nästan 100 år) eftersom det finns samlat i Sverige med hög tillförlitlighet och relativt hög upplösning. I ett kort perspektiv är avskjutning inte ett bra mått på älgtäthet, men i ett längre perspektiv (~ tio år och mer) kan avskjutningsstatistiken användas som trendmått för hur älgstammen har förändrats över tid.

Den näst längsta tidsserien med god täckning är metoden som bygger på älgobservationer, den så kallade Älgobs, där rikstäckande data finns från 1985 (Ericsson & Kindberg 2011). Älgobs samlas in av jägare i samband med jakten och kan användas som ett trendmått för älgstammens utveckling. Älgobs per mantimme kan på ett bättre sätt än avskjutningsstatistik fånga upp en förändring av älgtäthet under hösten. Det krävs dock ett visst antal timmar (> 5000) för att statistiken ska anses användbar i operativt hänseende. En viktig aspekt av Älgobs är att den inte direkt kan översättas till älgtäthet. Det beror på att antal observerade älgar per mantimme kan innebära en täthet i ett område och en annan täthet i ett annat område (Ericsson & Wallin 1999). Även om det inte är helt klarlagt om den relativa förändringen kan jämföras mellan områden är det ofta så den används.

Ett sätt att beräkna älgtäthet är att mäta älgspillning systematiskt i provytor. Det görs årligen på många platser i Sverige, men det finns idag ingen rikstäckande statistik. Det är därför endast användbara data för älgstamsberäkningar inom specifika områden. Om provytorna lagts ut på ett sätt som representerar älgens biotop kan man beräkna täthet via defekationshastighet, det vill säga hur många spillningshögar en älg lämnar efter sig per dygn. Registrering av spillning har på försök förekommit i Äbin. Eftersom Äbin endast förlägger provytor i ungsogor kan man inte ta fram generell älgtäthet via dessa data. Däremot kan man beräkna hur många älgdagar som spenderats i ungsogor det senaste året.

På senare tid har avancerade datormodeller alltmer börjat användas i Sverige för att beräkna älgtäthet (Kalén m.fl. 2022, Kalén 2018, Widemo m.fl. 2022, Widemo & Leonardsson 2024). Gemensamt för dessa (Helge och LST-MOOSE) är att Älgobs utnyttjas i kombination med en populationsmodell för att skatta en sannolik utveckling av älgtätheten. Variationen av värden mellan år i dessa modellberäkningar är väsentligt lägre än till exempel den variation som finns i Älgobs. Sådana data är inte direkt jämförbara med data från en stickprovsinventering.

Naturvårdsverket har nyligen inlett en officiell redovisning av älgtätheten via LST-MOOSE som visar att älgstammen nu planat ut och börjar vända uppåt (Widemo & Leonardsson 2024). Länsstyrelsens älgportal redovisar statistik över jägarnas egna älgobservationer. Här kan vi utläsa att vändningen kom förra året och fortsätter även i år, jaktsäsongen 2024/25.

Oavsett vilken metod som används för att skatta älgtätheten, ingår alltid något mått av osäkerhet. Olika felkällor såsom den mänskliga faktorn eller slumpens betydelse gällande platsen där data samlas in påverkar hur väl data representerar verkligheten. I biologiska inventeringar har man regelmässigt flera felkällor som både kan samverka och motverka varandra, så det är svårt att med hög precision veta hur rätt eller fel man hamnar i sin skattning inom ett visst område (till exempel ÄFO). Ibland

visar efterkommande skattningar av populationstäthet att man måste ha haft fel gällande tidigare skattningar, det vill säga svaret kommer i efterhand.

I denna rapport har vi, om inget annat anges, använt oss av älgstätheter framräknade med LST-MOOSE, eftersom dessa används som underlag i planeringen av den praktiska älgförvaltningen.

Forskning

Vetenskapliga studier som förklarar variation i viltskador

Ett flertal studier utförda i Sverige har haft som syfte att förklara vilka faktorer som påverkar variationen av betesskadornas nivå i tallungskogar. Hur resultaten av dessa studier har kommit att tolkas ligger till grund för den frågeställning vi har i denna rapport, nämligen huruvida det finns stöd för att det är mer effektivt att öka mängden tall än att minska antalet älgar för att nå en lägre betesskadenivå på tall. I detta avsnitt ska vi beskriva några av dessa studier, deras resultat och hur resultaten har beskrivits av forskarna själva. I nästa avsnitt beskriver vi hur resultaten i sin tur har tolkats inom förvaltningen.

Vi fokuserar i detta avsnitt på de svenska studier som har kvantifierat betesskador på tall på motsvarande sätt som görs idag i Äbin, det vill säga med fokus på betesskada på huvudstammen, oftast via toppskottsbyte som skett främst under vinterhalvåret. Notera att detta inte är en fullständig litteraturundersökning, utan en beskrivning av några studier som ofta citeras i detta sammanhang (Bilaga 1): Andrén & Angelstam (1993), Bergqvist m.fl. (2014), Felton m.fl. (2022), Pfeffer m.fl. (2021) och Pfeffer m.fl. (2022). Ingen av dessa studier var kontrollerade experiment utan baserades på inventeringar utförda i ett antal olika områden under en viss begränsad tidsperiod, till exempel en vinter (ingen av studierna hade en längre tidsserie av data). Alla utom Pfeffer m.fl. (2022) använde sig av någon typ av linjär multipel regression för direkta effekter, för att identifiera vilka faktorer som förklarar variationen i betesskador. I Bilaga 2 finns en beskrivning av regressionsmetoden och övriga statistiska begrepp.

Låt oss först titta på deras resultat. Samtliga av dessa fyra studier har använt sig av "andel betesskadade tallar" som responsvariabel, även kallad beroende variabel (en variabel som beror på tillståndet i en eller flera andra variabler). Om en studie har inkluderat flera olika årstider eller skadetyper, fokuserar vi här främst på analyser av vinterskadade tallar och toppskottsbyte. Flera av studierna använder "transformerade" data och det begreppet återkommer vi till på sidan 19.

- Andrén & Angelstam (1993) studerade betesskadade tallar i 36 ungskogsbestånd belägna i Vilhelmina och Grimsö (syftet med studien var att identifiera potentiella effekter av beståndsstorlek och form på skadornas omfattning). De försökte förklara variationen i andel betesskadade tallar med data på täthet av tillgängliga tallar, täthet av spillningshögar av älg, samt procent täckning av andra foderträd (björk, asp, rönn, gran och en). Ingen information finns om standardisering av variablerna.

Deras slutmodeller för toppskottsbyte förklarade 34 procent och 22 procent av variationen i betesskador (Vilhelmina respektive Grimsö). De signifikanta variablerna i dessa modeller var talltäthet (båda lokaler) och täckning av lövträd (enbart norra lokalen). Ju fler tallar desto lägre andel skadade tallar. Tätheten av spillningshögar var inte en signifikant variabel. Eftersom talltäthet var återkommande i modellerna för båda lokalerna drog de slutsatsen att talltäthet var den viktigaste variabeln för att förklara variation i andel toppskottsbetade tallar. De fann stöd för den tolkningen i en korrelationsmatris som visar att talltäthet korrelerar starkt (negativt) inte bara med toppskottsbyte utan även med betetryck på tall (andel av tallens samtliga skott som betats) och barkskalning. Författarna resonerar i sin diskussion att ökad talltäthet bör minska skadorna på tall. Tätheten av spillningshögar var dock signifikant (positiv) i modellen om betetryck.

Författarna nämner därför i diskussionen att även färre älgar kommer att minska betesskador på tall.

- Bergqvist m.fl. (2014) studerade skadade tallar i 450 ungskogsbestånd belägna i fem län (Uppsala, Stockholm, Södermanland, Östergötland och Kalmar). De försökte förklara variationen i andel betesskadade tallar med data på procent täckning av tallar, täthet av spillningshögar av älg, samt procent täckning av andra foderträd (björk, rönn, asp och *Salix* (sälg, vide, pil)) och beståndets produktivitet (SI). Variablerna log-transformerades [$\log_{10}(n + 1)$]. För att jämföra variablernas relativa vikt ('importance') inom modellen räknade man ut "Akaike relative weight" och normaliserade dessa värden för varje variabel (så att summan av dem blev 1 för varje modell). Även icke-signifikanta variabler inkluderades i denna summa. De tolkade sedan dessa värden, inte variablernas respektive effekt (koefficient).

Deras slutmodell förklarade 19 procent av variationen i betesskador på tall. Denna modell inkluderade tre signifikanta variabler: talltäthet (negativt samband), täthet av spillningshögar (positivt samband) och beståndets produktivitet (positivt samband). Den redovisade koefficienten var -0.46 för talltäthet och 1.068 för tätheten av spillningshögar: alltså högre redovisad koefficient av älg än av tall. Akaike relative weight visade att talltätheten stod för 44 procent av modellens förklarade variation, vilket var mer än någon annan variabel. Den motsvarande siffran för spillningstäthet omnämns inte i texten, men ser i figuren ut att vara kring 25 procent. Författarna resonerar i sin diskussion att tillgången på tall var den viktigaste faktorn som förklarade variationen i betesskador, men att spillningstätheten av älg också var signifikant. Därtill skriver de att, enligt deras resultat, kan en ökning av antalet tallar/hektar vara ett mer effektivt sätt att reducera andelen betesskador jämfört med att reducera älgpopulationen (trots att den statistiska effekten var högre av älg än av tall).

- Felton m.fl. (2022) studerade betesskadade tallar i 112 ungskogsbestånd belägna i fem ÄFOn i Götaland och ett ÄFO södra Svealand (syftet med studien var att titta på detaljer i foderlandskapet och utröna hur tillgången på olika fodertyper påverkar variationen i betesskador). De försökte förklara variationen i andel betesskadade tallar med data på täthet av tillgängliga tallar, täthet av spillningshögar av älg och hjort (rådjur, kronhjort och dovhjort), täthet av björk och RASE i omliggande landskap, samt markanvändning i omliggande landskap. Variablerna standardiserades med z-score-transformation.

Förklaringsgraden av slutmodellen rapporterades inte. Modellen inkluderade fyra signifikanta variabler: talltäthet (negativ), täthet av älgspillningshögar (positiv), täthet av RASE (negativ) och andel av landskapet som var öppen mark (positiv). Den redovisade koefficienten var -0.57 för talltäthet och 0.27 för tätheten av älgspillningshögar. Författarna använde inte effekten i sin tolkning i diskussionen utan gav alla variabler lika stor vikt, eftersom alla fyra var signifikanta.

- Pfeffer m.fl. (2021) studerade betesskadade tallar i ungskogar belägna i 148 ÄFOn utspridda över hela Sverige. De försökte förklara variationen i andel betesskadade tallar (Äbin-data) med data på täthet av tillgängliga tallar, Älgobs (antal älgar observerade per mantimme under första veckan av älgjakt) och antal skjutna hjorddjur/ha (älg, rådjur, kronhjort och dovhjort), samt täthet av björk, andel foderproducerande ungskogsareal i landskapet, och vinterns stränghet gällande temperatur och snödjup. Variablerna standardiserades med z-score-transformation.

Förklaringsgraden av slutmodellen för vinterskador var 27 procent för hela Sverige, 21 procent för Norrland, 42 procent för Götaland och bara 8 procent för Svealand. Modellen för hela Sverige inkluderade fyra signifikanta variabler (med den redovisade koefficienten i parentes): talltäthet (-0,23), antal skjutna rådjur/ha (0,25), andel dagar med mer än 30 cm snö (0,14) och andel foderproducerande ungskogsareal i landskapet (0,09). Modellen för Norrland inkluderade tre signifikanta variabler: talltäthet (-0,26), Älgobs (0,25) och andel dagar med mer än 30 cm snö (0,11). Modellen för Götaland inkluderade tre signifikanta variabler: talltäthet (-0,26), antal skjutna rådjur/ha (0,35) och antal skjutna kronhjortar/ha (0,17). Författarna lyfte i sin diskussion att högre Älgobs var relaterat till högre skadenivåer i Norrland, men att det saknades en relation mellan

älgtäthet och betesskador i södra Sverige. Vidare skriver de att talltäthet, en proxy för fodertillgång, var en lika viktig eller viktigare avgörande faktor för betesskador som tätheten av hjortdjur i de flesta regionerna.

Vi kan summera att de fyra studier som använt linjär multipel regression för att analysera samband mellan betesskador på tall och olika förklarande variabler, på ett jämförbart sätt, har i tre av fyra fall i sina modeller funnit en större effekt av talltäthet än det index de använt för älgarnas täthet eller habitatutnyttjande. I vissa fall har älgvariabeln inte ens varit signifikant. I en uppföljande studie av Pfeffer m.fl. (2022) använde sig forskarna av path analysis, som är ett annorlunda angreppssätt än de fyra studier som beskrivs ovan. Path analysis är en statistisk metod som kopplar samman flera regressionsmodeller och används därför för att undersöka de direkta och indirekta sambanden mellan variabler i en modell. I metoden används strukturell ekvationsmodellering (SEM) för att utvärdera den kausala modellen man avser undersöka och kvantifiera effekterna av olika variabler på varandra. Path analysis gör det möjligt att undersöka komplexa relationer mellan variabler och att skapa och testa teoretiska modeller. Genom att använda detta tillvägagångssätt kunde de göra antagandet att variabeln ”foderproducerande ungskogsareal” agerar som en indirekt faktor genom att påverka älgtätheten snarare än att vara en direkt orsak till betesskador på tall. Genom denna justering kunde de visa att både älg- och talltäthet signifikant medverkade till att förklara betesskadorna till skillnad från Pfeffer m.fl. (2021). Däremot kvarstod det faktum att talltätheten hade en högre effekt än älgtätheten. Författarna väger i sin diskussion dock inte variablerna mot varandra vad gäller deras relativa effekt, utan understryker att både talltäthet och älgtäthet har direkta effekter på tallskador.

Två andra svenska studier citeras ofta i diskussioner om vad som påverkar älgarnas bete på träd, nämligen Månsson m.fl. (2007a) och Bergqvist m.fl. (2018). De är dock inte direkt relevanta för frågeställningen i denna rapport. Båda studier kvantifierade total konsumtion av trädbete och undersöker vilka faktorer som påverkar detta. Tallen ingår i deras data, men inte i form av betesskador, och det går inte att isolera tallen från övriga trädslag som ätits av djuren. Även Angelstam m.fl. (2000) citeras ibland i detta sammanhang. I den studien identifierades visserligen betesskadade tallar, och man undersökte relationen mellan skadenivån och tätheten av älgspilling i ungskogar belägna i åtta landskap i Sverige, Norge och Ryssland. Man använde dock inte multipel regression i sin analys, utan enbart spillningsdata som variabel, så det går inte att jämföra resultatet med studierna ovan. Denna enkla regression visade att tätheten av älgspilling förklarade 75 procent av variationen i betesskador mellan de åtta landskapen.

Forskningens omsättning till förvaltning

Det finns ingen vedertagen förklaring till varför tallmängden i de aktuella forskningsstudierna förklarar mer av betesskadorna än älgtätheten. Beror det på statistiken i sig eller på biologin? Kanske båda delar? Trots avsaknad av biologisk förklaring, har resultaten använts för att påvisa att det är mer effektivt att minska betesskador på skog genom att öka mängden tall än att minska antalet älgar. Därmed har dessa resultat fått en direkt inverkan på viltförvaltningen, i synnerhet på älgförvaltningen. Inverkan stärktes ytterligare då Naturvårdsverket publicerade rapport 7044 (Widemo m.fl. 2022), där ett resultat var att det saknades signifikanta samband mellan den procentuella förändringen i älgtäthet och den procentuella förändringen i skadenivåer på tall (Äbin-data), på ÄFO-nivå, mellan 2014/15 och 2020/21. Sammantaget har detta skapat en viss förvirring och obeslutsamhet i älgförvaltningen, eftersom man inte längre har känt sig lika säker på att färre älgar leder till en lägre betesskadenivå och att det kan finnas bättre sätt att minska betesskadorna än just via älgstammen. Det har även inneburit att man ifrågasatt användbarheten för Äbin (SvJF 2024). Ett uppdrag med syfte att utreda älgförvaltningens behov av underlag initierades i samband med att Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen avrapporterade ett uppdrag till regeringen (Naturvårdsverket 2023).

Ett återkommande antagande när forskning omsätts till förvaltning har varit att geografiska (rumsliga) samband som påvisats också gäller över tid (temporalt) i ett enskilt område (ofta ÄFO). Med andra ord, om skillnader i älgtätheten inte kan förklara skadenivån i två geografiskt skilda områden lika bra

som tall, så kan den heller inte göra det inom ett och samma område. Man utelämnar då andra möjliga förklaringar till varför en och samma älgtäthet kan ge upphov till en skadenivå i ett område och en annan skadenivå i ett annat. I skriften "Övergripande riktlinjer för älg- och kronhjortsförvaltningen i Värmlands län" har länsstyrelsen delvis hänvisat till denna typ av tolkning (Länsstyrelsen i Värmlands län 2024).

Hur ska vi tolka statistiken?

Sammanfattning i punktform

- Älgstammen i Sverige förvaltas med målsättningen att betesskadorna ska hållas på en tolerabel nivå. Varje förvaltningsområde har en unik sammansättning av flera olika egenskaper som tillsammans avgör områdets känslighet för betesskador. Två områden kan därför ha samma skadenivå men vid helt olika älgtäthet. Vi kan därför inte förvänta oss ett enkelt samband mellan älgtäthet och betesskador då olika områden jämförs.
- Tidigare vetenskapliga studier har fokuserat på variationen av viltskador mellan olika geografiska områden och inte på förändringar över tid inom dessa områden. Sådana studier är svårtolkade eftersom andra påverkansfaktorer inverkar på resultatet. Skillnader i dessa faktorer mellan geografiska områden innebär att man bör vara försiktig med att dra slutsatser om samband, effekter och tidsberoende förändringar inom enskilda områden, baserat på dessa studier.
- Standardisering omvandlar variabler till en gemensam skala och används för att jämföra effekter sinsemellan. Risken för felaktig tolkning är dock stor eftersom den relativa skillnaden mäts i standardavvikelser och inte i procent, vilket leder till att variabeln talar får en överdriven effekt på betesskadorna i standardiserade termer jämfört med älgeffekten.
- Det finns ett matematiskt beroende mellan andel skadade tallar och antal tallar, vilket kan bidra till missvisande tolkningar, då antal tallar används för att förklara betesskador. Antal betesskadade tallar ökar alltid med antal tillgängliga tallar, även om andelen av tallarna som skadas minskar.

Inledning

Tack vare de många studier som beskrivits ovan har vi en god kunskap om älgens beteende och dessutom mycket data som analyserats statistiskt för att reda ut hur sambanden ser ut mellan älgar, tallar och betesskador. I detta kapitel beskriver vi ett antal egenskaper inom regressionsstatistik och hur de inverkar på tolkningen av de resultat som regressionsanalysen ger. För den som helt vill följa tillämpningen av regressionsstatistik rekommenderar vi att först läsa Bilaga 2. Där förklaras relevanta metoder och begrepp inom regressionsanalys mer utförligt. Som tidigare nämnt utgörs mängd tallar av så kallade Äbin-tallar, alltså tallar som har registrerats i Äbin.

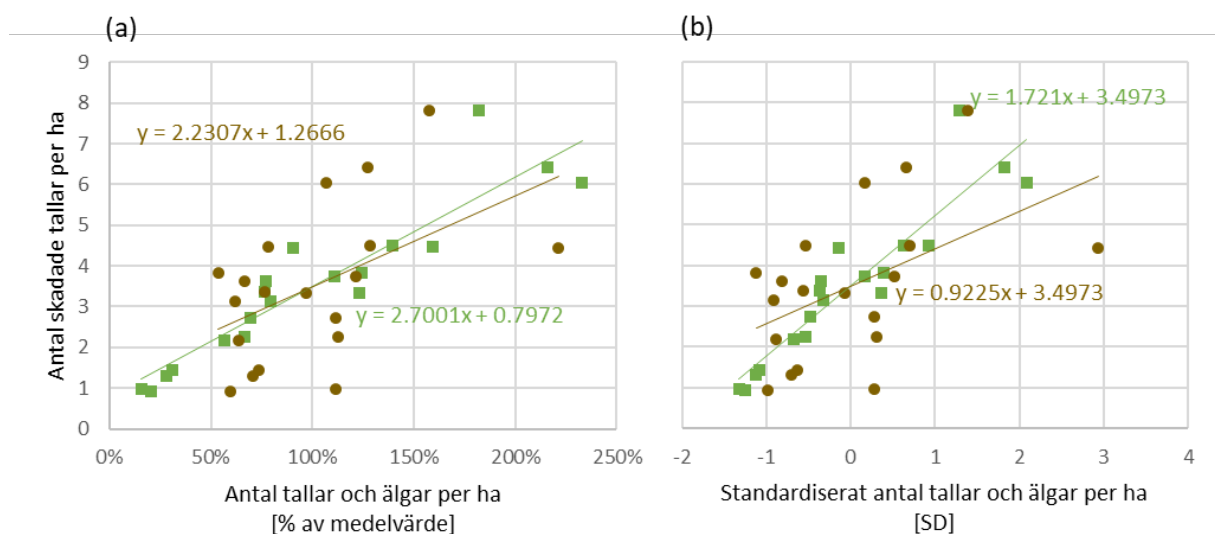
Variationsbredd och standardisering

En statistisk regressionsanalys syftar till att förklara variationen i en beroende variabel (betesskador) med hjälp av ett antal oberoende variabler (älgtäthet, tallmängd). En grundläggande förutsättning för att kunna förklara en del av denna variation är att det faktiskt finns en betydande variation i den beroende variabeln från början. Ju större variation, desto större är sannolikheten att upptäcka ett statistiskt signifikant samband om ett sådant finns. Det medför ett dilemma då vi undersöker variation i andel viltskadade tallar mellan geografiska områden, eftersom variationen kommer att minska ju fler områden som uppnår målet för viltskador.

När flera förklarande variabler inkluderas i regressionen är det viktigt att vara medveten om skillnaderna i deras respektive variationsbredd. Exempelvis uppvisar älgthäthet och tallthäthet betydande skillnader i variationsbredd på läns- och ÅFO-nivå. Det län som har högst thäthet av tall har cirka 1 400 procent högre thäthet än det län som har lägst thäthet. Denna variationsbredd är avsevärt större än för älgthäthet, där det älgthäteste länet har 300 procent högre älgthäthet än det län med lägst thäthet.

Skillnaden i relativ variationsbredd mellan variablerna kan ha en betydande inverkan på resultaten av en regressionsanalys och försvåra både tolkning och slutsatser. I flera av studierna som nämnts i kapitlet om forskning ovan har de förklarande variablerna omvandlats till en gemensam skala (standardiserats) för att möjliggöra eller underlätta tolkning av statistiken. Om regressionen genomförs med standardiserade variabler (via z-score-transformering, där variablerna omvandlas till en skala med medelvärde noll och standardavvikelse ett), blir dock koefficienterna (effekterna) beroende av de förklarande variablernas ursprungliga variationsbredd (standardavvikelse), vilket är viktigt att vara medveten om.

Detta innebär att effekten av en procentuell förändring i en oberoende variabel inte kan jämföras direkt med en lika stor procentuell förändring av en annan variabel. En variabel med större spridning innan standardisering kan därmed framstå som mer inflytelserik efter standardisering, även om den procentuella effekten inte nödvändigtvis är större. Figur 2, där genomsnittsvärden i länen under åren 2016–2022 har använts, visar att när de oberoende variablerna mäts i procent relativt medelvärde är effekten på skadorna (linjens lutning) nästan lika stor för älgthäthet som för tallthäthet (Figur 2a), men den relativa effekten för tallar blir avsevärt större (tallarnas linje lutar brantare) då variablerna istället har z-transformerats (Figur 2b). Detta beror på att transformeringen “klämmer ihop” den större variationsbredden för tallarna så att den blir lika stor som för älgarna. Effekten av tall riskerar därmed att övertolkas.



Figur 2. Exempel på skillnaderna mellan effekten av tall- (gröna symboler) och älgthäthet (bruna symboler) på andel skadade tallar beroende på om de förklarande variablerna uttrycks i procent av medelvärde (a) eller som standardiserad z-score, vilket är en vanlig form i vetenskapliga publikationer (b). Datapunkterna utgör medelvärden för olika länen mellan åren 2016–2022 (Äbin).

Regressionsmodellens applicerbarhet

I praktisk och operativ mening söker vi efter verktyg som älgförvaltningen kan använda som beslutsstöd. När Sverige övergick till en ny kunskapsbaserad älgförvaltning år 2012 ökade förväntningarna på nya och bättre beslutsstöd. Att påvisa samband mellan viltskador och de åtgärder som kan vidtas är naturligtvis viktigt för att bekräfta och legitimera åtgärderna, som också kan vara

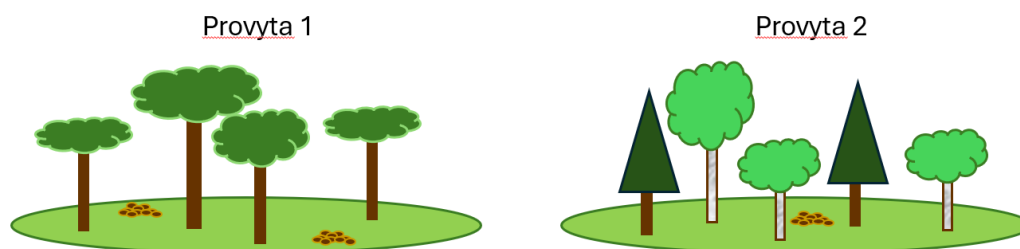
kännbara för jägare eller markägare. I avsaknad av långa tidsserier för landets älgförvaltningsområden har ett flertal studier använt data mellan områden för att påvisa samband mellan betesskador och olika variabler i stället för tidsseriedata inom områden. De vetenskapliga studier som redovisas i tidigare kapitel har alla undersökt geografiska skillnader i viltskador. Dessa studier påvisar inte hur sambanden ser ut över tid inom ett enskilt geografiskt område.

Om tidsserier saknas kan geografiska data vara det bästa tillgängliga alternativet för analys. Det är dock viktigt att vara försiktig med de slutsatser som dras från sådana analyser. När vi med geografiska data försöker förklara variationen i viltskador baserat på älg- och talltäthet, i stället för att använda en tidsserie inom ett och samma område, måste vi beakta att områdena skiljer sig åt på flera andra betydelsefulla sätt utöver de variabler som förklarar delar av variationen (till exempel älgtäthet och talltäthet). När viktiga konstanta eller dynamiska egenskaper som påverkar betesskador utelämnas i kombination med en begränsad variation i de förklarande variablerna, kan vi förvänta oss att sambandet mellan andelen betesskador och de förklarande variablerna blir svagare. Det kan även leda till att effekterna av dessa variabler blir mindre eller större än vad som skulle vara fallet om analysen baserades på tidsseriedata från ett och samma område.

Matematiska beroenden

När man undersöker statistiska samband mellan variabler är det viktigt att veta om de oberoende förklarande variablerna verkligen är oberoende av den beroende variabeln, vars variation man vill förklara. Om en oberoende variabel, som exempelvis totala antalet tallstammar, även används för att beräkna den beroende variabeln – andelen betesskadade tallstammar – uppstår ett matematiskt beroende. Detta kan leda till missvisande tolkningar av analysen, eftersom sambandet mellan variablerna då är inbyggt i beräkningen snarare än ett verkligt ekologiskt orsakssamband, ett problem som påpekades redan av Pearson (1897). I flera av de vetenskapliga publikationer som ligger till grund för denna rapport har man analyserat andelen betesskadade tallar med hjälp av variabler som inkluderar antalet tallar.

Slipper man då ifrån problemet så lätt som genom att i stället använda antal betesskadade tallar? Nej, i det fallet finns ett indirekt matematiskt beroende. Ju fler tallar som finns i en yta som ingår i en betesskadeinventering såsom Äbin, desto fler betesskadade tallar kan där också finnas. Om det finns noll tallar på en yta, så måste där också finnas noll betesskadade tallar (Figur 3). Däremot kan det ha observerats älg eller älgspillning på ytan, oavsett om det finns tall där eller inte. Sammantaget är dessa faktorer exempel på beroende som kan göra att antal betesskadade tallar i högre grad också förklaras av antal tallar än älgtäthet i en regression. Beroendet har dock mer att göra med hur man har designat insamling av data än matematiken i sig. Att bli av med detta beroende skulle innebära att man i till exempel hälften av ytorna bara räknade tallar och på den andra hälften bara räknade skadade tallar. Då skulle man få ett mer oberoende stickprov, men nackdelarna med en sådan design är dels att den är mer tidskrävande och dyrare eftersom man skulle behöva samla in data från många fler provytor, dels att den ökar influensen av andra påverkansfaktorer (sidan 44) i analysen.



Figur 3. Illustration av matematiskt beroende mellan antal betesskadade tallar och antal tallar. I en betesskadeinventering kan betesskadade tallar endast finnas i provyta 1 (som innehåller tallar) medan älgar/älgspillning kan finnas i både provyta 1 och 2 (som innehåller endast björkar och granar).

Andel kontra antal betesskadade tallar

Att använda andel framför antal skadade tallstammar har anammats och blivit vedertaget inom älgförvaltningen och de skogliga målen i älgförvaltningen är formulerade som en andel av tallarna som får vara skadade (Naturvårdsverket 2018). Därför är det också naturligt att man har använt betesskadad andel som beroende variabel i de flesta studier om älgskador. Om man däremot vill förstå skadeprocessen är det inte lika självklart att fokusera på andel betesskadade tallar. Från en älgs perspektiv är andel tallar som betas av begränsad betydelse, snarare är det antal betade tallar som är kopplat till födointaget mer relevant. Att använda antal skadade tallar i stället för andel skadade tallar innebär också att vi undviker ett eventuellt matematiskt beroende som beskrivits ovan. Användning av antal skadade tallar kommer också att ge starkare statistiska samband. Det finns med andra ord olika anledningar att använda bägge måtten på betesskadade tallar, men man bör komma ihåg att de svarar på delvis olika frågor och medför olika konsekvenser för analyser och tolkningar.

Andra påverkansfaktorer

Variabler som inte direkt inkluderas i en undersökning kan ändå inverka på resultatet genom att påverka både den oberoende och den beroende variabeln. Dessa påverkansfaktorer (eng. confounding factors) kan snedvrída eller förvränga resultatet av en regression och leda till felaktiga slutsatser om orsakssamband. Att vara medveten om och hantera påverkansfaktorer på olika skalor är avgörande för att dra korrekta slutsatser från statistiska analyser. I flera studier av betesskador har man jämfört mellan områden (exempelvis ÄFO), med begränsad kontroll på vilka faktorer som i verkligheten varierar mellan dessa områden. Ingen studie kan ta med alla faktorer som påverkar älgarna och tallarna, det skulle vara för svårt. Vad forskare ofta försöker göra är att så långt som möjligt inkludera jämförbara ytor som endast varierar i ett mindre antal faktorer, och på så sätt minska antalet påverkansfaktorer som kan orsaka ”brus” i analysen. Dessutom försöker man ofta samla in empiriska data för så många potentiella påverkansfaktorer som möjligt, och ta med dem i den statistiska analysen av betesskador. Det bästa är att utföra kontrollerade experiment där man håller alla faktorer konstanta förutom just den/de man försöker studera.

Exempel på påverkansfaktorer kan vara tillgången på annat foder än tall, konkurrens från andra hjortdjursarter, samt hur väderförhållande, människor och predatorer påverkar i vilken grad och under hur lång tid som klövviltet utnyttjar olika delar av landskapet. En studie i Polen har till exempel visat att vargars påverkan på hur klövviltet fördelar sig och ägnar sin tid i olika delar av landskapet förklarar var i landskapet betesskadorna är högst (Bubnicki m.fl. 2019). Vilka platser som drabbas av högt betetryck kan alltså där inte enkelt förklaras av klövviltpopulationernas numerär, utan av hur rädslan för predation påverkar klövviltets rörelsemönster i landskapet. Migrationsmönster är en annan relevant påverkansfaktor, speciellt i norra Sverige. Många älgar är trogna sin migrationsrutt och särskilda säsonsområden, och återvänder till samma område år efter år (Bunnefeld m.fl. 2011). En del övervintringsområden drabbas därför av höga betesskador, oavsett hur älgtätheten förändras i ÄFOt generellt. Vilka delar av landskapet som älgar ägnar relativt mycket tid i, och väljer att migrera genom, påverkas i sin tur av topografi och formationer i landskapet (Bubnicki m.fl. 2019, van Moorter m.fl. 2021). Variation i sådana landskapsstrukturer mellan studieområden kan därför också utgöra förhållandevis konsekventa påverkansfaktorer. Längre fram i rapporten beskriver vi relevanta påverkansfaktorer mer ingående.

Med en större variationsbredd hos förklarande variabler (här: älgtäthet och talltäthet) blir den relativa betydelsen av andra påverkansfaktorer mindre för att förklara resultaten (sambanden) i en statistisk analys. Ett sätt att få fram en mer tillförlitlig relation mellan skador, älgar och tallar är därför att åstadkomma en ökad variationsbredd i de förklarande variablerna.

Hur vi närmar oss verkligheten

Oaktat de beskrivna problemen med att dra långtgående slutsatser om vad som är viktigast i samspelet betesskador-älgar-tallar genom regressionsanalyser bidrar statistiska modeller generellt till att lägga det pussel för förståelse som behövs för att svara på den inledande frågan om hur vi kan minska betesskador på tall. Av den anledningen kan regressionsanalyser vara mycket värdefulla, inte minst i ljuset av andra rön som belyser någon aspekt av kopplingen mellan älg och bete, exempelvis vad konkurrens från andra hjortdjur betyder, om älgens begär efter tall påverkas av dess förekomst i skogen och om älgen nyttjar tallungskog annorlunda under snörika vintrar? Dessa är bara några frågor vars svar kan hjälpa oss att bättre förstå hur vi kan arbeta målinriktat, och under verkliga förhållanden, för att betesskadorna ska minska. Därför, tillika för att ha ett sunt förhållningssätt till de statistiska modellerna vi arbetar med, är det av största vikt att vi också har goda kunskaper om biologin.

Förändringsanalys av älg, tall och skador

Sammanfattning i punktform

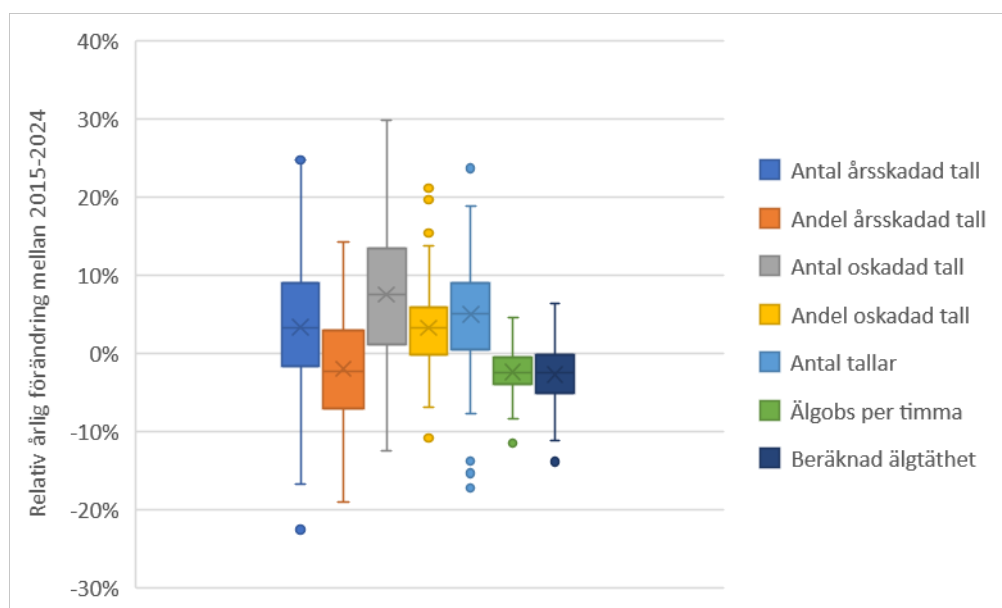
- En tidsserieanalys av 116 älgförvaltningsområden visar att skadorna på en övergripande nivå minskar då älgtätheten minskar eller då talltätheten ökar.
- Under åren 2015–2024 har andelen skadade tallar i genomsnitt minskat med 2,5 procent per år (observera att det är procent av procent och inte en minskning med 2,5 procentenheter per år) medan älgtätheten minskat med 2,4 procent och talltätheten ökat med 4,4 procent per år. Den procentuella ökningen av talltäthet mellan 2015 och 2024 är signifikant större än den procentuella minskningen i älgtäthet.
- En signifikant minskning i andel skador kunde konstateras i sex ÄFO. En säkerställd ökning av andelen oskadade tallar sker i 15 ÄFO.
- Även på länsnivå finns signifikanta förändringar över tid. Västra Götalands län utgör ett intressant exempel eftersom alla analyserade trender är signifikanta i en riktning som är förväntad.
- Analysen visar att antalet skadade tallar ökar då fler tallar finns tillgängliga per älg. Skadorna späds dock ut eftersom antalet oskadade tallar ökar snabbare.
- Sammantaget indikerar kartläggningen att förvaltningsåtgärderna fungerar och leder till en förväntad effekt. Dock finns en icke oansenlig andel av områdena som inte följer ett förväntat mönster. Två tänkbara förklaringar är att förändringen varit för liten eller att det krävs mer tid för att förändringen ska ge effekt på skadorna.

Inledning

En nackdel med de studier som tidigare publicerats avseende relationen mellan älg, tall och betesskador är att olika områden jämförs sinsemellan i stället för att analysera förändring över tid inom områden. De slutsatser man kan dra av sådana analyser är begränsade av skäl vi kommer att återkomma till längre fram i rapporten. Tack vare att vi idag har en tidsserie på ungefär tio år vad gäller Äbinresultat är det möjligt att redovisa utvecklingen av betesskador inom områden i stället för mellan områden. I detta kapitel redovisas en kartläggning av förändring över tid. För ändamålet används Äbindata mellan 2015–2024. För älgstammens utveckling under denna tidsperiod har vi

använt beräkning av älgtäthet efter jakt från populationsmodellen LST-Moose. Vi har analyserat älgförvaltningsområden samt alla län. För att förändringen ska bli jämförbar mellan områden har procentuell förändring över tid använts för alla variabler.

De data som ingått i analysen är andel betesskadade tallar, andel oskadade tallar (tallar som varken har skador från senaste året eller ackumulerade skador från tidigare år), antal betesskadade tallar, antal oskadade tallar, antal tallar och älgtäthet efter jakt. Dessa variabler indexerades över åren så att de i stället visar procentuell förändring per år. För att få fram ett trendmått har en linjär lutning för varje variabel över åren beräknats statistiskt. Detta ger sammantaget en kolumn för varje variabel som beskriver trenden för ett specifikt område. Dessutom gjordes en linjär regression med en så kallad mixed model där interceptet tilläts variera mellan ÄFO:n, vilket ger ett mått på de nationellt genomsnittliga förändringarna per år. Data från 116 älgförvaltningsområden (av totalt 131) kunde användas. Älgstamsberäkningar saknades för Stockholm och Skåne varför data från dessa regioner utgick ur analysen. Ett box-plot-diagram över variablerna visar genomsnittlig förändring och spridning runt medelvärdet (Figur 4).



Figur 4. Sju variablers genomsnittliga relativa förändring samt spridning över 116 älgförvaltningsområden över tidsperioden 2015–2024. Det är årlig procentuell förändring som avses. För andel betesskador och andel oskadade tallar blir det procent på procent. Boxen representerar 50 procent av datamängden, linjen i boxen är medianvärdet, krysset (X) representerar medelvärdet, linjerna utgör konfidensintervall och punkterna är så kallade "outliers".

Vi kan konstatera att andelen betesskador har minskat i genomsnitt med 2,5 procent per år under perioden (observera att det är procent av procent och inte en minskning med 2,5 procentenheter per år). Andelen oskadade tallar har ökat med 2,7 procent per år i genomsnitt. Älgtätheten har enligt modellberäkning i genomsnitt minskat årligen med 2,4 procent. Antalet tallar per hektar har i genomsnitt ökat med 4,4 procent per år. Alla dessa effekter är statistiskt signifikanta.

Värt att notera är att medelvärdet av den procentuella ökningen i antal tallar är ungefär dubbelt så stor som den procentuella minskningen i älgtäthet. Denna skillnad är signifikant (t-test: $p < 0,001$, $n = 116$). Med det följer att variationen mellan älgförvaltningsområdena också är större för förändringen i antalet tallar än för förändringen i älgtäthet. Detta har betydelse för tolkningen av de resultat vi redovisar senare.

En analys för varje enskilt ÄFO i Sverige visar att andelen årsskadade tallar har förändrats med statistisk säkerhet i sju områden (Bilaga 3). I sex av dessa områden minskade skadorna över tid. Områden med en säkerställd förändring var fler då vi undersökte andel oskadade tallar. I 18 områden

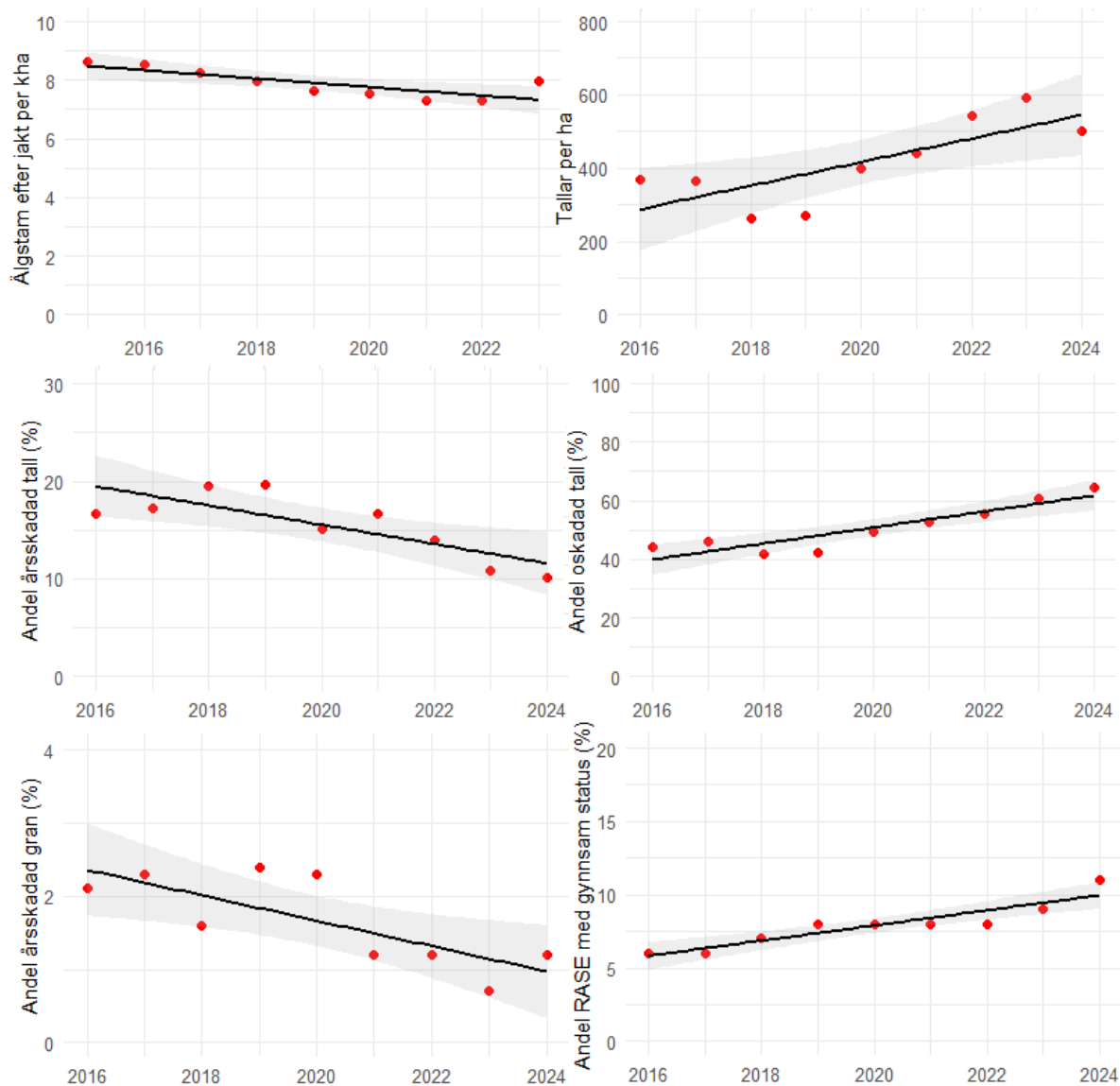
är förändringen säkerställd. 15 av dessa har en ökande andel oskadade tallar. När det gäller antalet tallar sker med statistisk säkerhet en ökning i 13 områden. Endast ett område har en säkerställd minskning i antal tallar. Älgtätheten, för de områden statistisk finns tillgänglig, visar på en statistisk säkerställd minskning i 62 områden medan den ökar i sex.

Även på länsnivå finns flera signifikanta förändringar och dessa redovisas i Tabell 1 där vi också inkluderat annan statistik som redovisas i Äbinrapporten. I fyra län är minskningen i andel årsskadade tallar statistiskt säkerställd. Oskadade tallar ökar signifikant i åtta län som en konsekvens av minskat älgtäthet och/eller en ökad mängd tall. Status för rönn, asp, sälj och ek har i flera län förbättrats signifikant under perioden. Täthet för RASE började inventeras 2018.

Tabell 1. Signifikanta förändringar över tid i 20 län. För älgobs och älgtäthet enligt LST-Moose gäller förändringen mellan 2015-2023 och för övrig Äbinstatistik gäller förändringen 2015/2016-2023/2024. Värdena i tabellen visar procentuell förändring per år (OBS! Procent på andel skador och RASE status). Endast signifikanta förändringar är redovisade ($p < 0,05$).

Län	Älgobs per man-timme	Älg-täthet (vinter)	Tallar per ha	Foderprodukt. ungskog	Andel års-skadad tall	Andel oskadad tall	Andel Års-skadad gran	RASE gynns. status	RASE per ha
Stockholm	↓-3	Data saknas							
Uppsala	↓-7	↓-5	↑4	↑2					
Södermanland	↓-4	↓-4		↑4	↓-6	↑6			
Östergötland	↓-3	↓-1		↑2	↑4	↑6			
Jönköping			↑12						↑16
Kronoberg	↓-2	↓-2	↑9	↓-8		↑7			↑11
Kalmar		↑1	↑4	2	↓-6	↑8		↑4	
Blekinge		↑3	↑14			↑13		↑8	
Skåne		Data saknas		2		↑7	↑17	↑6	
Halland			↑10	↓-5				↑7	↑19
Västra Götaland	↓-2	↓-2	↑8	↑1	↓-6	↑5	↓-10	↑7	↑14
Värmland				↑1				↑8	
Örebro		↓-2							↑12
Västmanland	↓-3	↓-2		↑1					↑20
Dalarna			↓-1	↑0,2			↑12		
Gävleborg	↓-5	↓-7		↑2	↓-5	↑3			
Västernorrland	↓-4	↓-3		↑2					
Jämtland	↓-4	↓-5		↑2					
Västerbotten	↓-5	↓-6		↑0,3					
Norrbotten	↓-5	↓-3	↑2	↓-1					

Västra Götalands län är särskilt intressant att belysa eftersom alla förändringar är både signifikanta och förändras i förväntad riktning (Figur 5).



Figur 5. I Västra Götalands län är förändringen i flera variabler statistiskt säkerställd ($p < 0,05$) och i en riktning som är förväntad. Den kombinerade effekten av att minska älgtätheten och samtidigt öka tallmängden (Äbin-tallar) har gett en positiv effekt på såväl betesskador som status för rönn, asp, sälg och ek.

Ett annat sätt att illustrera utvecklingen i älgförvaltningsområden under tidsperioden är att redovisa förändringen av älgtäthet och talltäthet och hur var och en av dessa variabler relaterat till betesskadornas förändring (andel och antal), vilket vi redovisar härnäst. Älgtäthet och talltäthet har en motsatt inverkan på andel betesskadade tallar och andel oskadade tallar (se studierna på sidorna 14–15). Vi konstruerade därför även en nettoförändring som tar hänsyn till både förändring i älgtäthet och förändring i antal tallar genom kvoten antal tallar dividerat med antal älgar (se stycket Kombinerad effekt, sidan 27).

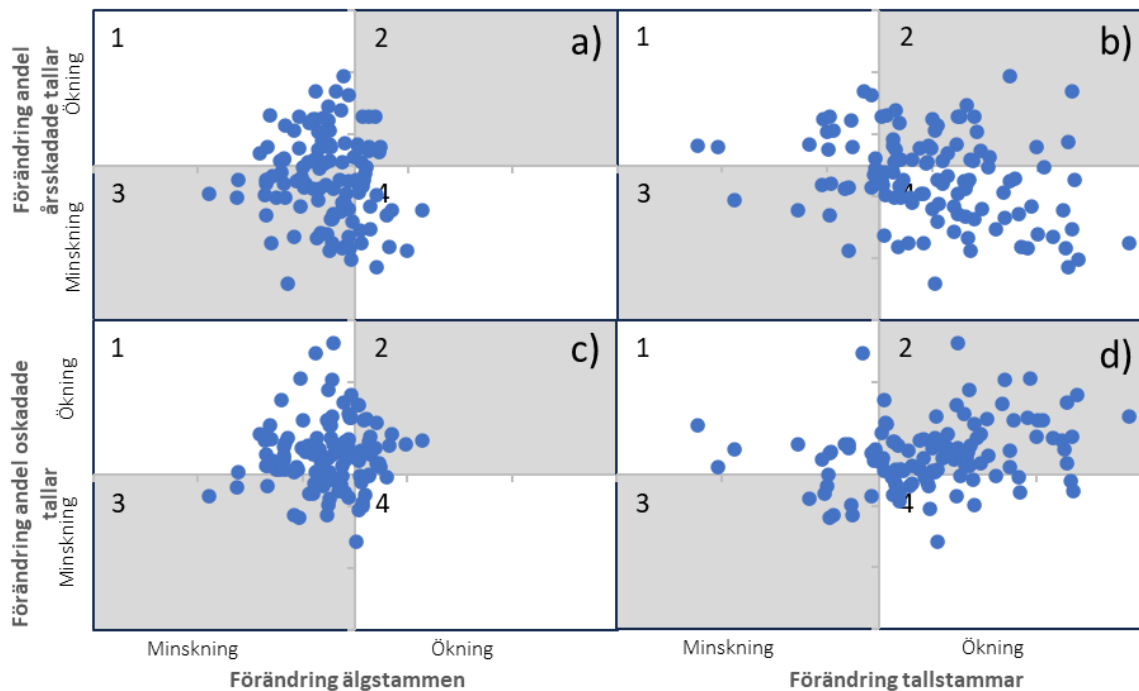
Andel skadade tallar

Vi förväntar oss att andelen betesskadade tallar ska minska när älgstammen minskar och öka då älgstammen ökar, givet att allt annat är lika. Data över den procentuella förändringen i älgförvaltningsområdena visar att 60 av de 116 älgförvaltningsområdena följde detta mönster, vilket utgör 52 procent (Figur 6a). I de resterande 56 älgförvaltningsområdena antingen ökade skadorna trots att älgtätheten minskade, eller så minskade skadorna då älgtätheten ökade. Utvecklingen i dessa

övriga 56 områden är alltså inte vad man bör förvänta sig. I 65 procent av antalet områden ökade andelen oskadade tallar med en minskad älgstam och minskade med en ökad älgstam.

I 70 områden (60 procent) där antalet tallar antingen har ökat eller minskat följdes det av en ökning respektive minskning av andelen betesskadade tallar. I resterade områden ökade andelen skador trots att antalet tallar ökade, eller så minskade andelen skador trots att andelen tallar minskade (Figur 6b).

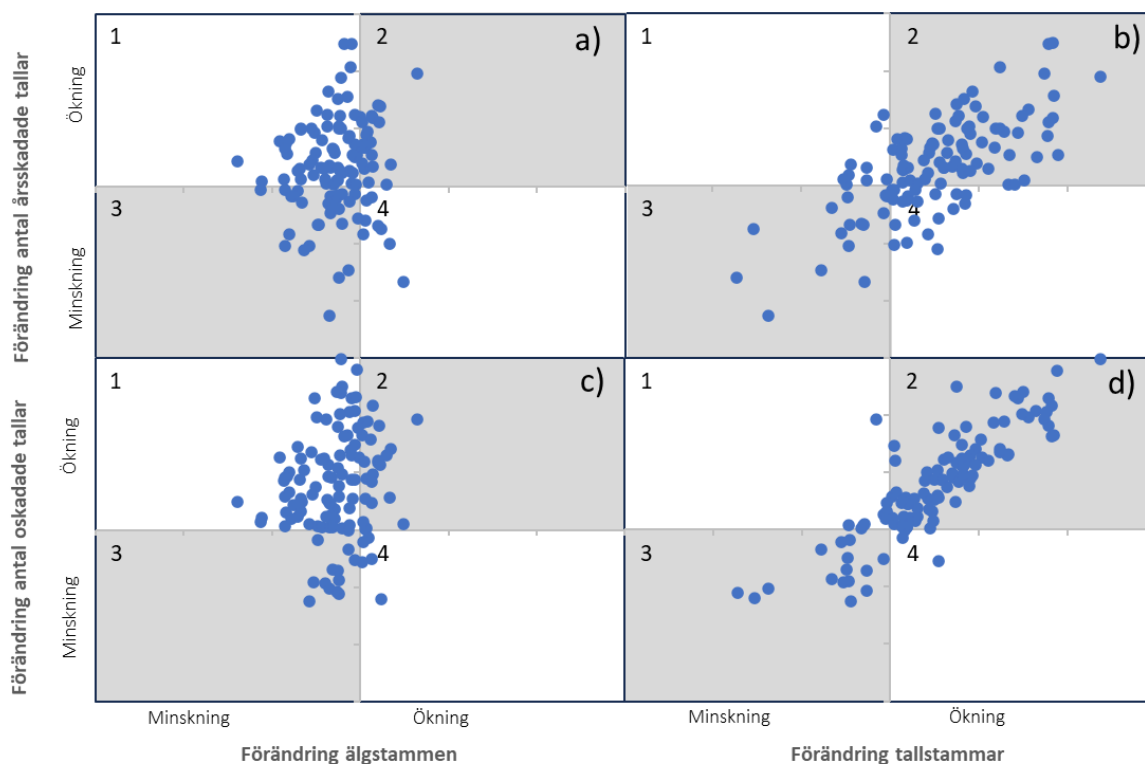
Trenden var något tydligare (mer enligt förväntningarna) för andel oskadade tallar. Där svarade områdena enligt förväntan i 77 av älgförvaltningsområdena på förändringen i älgtäthet (Figur 6c). På motsvarande sätt svarade områdena på en förändring av antalet tallar, där 104 av områdena svarade enligt förväntan (Figur 6d).



Figur 6. Relativ förändring i andel betesskadade tallar (a & b) och andel oskadade tallar (c & d) i relation med förändring i älgtäthet (a & c) eller förändring av antalet tallar (b & d). Data från 116 älgförvaltningsområden över tidsperioden 2015–2024 (Äbin) har använts.

Antal skadade tallar

För antalet tallar blir bilden delvis något tydligare men samtidigt mer komplex. Det visar sig att antalet betesskadade tallar har ökat under perioden trots att älgstammen har minskat. I 61 områden har älgstammen minskat samtidigt som antalet betesskadade tallar har ökat (Figur 7a). Förklaringen ligger antagligen i att antalet tallar har ökat i 92 områden under perioden. Att tallen har ökat i så många områden har också inneburit att antalet oskadade tallar har ökat i 98 områden. I 75 av dessa ökade antalet oskadade tallar då älgtätheten minskade. I övriga 23 ökade antalet oskadade tallar trots en ökad älgtäthet (Figur 7c). I de 92 ÄFO där antalet tallar har ökat har det lett till att antalet oskadade tallar har ökat i 89 av dem, det vill säga i 97 procent av fallen (Figur 7d).



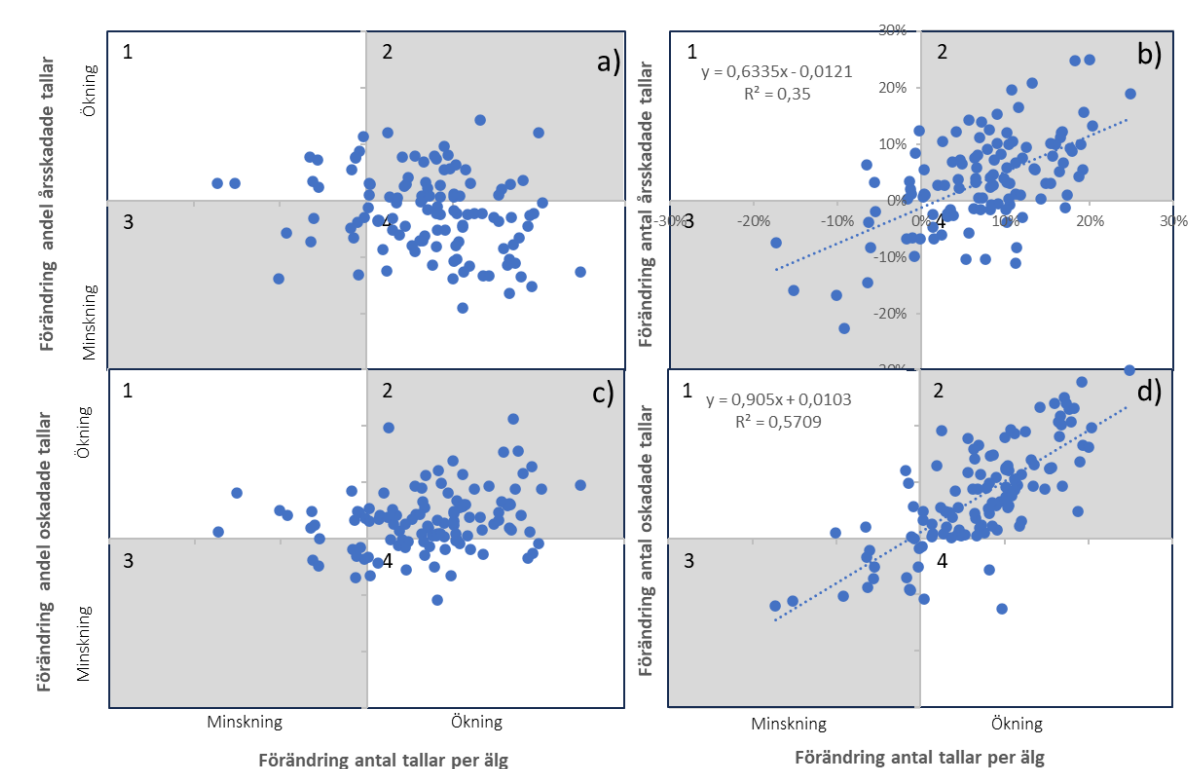
Figur 7. Relativ förändring i antal betesskadade tallar (a & b) och antal oskadade tallar (c & d) som en effekt av förändring i älgstäthet (a & c) eller förändring av antalet tallar (b & d). Data från 116 älgförvaltningsområden över tidsperioden 2015-2024 (Äbin) har använts.

Ett Chi-två-test (χ^2 , 2 x 2 tabell) visar att fördelningen av datapunkter inom de fyra fälten inom ruta b och d skiljer sig från slumpen, vilket betyder att det finns en statistisk relation mellan förändring i tallstäthet och antal skadade och antal oskadade tallar ($\chi^2=15,01$ resp. $50,95$, $p<0,001$, $n=116$). I övrigt gick det inte att påvisa några statistiska relationer.

Sammantaget kan vi konstatera att andelen skador har minskat under tidsperioden medan andelen oskadade tallar har ökat. Detta samtidigt som älgstammen i genomsnitt har minskat och antalet tallar har ökat. Ökningen av antalet tallar har i genomsnitt varit dubbelt så hög som den relativa minskningen i älgstäthet. Resultatet påvisar också den utspädningseffekt man ofta talar om, det vill säga att en ökning av antalet tallar kommer att späda ut skadorna så att andelen skadade tallar blir lägre. Vi ser detta till exempel genom att antalet oskadade tallar ökar mer än antalet betesskadade tallar i takt med att det totala antalet tallar ökar i ett område.

Kombinerad effekt

Eftersom en minskad älgstäthet i kombination med en ökning av antalet tallar verkar mot en minskad andel skadade tallar kan vi även definiera en nettoförändring. I Figur 8 har vi undersökt förändringen i kvoten antal tallar per älg. Beräkning av denna kvot är möjlig eftersom vi från Äbin har en skattning av det totala antalet tallar inom ett ÄFO och för samma ÄFO har en skattning av antalet älgar. Vi förväntar oss att andelen skadade tallar minskar då antalet tallar per älg ökar.



Figur 8. Relativ nettoförändring i andel och antal betesskadade tallar (a & b) och andel och antal oskadade tallar (c & d) som en effekt av relativ förändring av antal tallar per älg. Data från 116 älgförvaltningsområden över tidsperioden 2015–2024 (Äbin) har använts.

Det är tydligt att sambandet mellan antal årsskadade eller oskadade tallstammar och variabeln “antal tallar per älg” är tydligare än det som rör andel årsskadade eller andel oskadade tallar. Ett chi-två-test visar att fördelningen av datapunkter inom de fyra fälten inom ruta b och d skiljer sig från slumpen, vilket betyder att det finns en statistisk relation mellan förändringen i antal tallar per älg och antal årsskadade tallar ($\chi^2=10,2$, $p<0,01$) och antal oskadade tallar ($\chi^2=136,5$, $p<0,001$, $n=116$). Notera att sambandet är starkare i ruta d än b. I ruta b och d har vi lagt in en trendlinje som visar att sambandet är brantare för antal oskadade än antal årsskadade tallar. Skillnaden i lutning är statistiskt signifikant (Z-test, $p=0,013$). Det visar att antalet skadade tallar visserligen ökar ju fler tallar som finns tillgängliga per älg, men att antalet oskadade tallar ökar i snabbare takt. Det får effekten att andelen skadade tallar minskar. Så vitt vi känner till är det första gången själva utspädningseffekten har belagts med data.

En ekologisk-statistisk förklaringsmodell

Sammanfattning i punktform

- Modellen baseras på hur betet går till och på vilket sätt det påverkas av mängden tallar och älgar i landskapet.
- Modellanalysen visar att hälften av variationen i andel skadade tallar mellan ÄFO:n och år kan förklaras av variation i älg- och talltätthet samt en ÄFO-specifik skaderisk.
- Modellen kan göra statistiskt försvarbara prognoser av effekterna på betesskadorna av älg och talltätthet i några län, men inte på ÄFO-nivå.

- Prognoserna blir bäst vid hög taltäthet men är väldigt osäkra för områden med få tallar.
- Eftersom data saknas för låga älgstätheter (< 2 älgar per 1000 ha), bör prediktionerna för låga älgstätheter (nedre 5-percentilen, < 3,3 älgar per 1000 ha) tolkas med försiktighet.
- Vår analys ger inte några belägg för att taltätheten skulle ha en större effekt än älgstätheten på andelen betesskadade tallar. I stället har älgstätheten i genomsnitt en större procentuell effekt på skadorna än taltätheten.
- Det saknas idag tillräckliga mängder data samt tillräcklig variation i älgstäthet för att kunna redogöra för samband och göra prognoser inom älgförvaltningsområdena.

Inledning

När man har studerat effekten av taltäthet, älgstäthet och andra faktorer på betesskador har syftet ofta varit att förklara vad som orsakat den observerade effekten. Som beskrivits ovan har linjära förklaringsmodeller använts eftersom de är lätta att utvärdera statistiskt. Men det är inte alltid realistiskt att anta linjära samband, särskilt inte om man vill göra prediktioner för nya värden på de förklarande variablerna. En linjär modell med positivt intercept såsom Widemo m.fl. (2022) ger till exempel flera procent betesskador även vid noll älgar, samt det orimliga att andelen skadade tallar kan bli större än 100 procent om tall- eller älgstätheten ökas tillräckligt.

För att förklara och även kunna prediktera effekter på betesskador har vi utvecklat en ekologisk förklaringsmodell baserad på vår kunskap om hur betet går till. Våra antaganden är (i) att ju fler älgar (A) per Äbin-tall (T) desto större är risken att en tall blir betesskadad, och (ii), att effekterna av älgar och tallar kan vara avtagande eller ökande, det vill säga de har exponenter $\neq 1$, så att skaderisken beror av A^a/T^b . Detta kan formuleras som en sannolikhet p_{bete} för att en tall blir betesskadad inom ett tidsintervall dt enligt ekvation 1:

$$p_{bete} = c \frac{A^a}{T^b} \quad (1)$$

I ekvation 1 är c en konstant som reglerar skaderisken grundnivå ($0 \leq p_{bete} \leq 1$) och representerar påverkansfaktorer som är oberoende av älg- och taltäthet, som till exempel geografi, bördighet och tillgång på annan föda.

Ju fler tallar som redan är betade (T_s) desto färre återstår som inte redan blivit betade ($T - T_s$). Om älgerna väljer tallar slumpmässigt blir antalet nyskadade tallar per tidsenhet $dT_s/dt = \text{betningsrisken} \cdot \text{antal oskadade tallar}$:

$$\frac{dT_s}{dt} = p_{bete} (T - T_s) = c \frac{A^a}{T^b} (T - T_s) \quad (2)$$

Lösningen till denna differentialekvation ger utvecklingen av antalet (T_s) och andelen ($F = T_s/T$) skadade tallar över tiden:

$$T_s = T \left(1 - e^{-t c \frac{A^a}{T^b}} \right) \quad (3)$$

$$F = \frac{T_s}{T} = \left(1 - e^{-t c \frac{A^a}{T^b}} \right) \quad (4)$$

För att kunna analysera modellen med linjär regression omformas ekvation 3 till $\frac{1}{1-F} = e^{t c \frac{A^a}{T^b}}$ och logaritmeras två gånger. Eftersom vi alltid analyserar skador inom samma tidsintervall (per år) kan vi göra oss av med t genom att baka in t i c , vilket ger:

$$\ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F} \right) \right) = \ln(c) + a \ln(A) - b \ln(T) \quad (5)$$

Ekvation 5 analyseras med linjär regression för att skatta de okända parametrarna a , b och c , baserat på samma dataset (116 ÄFOn) som användes för förändringsanalysen ovan. De resulterande

parametervärdena (Tabell 1) sätts in i ekvation 3 och 4 för att beräkna skadorna som funktion av älg- och talltäthet.

Eftersom tidigare analyser oftast gjorts med linjära modeller gjorde vi, som jämförelse, även en analys med en linjär modell:

$$F = c + aA + bT \quad (6)$$

Även om vi antar att modellen och dess underliggande mekanismer är generella, kan vi inte anta att modellens parametervärden är desamma överallt, eftersom vi analyserar data från ÄFOn över hela Sverige med vitt skilda förhållanden. Särskilt effekten av andra påverkansfaktorer än älg- och talltäthet (parametern c), som till exempel biotop och andelen skog i landskapet, förväntas variera mellan län och ÄFOn. Vi inkluderar denna variation och eventuell geografisk variation i älg- och talleffekter i modellen via en så kallad mixed model, där de varierande faktorerna kallas random factors. Vi testar att inkludera olika kombinationer av random factors i modellen för att hitta den kombination som ger den bästa modellen. Vi jämför alternativa modeller med olika flexibilitet, det vill säga där intercept (c i ekv. 5) och effekter av älg- och talltäthet (b och a i ekv. 5) antingen är konstanta för hela landet eller tillåts variera mellan år och mellan län eller ÄFOn. Ju mer flexibilitet (fler parametrar) som tillåts, desto bättre kan modellen anpassas till observationerna. Men om flexibiliteten blir för stor (för många parametrar anpassas) blir modellen överanpassad till just dessa observationer och dess förmåga att prediktera nya observationer som inte använts i modellenpassningen (regressionen) försämras. För att hitta den optimala modellvarianten jämförde vi olika varianter med hjälp av AIC, vilket är ett statistiskt mått på en modells prediktionsförmåga och som tar hänsyn till antalet parametrar, det vill säga flexibiliteten (Bilaga 2).

För att få en bild av hur sambanden mellan betesskador, älgar och tallar skiljer sig mellan olika län och ÄFOn gjorde vi även oberoende analyser på läns- och ÄFO nivå. I dessa analyser användes samma dataset och grundmodell som i den nationella analysen, men med separata linjära regressioner för varje län respektive ÄFO (utan random factors).

Resultat på nationell nivå

I den variant av den ekologiska modellen (ekv. 1-5) som har bäst prediktionsförmåga på nationell nivå (lägst AIC) varierar betesskadorna för en given älg- och talltäthet (parametern c) relativt starkt mellan ÄFOn (Tabell A2, Bilaga 4), och varierar även svagt mellan olika år. Denna effekt representerar variation i miljön, till exempel biotop, markanvändning och snöförhållanden. Även talleffekten (parametern b) varierar något mellan ÄFOn medan älgeffekten (a) är konstant. Det här betyder inte att älgeffekten är exakt lika i alla ÄFOn utan att denna modell ger totalt sett bäst resultat om man vill förutsäga skadeandelen i alla ÄFOn i Sverige med en gemensam modell.

Modellen visar att älg- och talltätheten har en större effekt (procentuellt) på betesskadorna än talltätheten, vilket beräknades som procent ändring i andel skadade tallar per procent ändring i älg- respektive talltäthet, vid medeltätheter för älgar och tallar (Tabell 2). Dessa relativa effekter är inte konstanta utan avtar när älg- och talltätheten ökar (kurvorna planar ut i Figur 9) och vice versa när tätheterna minskar. Denna form på kurvorna gäller för ett genomsnitts-ÄFO i Sverige, och är ett medelresultat baserat på en stor underliggande variation i sambanden mellan skadenivåer och förklarande faktorer i olika ÄFOn och län (se nedan). Modellen förklarar 50 procent av den observerade variationen i andelen skadade tallar. Modellen kan även användas för att beräkna antalet skadade tallar (ekvation 3), vilket ger en högre förklaringsgrad än för andelen skadade tallar (Tabell 2) på grund av den starkt positiva effekten av talltätheten på antalet skadade tallar. Detta betyder att en ökning av antalet tallar per hektar leder till fler skadade tallar även om andelen skadade tallar minskar, vilket överensstämmer med förändringsanalysen i tidigare kapitel.

Den bästa varianten av den linjära modellen (Tabell A3, Bilaga 4) ger lika prediktioner som den ekologiska vid genomsnittstätheter för älgar och tallar (Tabell 1) medan prediktionerna avviker för lägre och högre tätheter. Till skillnad från den ekologiska modellen ger den linjära modellen 12 procent

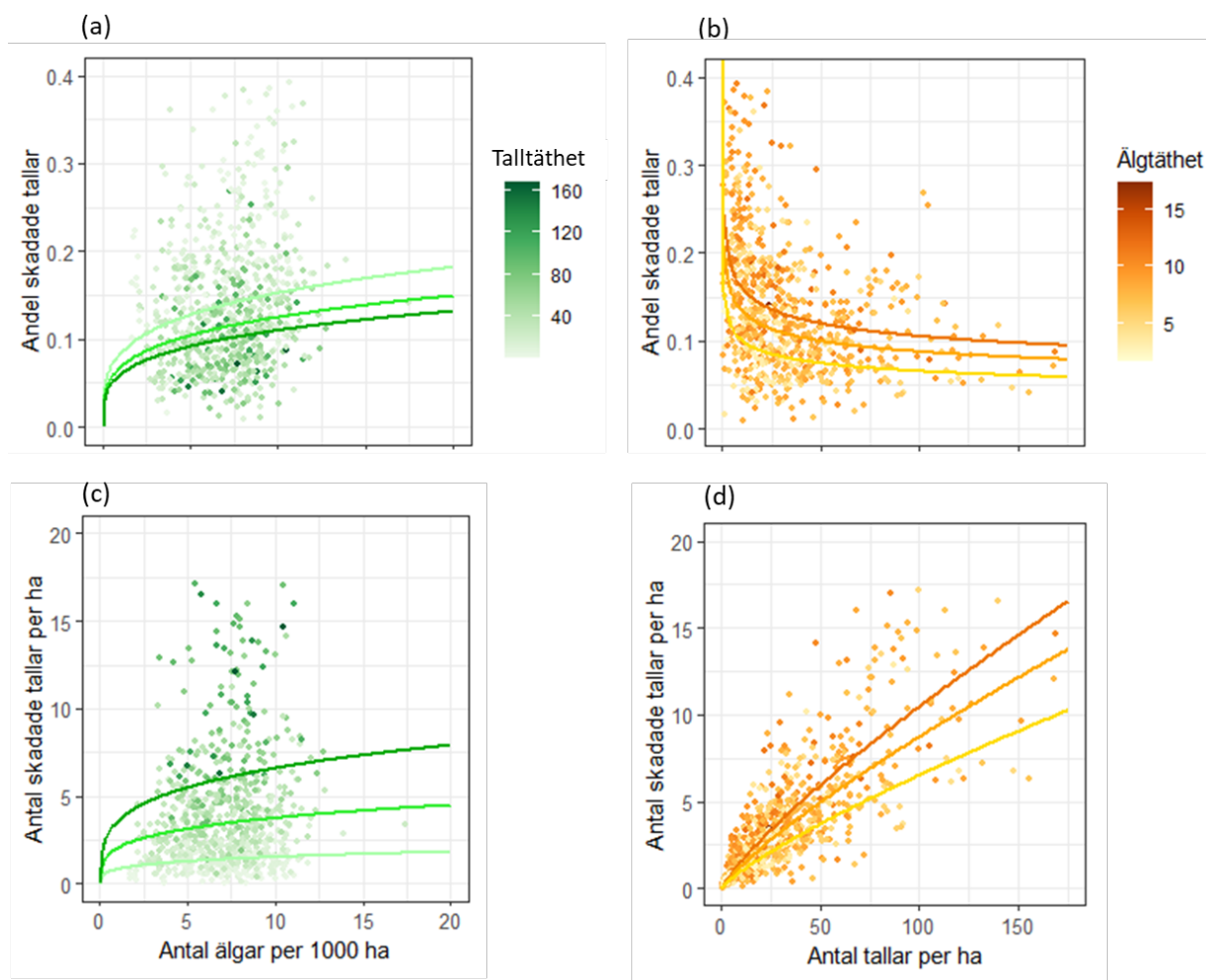
skador ($c=0,12$ i ekvation 6) även vid noll älgar, vilket illustrerar att den inte lämpar sig för extrapolationer till lägre älgtätheter än dagens.

Tabell 2. Resultat från ekologisk samt linjär statistisk modell visar att hälften av variationen i andel beteskador kan förklaras av älgtäthet och talltäthet (R^2). Modellerna kan förklara mer av variationen i antal skadade tallar. Båda modellerna visar att den relativa effekten av älgtäthet är högre än den för talltäthet (se även mer detaljerad statistik i Tabell A2 och A3 i Bilaga 4).

Modell	Parametrar	R^2 för andel, resp. antal, skadade tallar	Relativ effekt av älgtäthet (%)*	Relativ effekt av talltäthet (%)*
Ekologisk modell (Ekv. 3)	Älgtäthet: $a=0,28$ Talltäthet: $b=0,20$ $c=0,14$	Andel: 0,50 Antal: 0,71	Andel: +25 Antal: +25	Andel: -17 Antal: +81
Linjär modell (Ekv. 6)	Älgtäthet: $a=0,0047$ Talltäthet: $b=0,0007$ $c=0,12$	Andel: 0,50 Antal: 0,67	Andel: +25 Antal: +25	Andel: -17 Antal: +81

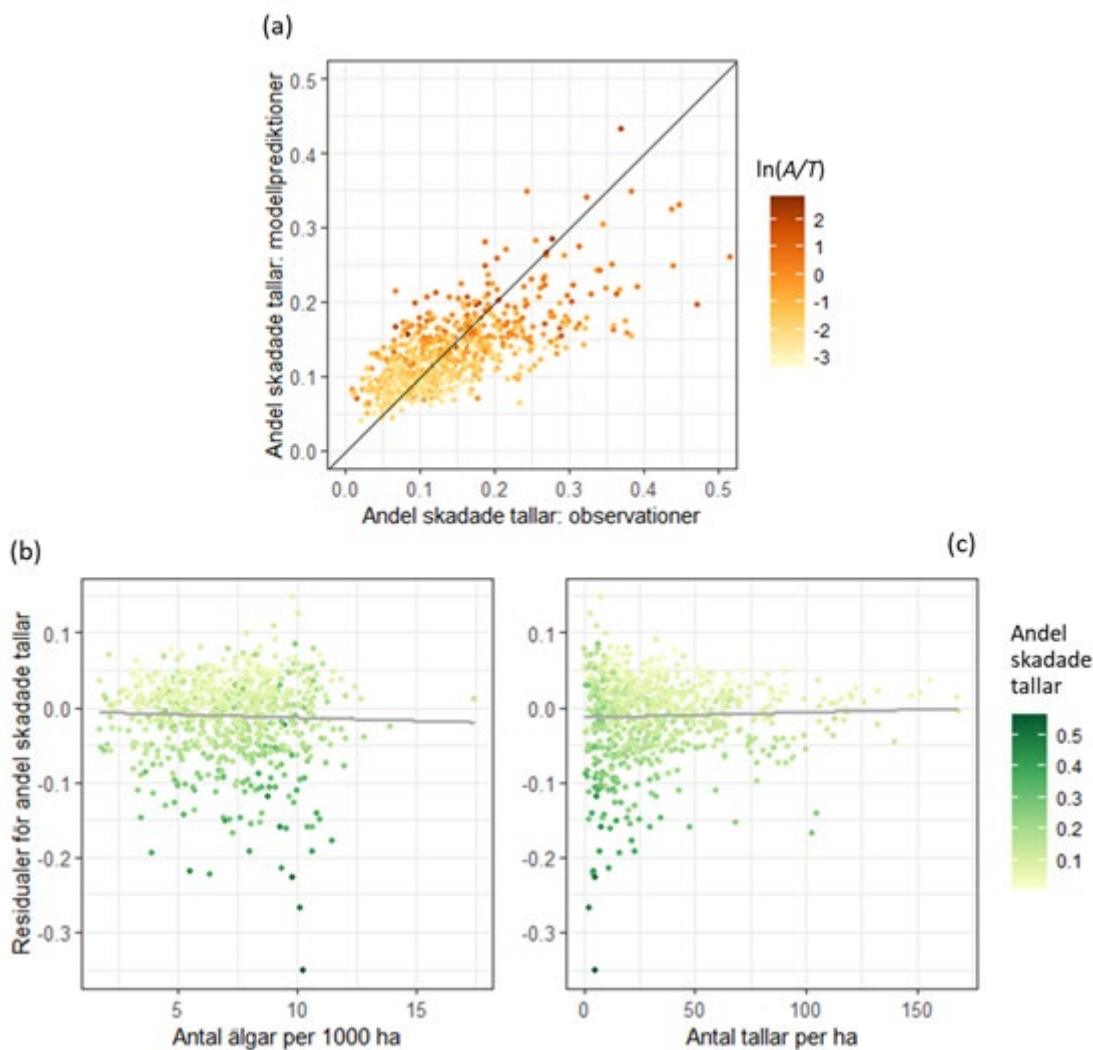
*Vid medeltätheter för älgar och tallar

Figur 9 visar (den ekologiska) modellens prediktioner för alla ÄFO:n och år samt de förväntade effekterna av variation i älg- och talltäthet för ett genomsnitts-ÄFO under ett genomsnittså. Punkternas utbredning längs x-axlarna visar inom vilka intervall det finns data. Eftersom vi saknar data för älgtätheter mindre än ca två älgar per 1000 hektar bör modellprognoser för låga älgtätheter (nedre 5 percentil $< 3,3$) tolkas med försiktighet. Det är möjligt att andelen skadade tallar avtar snabbare (eller långsammare) med minskade älgtäthet än vad modellen förutsäger, på grund av eventuella mekanismer som modellen inte tar hänsyn till, se kapitlet om Biologiska samband och påverkansfaktorer på sidan 35 och framåt. I de län med signifikanta älgeffekter på betesskadorna är sambandet på länsnivå oftast brantare än för landet som helhet, se Resultat på läns- och ÄFO-nivå nedan.



Figur 9. Modellerad (kurvor) och observerad (punkter) andel och antal skadade tallar som funktion av älgtätethet (a och c) och talltätethet (b och d) för alla enskilda ÄFO:n och år (2015–2024). Kurvorna i (a) och (c) visar effekten av variation i älgtätethet för konstanta talltätetheter på 10 (mörkgrön), 30 (grön) och 60 (ljusgrön) tallar per ha. Kurvorna i (b) och (d) visar effekten av variation i talltätethet för konstanta älgtätetheter på 2 (gul), 6 (orange) och 12 (röd) älgar per 1000 ha.

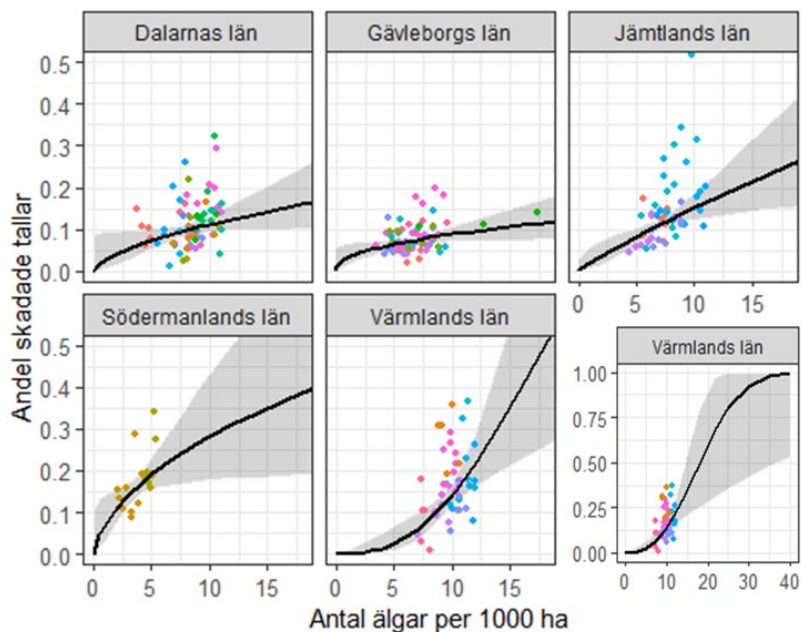
För att få en bättre uppfattning om begränsningarna i modellens prediktionsförmåga tittar vi på residualerna, det vill säga avvikelsena mellan modellerade och observerade skador, och hur dom varierar med älg- och talltätethet (Figur 10). Modellen tenderar att underskatta stora betesskador och överskatta låga skador, det vill säga den klarar inte av att prediktera extremvärden (Figur 10a). Osäkerheten i modellprediktionerna (spridningen av residualerna) beror starkt på talltätetheten, med bra prediktioner vid hög talltätethet och mycket osäkra prediktioner vid låg talltätethet (Figur 10b). För älgtätetheten finns en svagare trend att residualernas spridning ökar med älgtätetheten (Figur 10c). Modellens osäkerhet vid låga talltätetheter och vid högt antal älgar per tall kan bero på att betesskadorna under dessa omständigheter påverkas starkt av andra faktorer än älg- och talltätethet och/eller att observationerna av älg- och talltätethet är osäkra. Diskrepansen mellan modell och observationer för extremvärden illustreras även av att betesskadorna ofta varierar mellan år inom samma ÄFO på ett sätt som inte kan förklaras baserat på variationen i älg- och talltätethet.



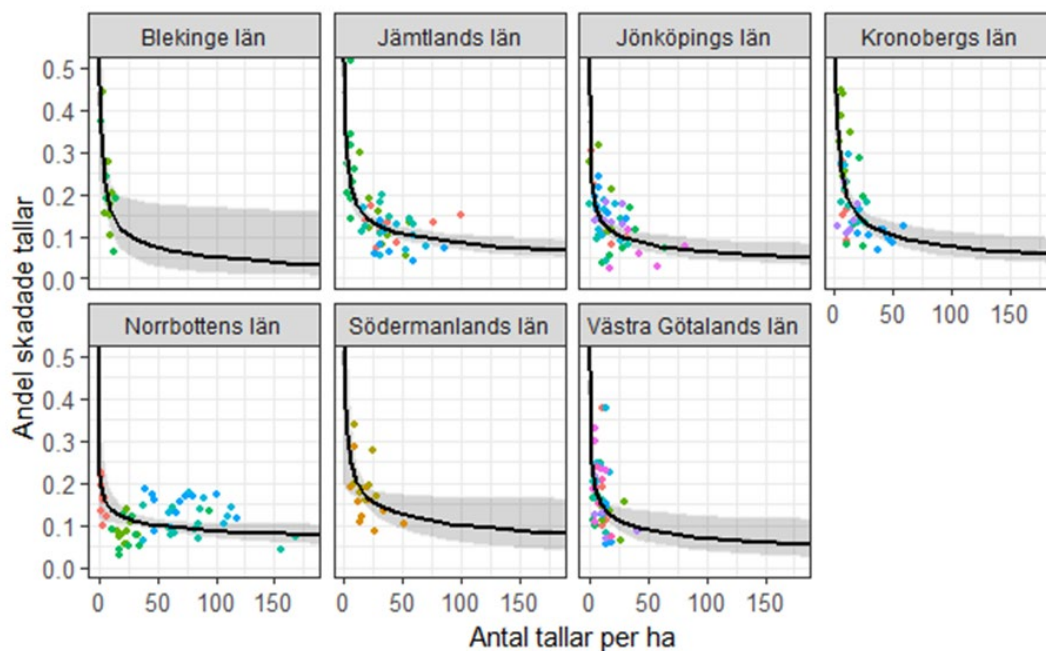
Figur 10. (a) Modellerad jämfört med observerad andel skadade tallar (punkter) samt 1:1 (ideal) linjen. Punkternas färg visar effekten av antal älgar per tall (A/T , log-transformerad för bättre visualisering). Panel (b) och (c) visar modellens felmarginal beräknad som skillnaden mellan modellerad och observerad andel skadade tallar (residualer), som funktion av älgstäthet (a) och tallstäthet (b) där linjerna visar medelvärdet som linjär regression.

Resultat på läns- och ÄFO-nivå

När vi analyserar varje län för sig får vi skillnader mellan län i både tall- och älg effekter på betesskadorna. Endast för några län får vi statistiskt signifikanta effekter (Figur 11 och Figur 12) medan effekterna för de andra länen är mer osäkra (Bilaga 5, Figur A2 och A3). Detta tyder på att modellen kan användas för att göra statistiskt försvarbara prognoser för effekten av förändringar i älg- och tallstäthet på länsnivå endast för de län som visas i Figur 11 och Figur 12. Medan talleffekten är relativt lika i alla län i Figur 11 varierar älg effekten beroende på älgstätheten (kurvans form) mera mellan olika län. I Värmland ökar älg effekten med antal älgar per ha, vilket är oväntat jämfört med de andra länen och de landsövergripande resultaten. Prognoser för Värmland bör därför tolkas med särskild försiktighet eftersom de kan vara påverkade av osäkerheter i data eller okända mekanismer som inte tas hänsyn till i modellen. Dessutom baseras modellen för Värmland på observationer inom ett litet älgstäthetsintervall. Men resultaten för Värmland kan även vara rimliga, till exempel om de beror på variation i tillgången på annan föda än tall, vilket diskuteras i kapitlet om Biologiska samband och påverkansfaktorer (sidan 35 och framåt).



Figur 11. Betesskadornas variation i förhållande till älgtäthet för de län med en signifikant älg effekt. Punkterna visar observationer för olika ÄFO (olika färger) och år med varierande älg- och talltäthet. Kurvorna med 95 procent konfidensintervall (grått band) visar modellerade effekt av älgtäthet när talltätheten hålls konstant i ett medel-ÄFO. Panelen längs ned till höger illustrerar att den modellerade skadeandelen aldrig överstiger 1.

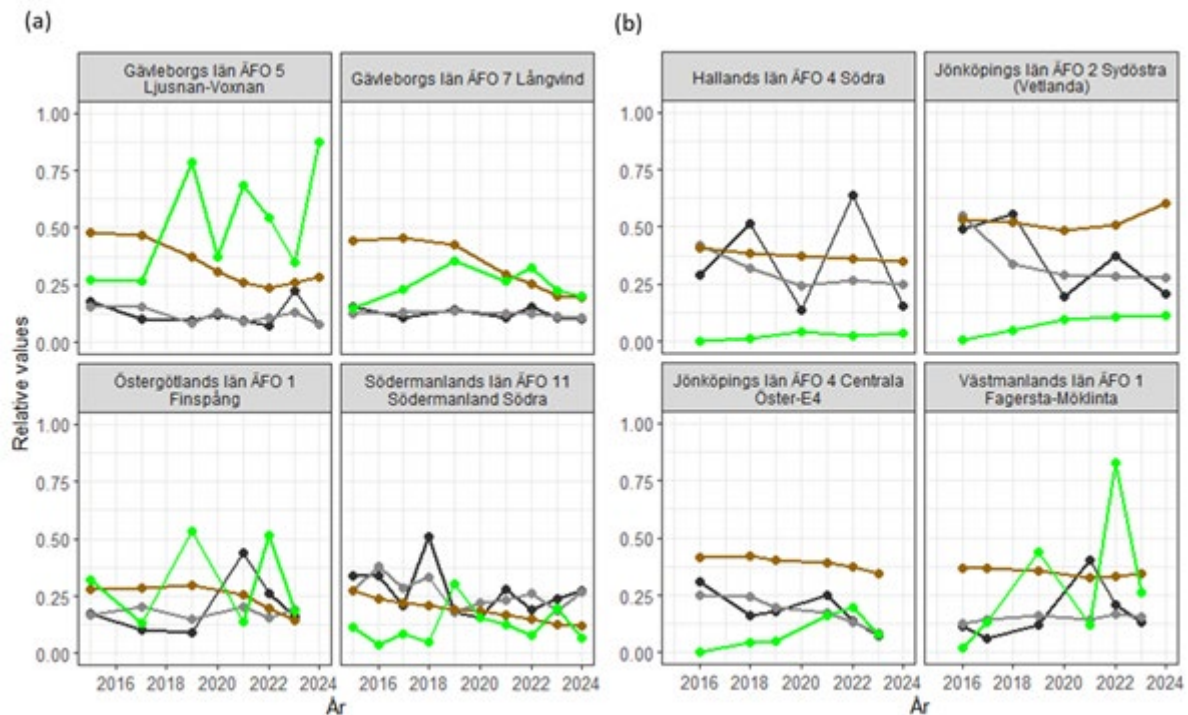


Figur 12. Betesskadornas variation i förhållande till talltäthet för de län med en signifikant talleffekt. Punkterna visar observationer för olika ÄFO (olika färger) och år, där både älg och talltäthet varierar. Kurvorna med 95 procent konfidensintervall (grått band) visar modellerad effekt av talltäthet när älgtätheten hålls konstant i ett medel-ÄFO.

Vi analyserade även effekterna på ÄFO-nivå. För varje ÄFO har vi bara ca åtta observationer (olika år), vilket endast gav sju svagt signifikanta effekter bland 116 ÄFO:n. Vi anser oss därför inte kunna göra statistiskt försvarbara prognoser av effekter på ÄFO-nivå baserat på denna modell och dataset.

Som illustration av de varierande effekterna på ÄFO-nivå tittade vi på de ÄFO:n som haft störst variation i älg- respektive talltätthet under den undersökta tidsperioden (Figur 13). Särskilt talltättheten och skadorna varierar kraftigt mellan år och ofta på ett sätt som inte kan förklaras av variation i älg- och talltätthet (Figur 9,

Tabell 2). Detta är en bidragande orsak till att observerad skadeandel varierar mer än modellerad skadeandel (Figur 10a).



Figur 13. De ÄFO:n med störst procentuell variation under perioden 2015–2024 i älg-täthet (a) och tall-täthet (b). Kurvorna visar älg-täthet (brun), tall-täthet (grön), observerad andel skadade tallar (svart), modellerad andel skadade tallar (grå). Alla värden visas relativt maximum i Sverige.

Sammantaget kan vi konstatera att både älg och tall bidrar till att förklara den variation i betesskador som finns mellan områden och över tid. Älg har i genomsnitt något större effekt än mängden tallar på andelen skadade tallar. På länsnivå varierar sambandets form starkt mellan olika län och endast för vissa län får vi statistiskt signifikanta effekter av älg- och tall-täthet. På ÄFO-nivå har vi för lite och för osäkra data för att få statistiskt signifikanta resultat i nuläget.

Biologiska samband och påverkansfaktorer

Sammanfattning i punktform

- Mängden tall i dieten påverkas av tillgång i landskapet. Antalet tallar som varje älg skadar är därför fler när det finns fler tallar att tillgå.
- Tallens begärlighet kan vara en bidragande förklaring till att andelen betesskadade tallar är högre i tallfattiga områden.
- En datorsimulering av älgens betesmönster visade på ett mer eller mindre linjärt samband mellan antal beståndsbesök av älg och toppskottsbyte (alltså den förhärskande betesskadan i Äbin).

Simuleringens resultat kan förklaras av att oskadade tallar löper större risk att betas än tallar som skadats tidigare under samma säsong. På områdesnivå kan vi därför förvänta oss att betesskadorna planar ut på en hög nivå om älgtätheten är hög i förhållande till antalet tallar.

- Då olika områden jämförts har andra påverkansfaktorer som tillgång på tall, bärris, lövträd, andra hjortdjursarter och klimat haft stort inflytande på relationen mellan älgtäthet och betesskador på tall. Dessa faktorer ger tillsammans med slumpfaktorer upphov till stora skillnader i skador mellan områden trots samma älgtäthet.
- Inom ett och samma område har, förutom slumpfaktorer, årsvariation i väder mest inflytande på relationen mellan älgtäthet och betesskador.

Inledning

Medan matematiska beroenden och osäkerheter i statistiska modeller uppstår som en konsekvens av handhavande (hur vi samlar in, transformerar och analyserar data) och därmed i teorin skulle gå att undvika, finns det en hel dimension till av komplexa samband som inte försvinner oavsett hur skickliga statistiker vi än är: de biologiska. Älgar likt andra djur gör oräkneliga instinktiva avvägningar beträffande tid, risk, hälsa, reproduktion och så vidare, i sitt dagliga liv och underordnar sig inte våra förhållandevis begränsade statistiska modeller (i denna kontext är även avancerade modeller högst begränsade). Men ju mer vi förstår av älgarnas avvägningar, desto bättre kan vi skilja ut specifika samband som vi är intresserade av att förstå, till exempel vilka sammanhang som ökar eller minskar betesskador på tall. I detta avsnitt ska vi titta närmare på några exempel på biologiska samband som kan påverka våra möjligheter att korrekt tolka relationen mellan mängderna älg, tall och betesskador på tall.

Anpassningsbar diet

Hur många tallar skadas per älg? Regionala skillnader

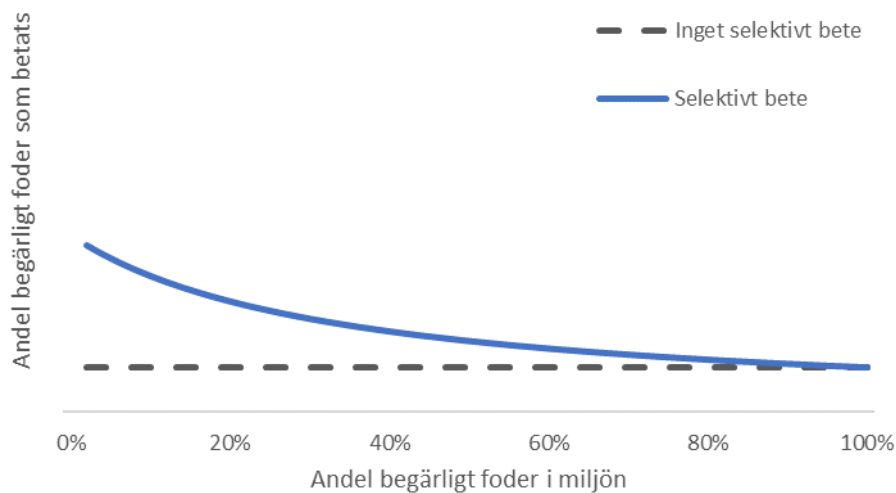
Som vi nämnt och visat innan i kapitlet om förändringsanalys har vi idag möjlighet att beräkna ett genomsnittsvärde av hur många tallar varje älg skadar. Det är en ny intressant variabel där vi ser ett behov av fler analyser än vad som ryms inom denna rapport. I Figur 14 redovisar vi en beräkning av det antal skadade tallar och granar som varje älg ger upphov till i förhållande till hur många det finns per älg i respektive län. Gran är mindre begärlig än tall för älg (Månsson 2007) vilket gör dem intressanta att jämföra i detta sammanhang. För att framställa figuren användes länsdata från Äbin mellan 2016–2022. Som vi ser ökar antalet tallar som varje älg skadar i takt med att vi förflyttar oss till områden där det finns fler tallar att tillgå. Utifrån detta diagram är det lätt att lura sig att tro att det inte går att påverka antal betesskadade tallar varken via antal älgar eller antal tallar. Det ser nämligen ut som att en minskning av antalet älgar bara kommer att leda till en motsvarande ökning av antal skadade tallar per älg. Samma effekt får vi om vi ökar antalet tallar. Men, Figur 14 illustrerar återigen faran då man använder geografiska skillnader för att dra slutsatser kring det som händer inom ett enskilt område om älgtäthet eller tillgång på tall förändras. I varje län finns en förvaltning som också har ett tydligt mål att begränsa skadorna. Det är en bidragande orsak till att ca tio procent av de tallar som finns tillgängliga per älg blir skadade. Men, det finns en annan aspekt av Figur 14 som är intressant och det är att älgarnas relativa intag av tall skiftar stort i landet (som vi också beskrivit i avsnitt Betning och betesskador, sidan 11). Utifrån denna figur kan vi göra ett grovt antagande om att älgarna i Norrbotten har tio gånger mer tall i sin diet jämfört med de halländska älgarna. Lika stora skillnader mellan områden finns i antal skadade granar per älg, även om granen i genomsnitt bara utgör en marginell del i älgars diet. Intressant nog skadas i Halland ungefär lika många granar som tallar per älg.

I biologisk mening innebär dessa data att med ett högt antal tallar i landskapet består en större andel av älgarnas diet av tall. Det medför i så fall att antalet tallar som en älg skadar per år ökar i takt med

Selektivitet för tall

Älgen äter inte födoslag i samma omfattning som de förekommer i miljön. Det är en uppenbar slutsats man kan dra då man undersöker betestryck på olika trädslag, som till exempel i Figur 14. Trädslag som rönn, asp, sälg och ek tillhör de mest begärliga trädslagen, vilket återspeglas i att de ofta har fått utstå skottbete upprepade gånger under den tid som de befinner sig inom det höjdintervall som älgen betar. Det heter då att älgen är en selektiv betare och gör val som beror av födoslagens olika smaklighet. Förutom att få i sig tillräckligt med föda för att fylla vommen, behöver älgen också ta hänsyn till olika växters kvalitet och aktuellt behov av olika näringsämnen. Därför behöver älgen välja selektivt mellan olika födoslag för att uppnå en bra balans mellan till exempel protein, lättsmälta kolhydrater och fibrer. Samtidigt behöver den begränsa alltför stora doser av växternas försvarskemikalier, vilka är olika i varje enskild växtart. Ifall utbudet tillåter styrs dieten sannolikt av vad den tycker smakar bäst för stunden, vilket i sin tur påverkas av inneboende (fysiologiskt grundade) målnivåer som den strävar efter att upprätthålla. En balanserad diet behöver dock inte betyda att dietens sammansättning är konstant oavsett hur miljön förändras.

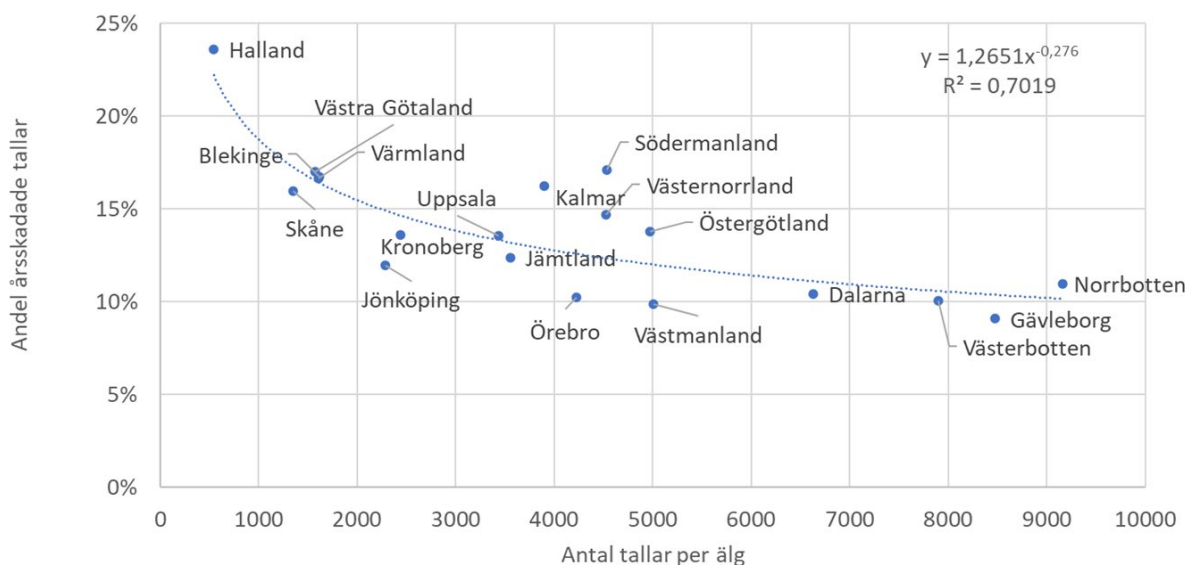
Älgens selektiva bete har studerats av flera (bland annat Bergström & Danell 1987, Niemelä m.fl. 1989, Månsson m.fl. 2007b) och man har härigenom en hel del kunskap om vilka födoslag älgen väljer mellan och deras respektive begärlighet. För denna rapport har det varit av intresse att utforska om begärligheten i sig kan förklara de samband vi ser mellan betesskador, tallar och älgar. Begärlighet är ett mått på hur älgen i genomsnitt rankar olika födoslag gentemot varandra, till exempel att gran alltid verkar rankas mycket lägre än tall. I Figur 16 har den generella selektivitetsfunktionen (Greenwood & Elton 1979) använts för att teoretiskt illustrera att det selektiva betet i sig kan medverka till att förklara att andelen betesskadade tallar är högre i områden där förekomst av tall är låg.



Figur 16. I figuren illustreras hur ett selektivt bete kan inverka på andelen bete på ett begärligt trädslag. Jämfört med ett icke selektivt bete indikerar detta att vi bör förvänta oss en högre andel betesskador på begärligt foder då det förekommer i låg andel.

Dessa resultat är intressanta eftersom de kan bidra till att förklara de mönster vi ser med högre betesskador på tall i områden med lägre förekomst av tall (Figur 17). En del av förklaringen till detta mönster kan alltså vara rotat i älgens selektiva bete där en kombination av smaklighet och behov inverkar på vilka trädslag som betas framför andra.

Fler tallar kan alltså ge lägre andel betesskador under förhållanden som medger ett varierat eller balanserat födointag, men man kan också tänka sig att det kan föreligga omständigheter som gör att älgen frångår ett varierat eller balanserat födointag och i stället betar tall i proportion till tillgången. Detta fenomen kan vara en förklaring till att andelen betesskador inte minskar linjärt i förhållande till antal tallar per älg som illustreras i Figur 17.



Figur 17. Äbindata på länsnivå som visar hur andelen betesskadade tallar förhåller sig till antalet tillgängliga tallar per älg i olika län. Talldata är från Äbin 2016–2022 och älgttätheten är beräknad via Helge-modellen (Kalén m.fl. 2022).

Betesmönster på trädnivå

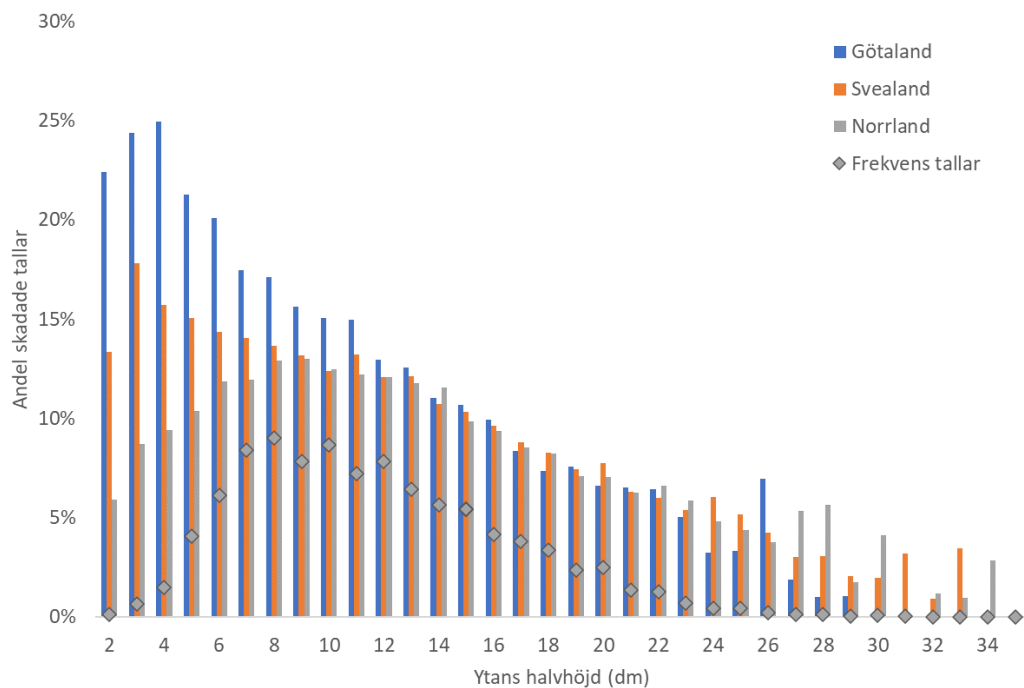
Olika sätt att beta en tall

En viktig och intressant fråga som vi återkommer till i denna rapport är hur sambandet mellan älgttäthet, tallttäthet och betesskador ser ut, det vill säga linjärt eller icke linjärt. Eftersom det samband man kan förvänta sig är beroende av hur jämförelsen görs är det problematiskt att göra enkla generaliseringar avseende detta samband. I detta kapitel har vi valt ett nerifrån och upp-perspektiv för att analysera mekanismer som påverkar relationen mellan älgttäthet, betestryck och betesskador. Data från ett tioårigt hägnförsök (Wallgren 2023) med nationell spridning och årliga registreringar av såväl topp- som sidokottsbitningar, det så kallade BETT-försöket (BETT står för Betets Effekter på Tallens Tillväxt), samt Äbindata har använts i analysen. Vi redovisar olika teoretiska modeller för hur vi tänker oss att betet går till för att härigenom analysera relationen mellan viltskador och älgttäthet.

Betesskador och sidokottsbitte

I Äbin mäts endast betesskador på den så kallade centrala stamaxeln och de allra flesta betesskadorna (~90 procent) är relaterade till att toppskottet är avbetat. I mindre utsträckning förekommer stambrott, barknag eller fejningsskador. Men den allra vanligaste typen av bete en tall utsätts för är sidokottsbitte (Wallgren 2023) och två viktiga aspekter kopplade till detta är: 1) medan det bara finns ett toppskott så finns det många gånger fler sidokott på en tall i beteshöjd (< cirka 2,5 m), och 2) sidokottsbitte registreras inte i Äbin. En annan metod för att mäta bete av älg, och som diskuterats en del på senare tid, är den norska så kallade Solbraa-metoden. Den skattar betestryck snarare än betesskador. Betestryck definieras då som andel betade årsskott av beståndets totala antal årsskott (inklusive både topp- och sidokott) längre än fem centimeter (Sveum 2022). Det Sveum (2022) visade inom det så kallade Grensevilt-projektet var att viltskador enligt Äbin steg i en brantare takt än betestryck enligt Solbraa-metoden. Jämförelsen gjordes över de km-rutor som inventerades. Det diskuterades dock inte om sambandet var linjärt eller inte. Man ska komma ihåg att Äbinresultaten aldrig presenteras på denna nivå utan aggregeras till områdesnivå, vilket gör att vi heller inte vet något om sambandets eventuella linearitet på områdesnivå.

Man kan se på risken för bete på flera sätt. Ett är vid vilken höjd toppskottet på en tall riskerar att bli betat. Detta undersökte Faber och Lavsund (1999) och fann att träd mellan 90 och 160 cm löper särskilt stor risk att få toppskottet betat. Inga träd högre än 230 cm hade ett avbetat toppskott i deras undersökning, vilket ungefär återspeglar hur högt älgan når. I BETT-försöket har ett flertal (men en försumbar andel) registreringar gjorts av toppskotts-bete på tall omkring 3 m (Wallgren, opublicerade data). Äbindata ger en samstämmig bild, men den kompliceras av att risken för att de lägre träden skadas varierar över landet, vilket sannolikt främst beror av att snötäcke skyddar de lägre träden vintertid i delar av landet men kan även påverkas av andra faktorer som rådjursbete (Figur 18). Troligen kan även vissa snöförhållanden innebära att älgan når högre eller att tallens krona böjs ner, vilket kan ge dessa oväntat (vid inventering under barmarkperioden) högt placerade betningar.



Figur 18. Äbindata visar att risken för skador generellt avtar med höjden. Samtidigt påverkas risken för de kortare träden av var i landet man befinner sig. En trolig förklaring till den lägre andelen betade låga tallar i Norrland är att snö skyddar dem under vinterhalvåret. I södra Sverige kan inflytandet av andra hjorddjur inte uteslutas. De grå fyrkanterna visar hur många procent av det totala antalet registrerade tallar som finns i respektive halvhöjdskategori inom Äbin-tytor. Halvhöjd innebär halva medelhöjden av de två högsta huvudstammarna på ytan.

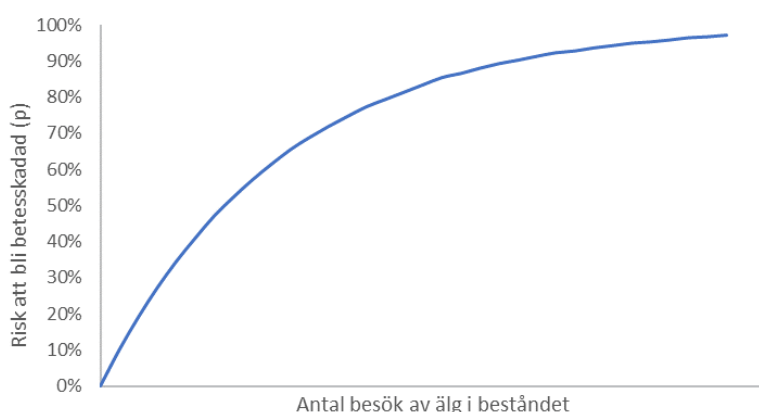
Ett annat sätt att analysera risken är att välja ut kategorin betade tallar och för denna population undersöka risken att toppskottet är betat vid olika höjder. Det BETT-data då visar är att risken är 100 procent när tallen är som kortast och att risken avtar linjärt fram till höjden 2,5 meter. Från 2,5 meters höjd är risken att toppskottet är betat alltså så låg att vi kan bortse från den. På motsvarande sätt följer då att risken för att minst ett sidoskott är betat är den inverterade kurvan. Det innebär alltså att risken är noll för de allra minsta plantorna på grund av att sidoskott då saknas. Därefter ökar risken och är 100 procent då tallen blir 2,5 meter hög eller mer. Alltså, om vi hittar en betad tall som är över 2,5 meter är det i princip garanterat att det rör sig om sidoskotts-bete (~100 procent risk). Enligt preliminära resultat från BETT-försöket är i medeltal 10–15 procent av sidoskotten betade oavsett tallens höjd.

En annan viktig faktor att ta hänsyn till är att risken att bli betad inträffar flera gånger per säsong. En tall som en gång blivit betad kan, om attraktiva skott finns kvar, bli utsatt för återbete inom samma säsong. Om vi bortser från den lilla planta som under sommaren grott från ett frö har tallar som är äldre än ett år flera sidoskott. De skott som sitter i den övre delen av kronan är längre och frodigare

och därmed mer begärliga för älgen. Det finns därför i allmänhet flera begärliga skott på en tall och all anledning att göra ett återbesök, alternativt att en annan älg har vägarna förbi. När vi tar hänsyn även till återbetet blir sambanden mer intressanta och komplicerade. Det finns skäl som talar för att sambandet mellan betade toppskott och betade skott inte längre är linjärt när man tar hänsyn till återbete. Om alla tallar har samma risk att bli betade vid varje besök planar dock risken ut successivt eftersom andelen oskadda tallar minskar. Matematiskt kan denna relation beskrivas med en enkel formel (Ekvation 7):

$$p(B) = 1 - (1 - a)^A \quad (7)$$

där p är risken att en tall blir betesskadad, a är andelen tallar som blir betade vid varje "älgbesök" i beståndet och A är antalet besök under ett år. Om vi tänker oss att en konstant andel av tallarna betas vid varje besök kan vi illustrera hur stor risken är för att en specifik tall ska bli betesskadad (Figur 19).



Figur 19. Risken för en tall att bli betesskadad ökar för varje gång en älg besöker beståndet. Om vi tänker oss att älgen inte särskiljer mellan obetade tallar och tallar som redan betats kommer risken att röra sig med avtagande lutning mot asymptoten 100 procent, förutsatt att alla tallar är inom räckhåll.

Det denna modell implicerar är att sambandet mellan älgens utnyttjande av beståndet och andel betade toppskott inte är linjärt. I sin tur innebär detta att en minskning av älgtätheten inte alla gånger behöver resultera i en procentuellt lika stor minskning av andelen betade toppskott. Detta samband kan vid en första anblick vara en möjlig förklaring till att betesskador enligt Äbin inte har minskat i samma takt som älgstammen har sänkts. Det som komplicerar saken är att Äbin inte redovisar skador i enskilda bestånd utan de aggregerade (sammanlagda) betesskadorna för de flera hundra ungskogar som normalt finns i ett älgförvaltningsområde.

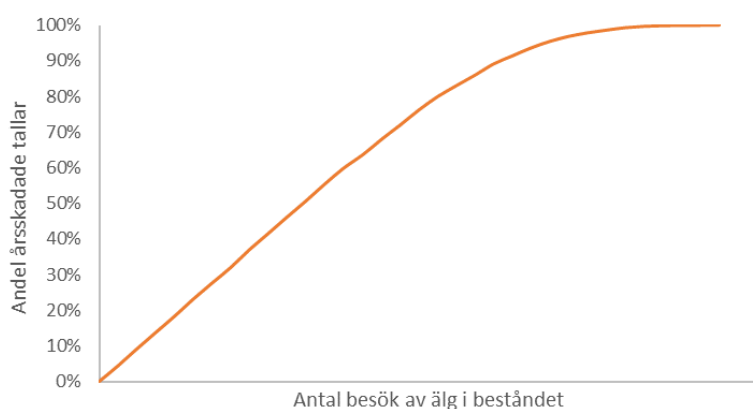
BETTSIM – en modell av älgbete

För att bättre analysera den aggregerade effekten av betesskador på områdesnivå har vi fördjupat analysen ytterligare och utvecklat en mer avancerad mekanistisk datormodell, BETTSIM. Modellen integrerar ny kunskap från BETT-försöket. BETTSIM skiljer sig från den modell som redovisas i Ekvation 7 genom att BETTSIM följer en algoritm som strävar efter att efterlikna älgbetet över tid under varierande förhållanden. Modellen utgör alltså en sorts mycket förenklad "digital kopia" av verkligheten. Via BETTSIM kan vi analysera formen på de samband som modellen ger upphov till då bete på enskilda skott aggregeras till högre nivåer – skottbete på tall -> andel betesskadade tallar på beståndsnivå -> andel betade tallar i hela förvaltningsområdet. Denna simulering är ett komplement till den statistiska modellering vi tidigare redovisat i rapporten.

Vilken skadenivå en viss älgtäthet ger upphov till bestäms i betydande utsträckning av andra områdesspecifika påverkansfaktorer, vilket vår empiriska analys visar i tidigare kapitel. Två områden med helt olika älgtäthet kan därför resultera i samma nivå av betesskador. Om man inte tar hänsyn till

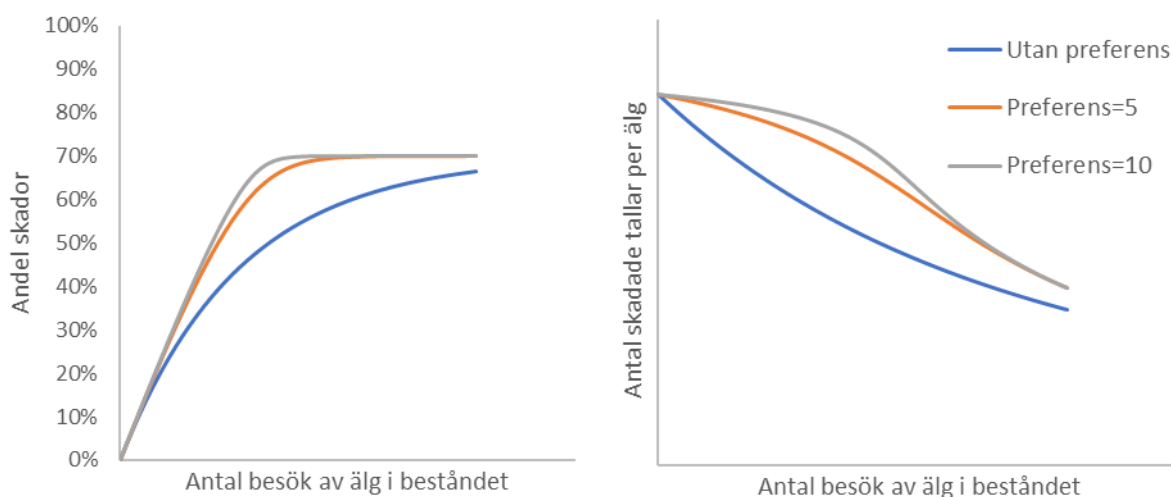
områdesspecifika egenskaper kan därför sådana jämförelser vara missvisande. Inom ett och samma område är, om andra påverkansfaktorer hålls konstanta, relationen mellan älgtäthet och betesskador stabil. I detta avsnitt analyserar vi relationen mellan älgtäthet, betestryck och betesskador. En mer utförlig teknisk beskrivning av BETTSIM finns i Bilaga 6. Här hoppar vi direkt till resultaten.

Skottbete på tall simulerades på beståndsnivå för att undersöka relationen mellan betesskador och älgens utnyttjande av beståndet, vilket motsvarar betestrycket. Resultatet efter många simulerade nivåer av älgtäthet i bestånd som var 1,4 meter i medelhöjd visade på ett linjärt samband mellan älgtäthet och andel årsskador upp till 80 procent skador (Figur 20). Det är först vid skadenivåer över 80 procent som ett icke-linjärt samband infinner sig. Detta är ett viktigt resultat eftersom det i så fall innebär att en minskning av älgtätheten bör leda till en proportionerlig minskning av betesskador på tall. Att sambandet var linjärt upp till 80 procent var oväntat och vi ägnade därför tid att hitta förklaringen till det linjära förhållande som modellen föreslog. Det var först då den matematiska modellen justerades så att den simulerade älggen valde oskadade tallar framför betade tallar som simuleringsmodellens resultat kunde efterliknas (Figur 21).



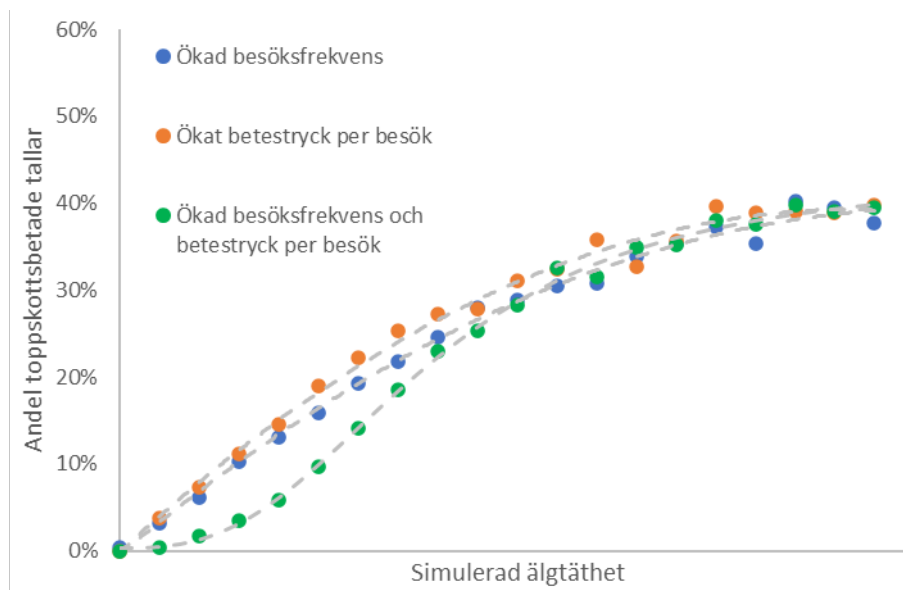
Figur 20. Simulering av skottbetade bestånd som var 1,4 meter i medelhöjd resulterade i ett mer eller mindre linjärt samband mellan älgtäthet och andel betesskador.

Tillsammans ger detta nya perspektiv på förhållandet mellan älgtäthet, betestryck och andel betesskadade tallar. I Figur 21 visas att formen på kurvan påverkas då vi justerar begärlighet (preferens) för oskadade stammar. Vi ser också att skadorna inte nödvändigtvis behöver nå 100 procent oavsett om älgtätheten ökas till extrema nivåer. En sådan situation kan uppstå om till exempel en del av tallarna helt ligger under snö eller om träden är så höga att toppskotten är utom räckhåll (ett tydligt sådant exempel kan vi se på den bild som visas på rapportens omslag). Simuleringen gav också insikt om att antal skadade tallar per älg minskar med älgtätheten. Orsaken är att älgar återkommer till samma bestånd och träffar då på tallar som redan är betade. Är man den sista älggen på säsongen i ett bestånd som blivit kraftigt betat tillför man inte särskilt mycket betesskador så som det registreras i Äbin. Det är värt att notera att skadade tallar per älg påverkas minimalt av älgtätheten vid låga skadenivåer om det finns en preferens för oskadade tallar.



Figur 21. Simulering av älgens relativa preferens för att beta på oskadade tallar, där blå linje representerar ingen preferens, och jämförs med 5 ggr (orange) och 10 ggr (grå) högre preferens för oskadade tallar än för redan skadade tallar. Vänster: Simuleringen visade att sambandet mellan älgtäthet och andel skador i ett bestånd är mer eller mindre linjärt vid 5 och 10 ggr högre preferens för oskadade tallar, medan utvecklingen är mer avtagande utan sådan preferens. Höger: En följd av detta är att det antal tallar som varje älg skadar är relativt opåverkat av älgtätheten vid låga älgtätheter (de orangea och grå linjerna är nästan horisontella i början). Därefter minskar antalet skadade tallar per älg i takt med att älgtätheten ökar. Figuren till vänster visar också en situation där skadorna aldrig uppnår 100 procent oavsett älgtäthet. En sådan situation kan inträffa om en viss del av tallarna är fredade av en fysisk barriär, till exempel en ö, ett hägn eller det faktum att höga träd löper väsentligt lägre risk att skadas. Denna fraktion var satt till 30 procent, vilket är förklaringen till att betesskadorna i figuren planar ut vid 70 procent.

Simulering av andel tall med toppskottsbyte gjordes även för ett stort antal tallbestånd inom ett tänkt förvaltningsområde. Tusen unga tallbestånd som varierade i tallantal och medelhöjd (1–4 meter) slumpades fram för att efterlikna bestånd i ett förvaltningsområde. I dessa bestånd simulerades en ökad älgtäthet över en 20-årsperiod genom att efter varje år först öka besöksfrekvensen för bestånden, därefter genom att hålla besöksfrekvensen konstant och i stället öka betesutnyttjandet vid varje enskilt besök. I en tredje simulering kombinerades dessa två mekanismer, det vill säga en ökad älgtäthet simulerades genom fler besök per bestånd och en större andel betade tallar per besök. I Figur 22 redovisas resultatet av 20 års kontinuerligt ökad älgtäthet där betesskadorna tydligt ökade med älgtäthet till en nivå där de planar ut. Linjerna är skalade för att plana ut ungefär på samma nivå eftersom vi primärt är intresserade av att jämföra formen på kurvan. I modellen inträffade detta då andelen årsskadade tallar uppgick till ca 40 procent. Denna nivå bestäms av hur stor andel av träden som är utom räckhåll för toppskottsbyte (observera att vi inte simulerar vare sig barkgnag, stambrott eller snöns skyddande effekt på lägre träd). Våra simulerade bestånd var (på grund av uniform fördelning) i genomsnitt något högre än den medelhöjd vi observerar i Äbindata (2,5 respektive 2,2 meter). I det lägre skadeintervallet föreslår BETTSIM att sambandet mellan älgtäthet och betesskador antingen är relativt proportionellt (linjärt) eller ett S-format samband där låga nivåer av älgtätheter ger en mycket låg andel skadade tallar. En sådan S-kurva kan till exempel uppkomma om tall utgör en allt större andel av dieten i takt med att älgtätheten ökar.



Figur 22. Vi simulerade tre tänkbara skeenden i tallutnyttjande när älgtheten inom ett förvaltningsområde ökar: a) ökad besöksfrekvens i bestånden, b) ökad andel betade tallar vid varje besök och, c) att såväl besöksfrekvens som andel betade tallar ökar då älgtheten ökar. Kurvorna är skalade.

En förklaring till att BETTSIM föreslår ett mer linjärt samband än den ekologiska modellen i Figur 22 är att vi i simuleringsmiljön kan renodla och isolera sambandet mellan älgthet och betesskador. I den statistiska analysen som redovisas i tidigare kapitel jämförs olika förvaltningsområden med varandra och som vi tidigare nämnt finns ett flertal andra påverkansfaktorer som har inflytande på sambandet. Vi kan till exempel inte förvänta oss att sambandet mellan älgthet och skador är detsamma i ett område med lite tall då det jämförs med ett område med mycket tall. Faktorer som inom ett och samma område medverkar till att påverka sambandet mellan betesskador och älgthet är till exempel variation i väderförhållanden (som kan påverka det totala älgutnyttjandet av ungskogarna under en säsong), förändringar i täthet av andra hjortdjursstammar och förändringar i vegetationens sammansättning. Även älgens tillgänglighet till olika bestånd kan inverka på resultatet. Att analysera hur sådana faktorer inverkar på sambandet kan göras med BETTSIM i framtida projekt.

En intressant och kontraintuitiv aspekt av arbetet med att försöka kartlägga mekanismer i betet är att antal skadade tallar per älg minskar med en ökande älgthet, givet en konstant talltäthet. Detta är en intressant variabel där mer forskning behövs. Om vi kan skatta antalet tallar som skadas per älg och hur det förändras med älgtheten kan vi enkelt räkna ut det totala antalet skadade tallar som fortfarande ökar med älgtheten.

Andra kända och okända påverkansfaktorer

Som nämnts ovan kan antalet påverkansfaktorer vara många, vilket gör att ekologiska observationsstudier kan vara komplexa att utföra och tolka. I följande avsnitt beskriver vi fem andra påverkansfaktorer i lite mer detalj, nämligen övrigt foder (risväxter och lövträd), övriga hjortdjursarter, väder, markens bördighet och geografiska strukturer.

Övrigt foder

Forskning har tydligt visat att Sveriges älgar äter många olika växtarter utöver tall, även under vintern. Andelen tall i olika älgpopulationers vinterdiet kan variera från nära noll till runt 80 procent (Spitzer m.fl. 2023). I centrala och södra Sverige har man funnit spår av drygt 40 olika växtarter i älgarnas vommar oktober–februari (Cederlund m.fl. 1980, Felton m.fl. 2020). Av dessa arter representerar runt 15 minst 1 procent av torrmassan. Från det perspektivet är det inte konstigt att det ibland till synes

saknas en tydlig koppling mellan antalet älgar och betesskador på tall då man jämför mellan olika områden: tallarnas årsskott kan helt enkelt i vissa områden vara en relativt liten del av älgarnas diet medan de i andra områden kan utgöra merparten i dieten, åtminstone delar av året.

Bärris

Kvistar och blad från bärrisbuskarna blåbär, lingon och ljung kan representera stora andelar av älgarnas vinterdiet. I södra Sverige var andelen bärrisfoder av torrmassan i älgarnas vommar under vintern omkring 25 procent (varierade mellan 20–40 procent bland studerade populationer, Felton m.fl. 2020). Liknande siffror har observerats hos älgpopulationen vid kusten söder om Umeå (Nordmaling) genom analys av spillning. På grund av det tunna snötäcket på denna nordliga lokal lyckades älgarna äta mycket bärris under vintern (30–60 procent av DNA dec–feb, Spitzer m.fl. 2023). Älgar kan knuffa bort snön från foderväxterna under vintern, om snön inte är för djup. En uppskattning är att så länge snön är mindre än 30 cm djup äter älgar foder från fältskiktet (Cederlund m.fl. 1980). Det är därför sannolikt att intaget av bärris är signifikant lägre i Norrlands inland där klimatet inte är lika mildt som vid kusten, något som också stöds genom analys av spillning från andra områden i norra Sverige (Spitzer m.fl. 2023).

Trots bärrisets viktiga roll i älgarnas diet (i många områden även vintertid, det vill säga när tallskadorna främst uppstår), är det ovanligt att tillgången på bärris används som förklarande variabel i studier om tallskador. En anledning kan vara att man enbart på senare år fått upp ögonen för hur viktiga risväxterna är. En annan anledning kan vara att det är relativt svårt att uppskatta deras tillgång. Det kräver noggranna uppskattningar av täckningsgrad (procent av marken som täcks av växten) vilket är svårt och känsligt för “observer bias”. Ny forskning (Juvany m.fl. 2023) visar att man bör mäta in både täckning och höjd på bärrisväxterna för att få en riktigt bra uppskattning på hur mycket ätbar biomassa som finns. Detta är ett tidskrävande arbete. Bärrisets förekomst i landskapet var med som variabel i studien om betesskador och foderlandskapet i södra Sverige (Felton m.fl. 2022; se sidan 16), men visade sig inte vara signifikant i modellen. Med andra ord kunde inte variationen i bärrisväxternas förekomst i landskapet förklara variationen i betesskadenivån på tallar i ungskogsbestånden som mättes in. Bristen på signifikans kan i det fallet bero på att inmätningen gjordes på ett för grovt sätt; man noterade bara huruvida bärris dominerade provytan eller inte (1/0). Från vad vi vet om bärrisets roll i hjortdjurens ekologi är det sannolikt att det åtminstone i södra Sverige finns en relation till betesskador på tall, men att mer noggranna mätningar krävs för att påvisa detta.

Det finns också intressanta indirekta effekter av bärris som kan “störa” sambandet mellan talltäthet, betesskador och älgar. I län där tallskog är mer vanlig finns också mer bärris, eftersom dessa buskar trivs bra i talldominerade äldre skogar som släpper ner lagom mycket ljus till marken. Att andelen betesskadade tallar minskar med “mängden tall” i de statistiska modellerna kan alltså påverkas av att det samtidigt blir en högre förekomst av bärris i landskapet, alltså inte bara mer tallfoder i ungskogen. Enheten “antal tallar/hektar i ungskogen” får därmed en extra kraft som förklarandevariabel fast det kanske inte egentligen bara handlar om ungskogen i sig.

Problem kan uppstå om man försöker översätta detta till ett praktiskt råd. Att öka mängden tall i föryngringar låter sig inte göras fortare än vad skogstillståndet och den skogliga omloppstiden ger utrymme för och den ökade mängden tall kommer sedan först om flera decennier att påverka skogslandskapet som helhet där risvegetationen också har ökat generellt. Ett snabbare sätt att öka tillgången på risväxter kan vara att gallra lite hårdare i gran-dominerade skogar, så att ljustillgången förbättras och därmed öka täckningsgraden och höjden på det undertryckta riset som finns där.

Lövträd

En annan grupp foderväxter som kan påverka relationen mellan älgtäthet och betesskador är lövträden. Trädarterna rönn, asp, *Salix* och ek är högt selekterade av älgar (Månsson m.fl. 2007b, Broman 2003). Det betyder att älgarna konsumerar kvistar och blad från dessa trädarter mycket mer

frekvent än vad som kan förutsägas av trädens förekomst i älgarnas hemområde. Finns det till exempel en liten rönn i närheten av en älgmule är det stor sannolikhet att den äts. Detta gör att betestrycket på dessa trädarter idag är mycket högt. Äbin visar att relativt få områden i Sverige har en representation av RASE i över 60 procent av sina provytor. Eftersom Äbin utförs i den habitattyp som bäst gynnar dessa trädslag (pionjärarter som gynnas av störning och god ljustillgång) anses den tillgången oroväckande låg (Naturvårdsverket 2018). De älgpopulationer som trots allt lyckas inkludera relativt stora andelar RASE i sin diet har visats ha högre kalvvikter och bättre reproduktion än älgar med lövträdfattig diet (Felton m.fl. 2020). Andra faktorer påverkar förstås älgpopulationernas vikter och reproduktion i dessa områden, men korrelationen är dock viktig att notera.

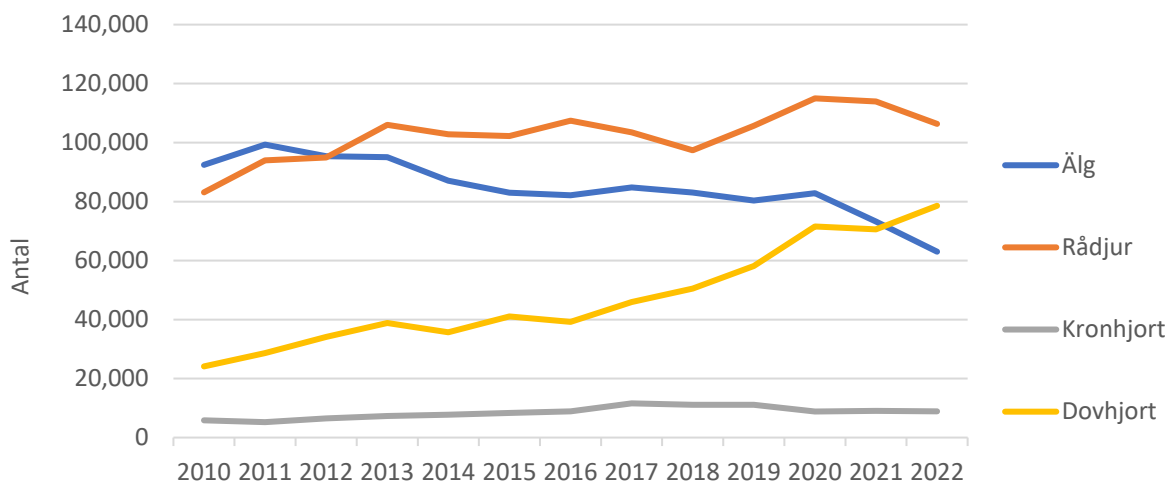
Trots RASE-trädens relativt låga förekomst idag kan de ändå ha en effekt på betesskador. En studie av tallskador i södra Sverige utförd på lokal skala har visat att antalet stammar per hektar av RASE inom beteshöjd i landskapet är negativt korrelerat med betesskador på tall (Felton m.fl. 2022). I en annan studie fann forskarna det motsatta mönstret på ÄFO-nivå: ju mer RASE i ungskogarna som inventerats i Äbin, desto högre andel skadade tallar (Pfeffer m.fl. 2022. För detaljer om dessa studier, se sidan 16). Dessa resultat antyder att relationen mellan antalet älgar och betesskador kan påverkas av tillgången av RASE i de studerade landskapen.

Björk är ett vanligt lövträd och viktigt foder för älg och andra hjortdjur (Månsson m.fl. 2007b, Spitzer 2019). Fastän det ligger nära till hands med antagandet att en större mängd tillgänglig björk borde medföra lägre betesskadenivåer på tall, verkar det vara mer typiskt med svaga samband (Wallgren m.fl. 2013, Bergqvist m.fl. 2014). Bergqvist m.fl. (2014) kunde dock påvisa ett mönster där betesskadorna på tall var högre ifall dessa övertoppades av björk, jämfört med om tallen var högre än björken. Orsaken skulle kunna vara att beskuggningseffekten gör tallens toppskott mer smakliga, men det är inte klarlagt. Det som är viktigt i sammanhanget är att här verkar inte mängden björk vara av stor betydelse för att förklara variationen i betesskador på tall, utan snarare arternas höjrelation, vilket kan försvåra tolkningen av analyser av betesskadenivåer där björk ingår. Det räcker alltså inte att veta hur många björkar man har, utan höjrelationen kan vara minst lika viktig.

Andra hjortdjursarter

Trots att älg är den av våra vilda hjortdjursarter som står för det mesta av betet på tall, är det långt ifrån oviktigt vilka tätheter av rådjur, kronhjort och dovhjort som finns inom samma område. Framför allt är det genom konkurrens om alternativ föda såsom bärris och lövvegetation som andra hjortdjursarter tros kunna förskjuta älgens diet mot mer tall (Spitzer m.fl. 2021), något som kan förstärka mängden betesskador som en given älgpopulation orsakar. Resonemanget förstärks genom resultaten från den DNA-analys som genomfördes 2021 i Äbin-provytor och som visade att i Äbins höjdintervall 1–4 m verkar det vara just älgar som betar på tallens toppskott, eftersom den absoluta merparten (> 90 procent) av DNA från betesskador på tall kunde härledas till älg (opublicerade data).

Inom Sverige har vi mycket stor variation i antal rådjur, kronhjort och dovhjort. I Norrlands och delar av Svealands inland är älg det absolut dominerande hjortdjuret och övriga hjortdjursarter saknas helt eller förekommer i jämförelsevis försumbara tätheter. I andra delar av landet, till exempel Södermanland och Östergötland, förekommer höga tätheter av rådjur, kronhjort och dovhjort, men mer blygsamma tätheter av älg. Det finns idag inte lika bra modeller för beräkningar av populationsstorlekar av rådjur, kronhjort och dovhjort som av älg, utan de studier som har använt dessa som oberoende variabler i analyser har i regel använt avskjutningstal, spillningsdata eller viltolyckor. Ser man hur avskjutningen av de svenska hjortdjursarterna har sett ut under drygt ett decennium tillbaka, blir det tydligt att bara älg har haft en vikande trend (Figur 23), medan övriga har haft ökande trender. Även om trender i avskjutning inte kan direktöversättas till populationsutveckling kan vi anta att rådjur, kronhjort och dovhjort har ökat, medan älg har minskat. Därmed kan det vara så att det generella betestrycket också kan ha ökat i områden där flera hjortdjursarter samexisterar och att en minskande älgpopulation har förskjutit sin diet mot mer tall med konsekvensen att samstämmigheten mellan mängd älg och betesskador på tall blir svagare. Denna förklaring har dock knappast någon relevans i Norrlands och Svealands inland.



Figur 23. Avskjutning av vilda hjorddjur i Sverige under jaktåren 2010/2011 till 2022/23. Källa: www.viltdata.se, avskjutningsstatistik från Svenska Jägareförbundet.

Väder

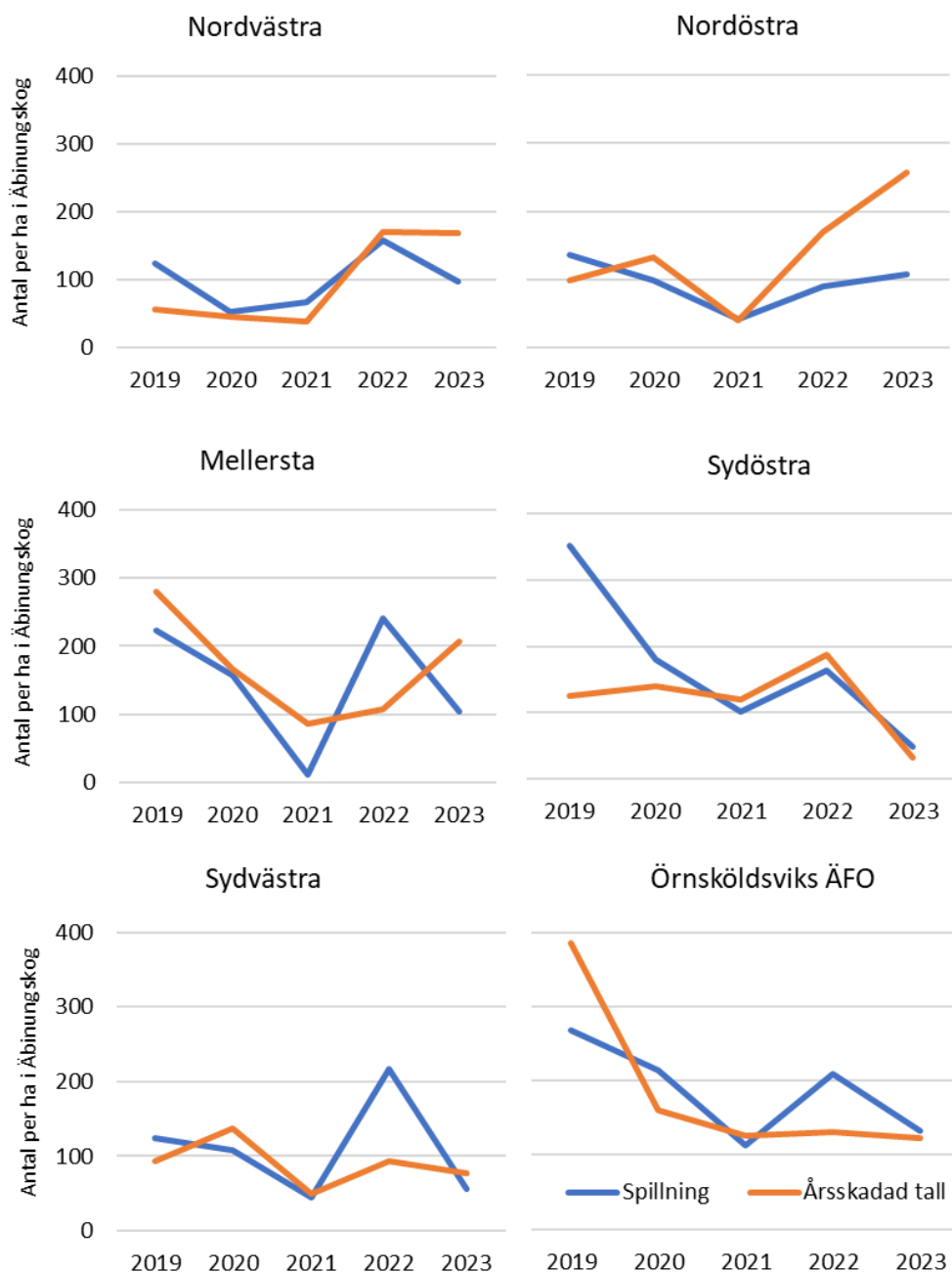
En annan faktor som påverkar betesskador är vädret. Vädret har inte potential att direkt påverka antalet unga tallar som vi hittar på en Äbinyta. Däremot kan vädret påverka älgens rörelser i landskapet. En yta med små tallar som helt täcks av djup snö löper en väsentligt lägre risk att drabbas av betesskador under vintern. Om snöperioden är kort kan detta också vara gynnsamt om man är en tall, eftersom det ger älgerna möjlighet att utnyttja blåbärsriset under en längre period än snörika år. Skare och isbildning kan särskilt påverka möjligheten att komma åt bärris. Sommartorka påverkar också älgens diet, eftersom näringsrika örter då snabbare vissnar ner. Även om vi har praktiska erfarenheter av hur vädrets makter har en inverkan på älgens rörelser är det lite studerat när det gäller koppling till betesskador. I samband med att Äbin genomförs har man under ett antal år inventerat spillning på provytorna i vissa områden. Det är närmare bestämt Västerbottens fem ÄFO:n samt Örnsköldsviks ÄFO där Äbin kombinerats med spillningsinventering på provytan, 2019–2024. Anledningen har varit att öka förståelsen för vad som påverkar älgens utnyttjande. Detta är ännu inte vetenskapligt publicerade resultat men vi kan ändå kort redovisa dessa data.

En intressant slutsats man generellt kan dra av att undersöka spillning i Äbinungskog är att sambandet mellan förekomst av spillning och älgtäthet i ÄFO:t som helhet inte är särskilt starkt då vi jämför mellan områden. Det verkar alltså som att älgarnas utnyttjande av ungsbogen skiljer sig åt mellan områden. Vi mäter alltså inte generell älgtäthet då vi undersöker spillning i Äbinungskogen. Däremot får vi information om hur mycket ungsbogen har blivit utnyttjad av älg.

Antalet spillningshögar som vi hittar per hektar i Äbinskog i Västerbotten och delar av Västernorrland motsvarar antalet betesskadade tallstammar per hektar. Båda varierar mellan ett femtiotal upp till några hundra. Det visar sig att antalet betesskadade tallstammar samvarierar med antal spillningshögar (Figur 24). En sannolik förklaring är att den älgstam som finns i området spenderar mer tid i ungsbogen vissa år och mindre andra år. Genom att studera Figur 24 mer noggrant kan vi även urskilja ett annat intressant mönster. Det verkar nämligen som att betesskadorna för alla områden minskade mellan 2020 och 2021 för att sedan öka mellan 2021 och 2022. Detta mönster är mer eller mindre tydligt för alla sex områden. Antalet spillningshögar följer också detta mönster (förutom i nordvästra Västerbotten). Eftersom detta mönster uppträder synkront mellan områdena tolkar vi att den gemensamma faktorn är vädret. Även om annan variation förekommer (inte minst en slumpmässig sådan) verkar det alltså som att väderbetingelserna gjorde att en mindre tid spenderades i ungsbogen år 2021 jämfört mot både 2020 och 2022. Detta resulterade i en minskning av betesskadorna just detta år. Spillningen minskar också synkront mellan 2022 och 2023 för alla

områden utom nordöstra ÄFOt. Det följs dock inte av en synkron minskning av antalet betesskadade tallar av någon anledning.

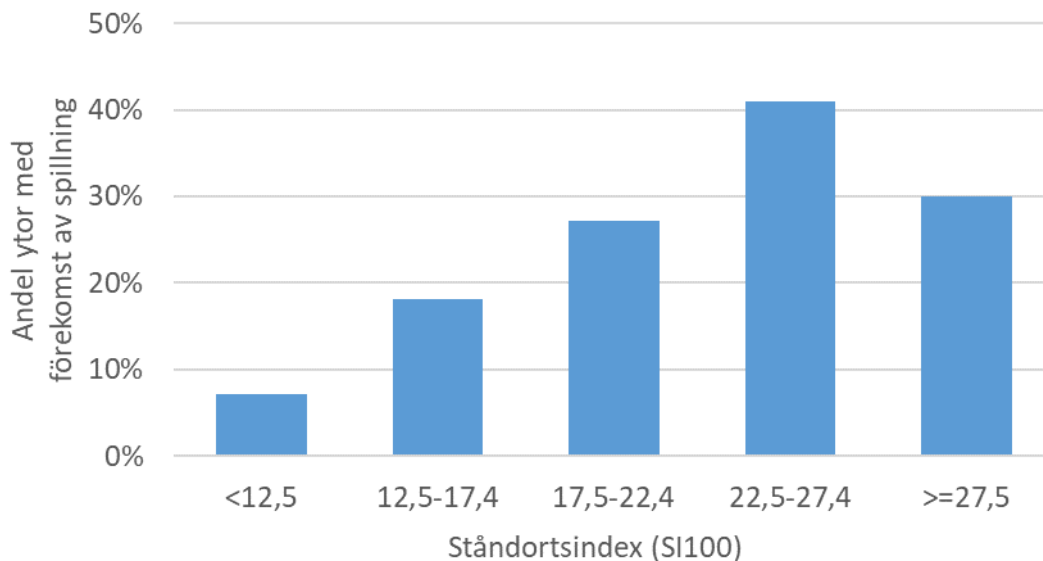
Den preliminära slutsats vi kan dra av dessa ännu opublicerade data är att nyttjandet av ungskogen varierar mellan år och en faktor som påverkar detta är förmodligen vädret. Det bidrar till att associationen mellan mängd älgar och betesskadade tallar är sämre än mellan mängd tallar och betesskadade tallar.



Figur 24. Det finns en samstämmighet mellan hur mycket spillning (blå linje) som hittas i provytorna och hur många tallstammar som har betesskadats det senaste året (röd linje). Samstämmigheten är till viss del också gemensam mellan områdena, vilket särskilt syns år 2022 som konsekvent föregås av ett lägre antal året innan. Figuren visar resultat från Örnsköldsviks ÄFO samt Västerbottens fem ÄFO:n (Nordvästra, Nordöstra, Mellersta, Sydöstra och Sydvästra) där Äbin kombinerats med spillningsinventering 2019–2023.

Markens bördighet

En faktor som varierar stort över Sverige är skogsmarkens bördighet. Skogsbeståndens produktivitet har visat sig förklara en del av variationen mellan bestånd vad gäller betesskador (Bergqvist m.fl. 2014, Månsson m.fl. 2007a). I Äbin skattades under ett antal år ståndortsindex i de bestånd där provytor lades ut. År 2019 registrerades i Äbin dessutom älgspillning på alla provytor som inventerades i Västerbotten och Örnsköldsvik. Vi fann då ett tydligt samband mellan ståndortsindex och andel av provytorna med förekomst av älgspillning (Figur 25). Det är alltså ytterligare en faktor som verkar ha en stor inverkan hur älgen fördelar sig i landskapet. Tallar som växer på bördigare marker har helt enkelt bättre eller mer foder att erbjuda än näringsfattiga marker.



Figur 25. Andel Äbinytor med olika produktionsförmåga (ståndortsindex) där spillning påträffades. Källa: Äbindata från 2019, Västerbotten och Örnsköldsvik.

Geografiska strukturer

Geografin påverkar hur älgarna utnyttjar ett område. I norra Sverige finns ett tydligare mönster med vandringar mellan sommar- och vinterområden än i södra Sverige. Ofta följer då älgarna strukturer i landskapet som dalgångar med mera. Hur älgpopulationen förflyttas säsongvis och har sin tyngdpunkt över året har stor betydelse för i vilken omfattning betesskador kommer att uppträda.

Sammanfattning relevanta påverkansfaktorer

När man undersöker betesskador mellan olika geografiska områden bör man inte förvänta sig en stark korrelation mellan älgtäthet och nivå av betesskador. Det beror på att områden är olika känsliga för betesskador och för att förklara detta behöver man information om andra relevanta faktorer och om möjligt inkludera dem i den statistiska undersökningen. Det är dock inte helt trivialt att ta med alla tänkbara faktorer, eftersom de ofta samvarierar med varandra. För varje variabel man lägger till i den statistiska analysen riskerar man en överanpassning av modellen, vilket gör den sämre på att modellera nya input-data som inte använts i regressionen. Akaike Informations Kriterium (AIC) används för att hitta en balans mellan antal variabler och prediktionsförmåga (se Bilaga 2). Om fokus är att studera sambandet inom ett och samma område över tid är det relevant att avgöra vilka av faktorerna som kan betraktas som konstanta och därmed kan ignoreras i analysen.

Ett sätt att minska den relativa betydelsen av faktorer som inte finns med i analysen är att låta de faktorer som finns med i analysen variera så mycket som möjligt. Ett starkare samband och tydligare

effekt får man om man till exempel har undersökt skador vid många olika älgtätheter (och eventuellt olika talltätheter).

Vad krävs för att nå fem procent betesskador?

Resultaten från den ekologiska modellen i avsnitt En ekologisk-statistisk förklaringsmodell (sidan 28 och framåt) gav oss inte statistiskt säkerställda prediktioner på ÄFO-nivå. Det samband mellan älgtäthet och skador modellen redovisar för att förutspå en genomsnittlig nivå av skador för landets alla ÄFO är inte direkt användbart för det enskilda förvaltningsområdet. Avsaknad av signifikanta samband på ÄFO-nivå beror till stor del på osäkerhet i data, för få datapunkter med begränsad variation i älg- och talltäthet, samt varierande effekter av påverkansfaktorer. I avvaktan på statistiskt säkerställda resultat på ÄFO-nivå kan vi konstatera att de områden som har uppnått det skogliga effektmålet avseende andel årsskadade tallar har en beräknad älgtäthet över tre och under åtta älgar per 1000 hektar. I Tabell 3 visas samtliga ÄFO:n som har nått 5 procent-målet (maximalt 5 procent av tallarna har årsfärska skador) vid någon eller några Äbin, samt de som ligger nära gränsen, det vill säga med < 5,5 procent årsskador. Älgtätheterna kommer från LST-Moose.

Två intressanta mönster framträder i tabellen: För det första har dessa ÄFO i hög utsträckning nått andra uppställda mål gällande betesskador och beteseffekter: 85 procent av tallarna ska vara oskadade av hjortdjur inklusive årsskadade såväl som gamla skador, maximalt 1 procent av granen har årsfärska skador och RASE har gynnsam status på minst 10 procent av ytorna, se grönmarkerade värden i tabellen. För det andra har samtliga av dessa ÄFO haft en uppskattad älgtäthet på ≥ 3 älgar/1000 ha.

För att den ekologiska modellen på sikt ska bli bättre på att förutspå vilken älgtäthet som behövs för att nå målen om max 5 procent skador på tall, skulle mer empiriska data från områden som når detta skademål behövas. Kunskap om dynamiken mellan övriga påverkansfaktorer och skadenivåer på tall, givet en viss tallmängd och älgtäthet, är av stor vikt för en lyckad förvaltning av älg och skog.

Tabell 3. Sammanställning över ÄFO:n som har nått målet om 5 procent betesskadade tallar. Namn på ÄFO, år då 5 procent-målet nåddes, samt nivåer av årsskadad tall, oskadad tall, årsskadad gran, förekomst av RASE (samtliga treårsmedelvärden) och älgtäthet efter jakt (individer/1000 ha) anges. Grönmarkerade siffror är de som har nått det specifika nationella målet för den variabeln (85 procent av tallarna ska vara oskadade av hjortdjur inklusive årsskadade såväl som gamla skador, maximalt 1 procent av granen har årsfärska skador och RASE har gynnsam status på minst 10 procent av ytorna).

Län	ÄFO	År	Årsskadad tall	Oskadad tall	Årsskadad gran	RASE	Älg-täthet
Östergötland	ÄFO 6 Vadstenaslätten	2020	5	65	1,0	36	3,6
Östergötland	ÄFO 6 Vadstenaslätten	2024	5	73	0,7	32	3,7
Västmanland	ÄFO 1 Fagersta-Möklinta	2017	4	70	0,1	12	6,4
Västmanland	ÄFO 2 Gunnilbo	2024	5	63	1,4	10	7,9
Gävleborg	ÄFO 1 Strömsbruk	2020	3	89	0,0	21	6,2
Gävleborg	ÄFO 1 Strömsbruk	2022	4	93	0,1	21	5,4
Gävleborg	ÄFO 1 Strömsbruk	2024	4	90	0,2	18	5,8

Gävleborg	ÄFO 5 Ljusnan-Voxnan	2022	5	74	1,0	2	4,1
Gävleborg	ÄFO 6 Öster-Ljusnan	2020	5	78	0,0	10	5,9
Gävleborg	ÄFO 6 Öster-Ljusnan	2021	4	85	0,0	12	5,6
Gävleborg	ÄFO 6 Öster-Ljusnan	2022	5	85	0,0	14	5,9
Gävleborg	ÄFO 6 Öster-Ljusnan	2023	5	86	0,1	14	6,6
Gävleborg	ÄFO 6 Öster-Ljusnan	2024	5	83	0,3	13	7,9
Jämtland	ÄFO 6 Härjedalen	2022	5	72	0,8	0	4,4
Västerbotten	ÄFO 1 Nordvästra	2021	4	59	0,0	2	3,5
Norrbottnen	ÄFO 3	2021	4	68	1,3	0	3,1
Norrbottnen	ÄFO 3	2022	4	75	0,7	0	3,0

Diskussion

Vi finner i den här rapporten att det finns begränsade möjligheter att dra slutsatser angående relativa effekter av talltillgång kontra älgtäthet på betesskador inom älgförvaltningsområden. Det råder avsaknad av experimentella studier på relevant skala, så forskare har varit begränsade till observationsstudier av korrelativ karaktär mellan olika områden. Det finns flera statistiska och biologiska orsaker till att relationen mellan betesskador, älg- och talltäthet är komplicerade att förstå och förutsäga då olika områden analyseras. Felaktig tolkning i andra och tredje hand av tidigare vetenskapliga studier utförda i Sverige har haft ett inflytande på älgförvaltningen. Vi lyfter här tre huvudsakliga slutsatser från vår rapport och diskuterar sedan generella lärdomar för framtida studier och ger vägledning för förvaltningen.

1) En tidsserieanalys av 116 älgförvaltningsområden visar att skadorna på en övergripande nivå minskar då älgtätheten minskar eller då talltätheten ökar, vilket indikerar att förvaltningsåtgärderna fungerar. Analysen visar också att antalet skadade tallar ökar då fler tallar finns tillgängliga per älg. Skadorna spås dock ut eftersom antalet oskadade tallar ökar snabbare.

2) Genom att tillämpa en "ekologisk" (icke-linjär) modell på data från dessa 116 ÄFO:n under åren 2015–2024, drar vi den statistiskt underbyggda slutsatsen att både tall- och älgtäthet påverkar skadorna, och att älgtätheten i genomsnitt har något större procentuell effekt än talltätheten på andel skadade tallar. Går vi ner till enskilda analyser på länsnivå blir effekterna mer osäkra och varierar starkt mellan länen. På ÄFO-nivå är sambanden så svaga att inga säkra slutsatser kan dras, sannolikt på grund av andra påverkansfaktorer (till exempel tillgång på bärris, lövträd, konkurrens från andra hjortdjursarter etc.), mätosäkerhet samt att observationerna är så få. Det datamaterial som vi använt är än så länge otillräckligt för att kunna dra slutsatser om funktionella samband inklusive effekt av olika förvaltningsalternativ för enskilda ÄFO:n.

3) För att bättre förstå vad som händer på liten skala använde vi en datorsimulering av älgens betesmönster. På beståndsnivå visade modellen på ett mer eller mindre linjärt samband mellan toppskottsbyte och antal beståndsbesök av älg. Resultatet kan förklaras av mekanismer i betet som innebär att oskadade tallar löper större risk att betas än tallar som betats tidigare under säsongen. På områdesnivå var sambandet något mer komplicerat.

Generella lärdomar för framtida studier

Experimentella studier och observationsdata

Att experimentella studier saknas i allt väsentligt är inte konstigt, eftersom sådana studier över en så stor geografisk kontext skulle kräva betydande anpassningar (kanske rent av uppoffringar) kopplade till jakt och/eller skogsbruk. Detta eftersom man skulle behöva göra större förändringar i en variabel, till exempel mängden älg, medan man behåller övriga variabler konstanta, till exempel mängden foder och mängden övriga hjortdjur, för att slutligen följa utvecklingen i den variabel som man är intresserad av, i det här fallet betesskador på tall. Samma svårighet möter man om förändringen i stället skulle gälla mängden tall i området. Trots dessa utmaningar är det dock inte omöjligt att genomföra storskaliga experiment och vi detaljerar sådant tillvägagångssätt nedan. Men i brist på experimentella studier kan framtida studier vinna mycket på att studera utvecklingen av betesskador inom ett givet område, över tid, istället för att jämföra olika områden med varandra under en kort tidsperiod.

Tolkning av regressionsresultat

Oavsett vilken metod man använder för att väga effekten av oberoende variabler mot varandra är det viktigt att tolka resultatet på rätt sätt. Har man till exempel använt transformation/standardisering med avseende på standardavvikelsen (Z-score) måste man vara medveten om att en högre parameterskattning visar på en större effekt i termer av variabelernas standardavvikelser. För att göra det lättare för läsare att förstå detta bör man då forskningsresultat redovisas, tydligt förklara sådana förhållanden i resultattabeller och liknande. För förvaltningsändamål är man ofta intresserad av procentuella effekter, det vill säga hur många procent betesskadorna minskar om älgstammen minskar med en procent, vilket innebär att z-transformerade effekter först blir missvisande och måste räknas om till procentuella. Observera samtidigt att avsaknad av statistiskt signifikant samband inte är ett bevis på att samband saknas i ekologisk mening. Det kan också bero på att de data som har använts har varit otillräckliga för att uppnå ett statistiskt signifikant samband. Den vetenskapliga analysen går oftast ut på att förkasta att samband saknas snarare än att bevisa att ett samband finns.

Antal eller andel betesskadade tallar?

Det är viktigt att skilja mellan andel skadade tallar och antal skadade tallar. Analyser av antal skadade tallar ger tydligare och mer robusta resultat än analyser med andel skadade tallar. Även om man i slutändan är intresserad av andelen skadade tallar är det rimligt att utgå från antalet skadade tallar i den statistiska (eller mekanistiska) förklaringsmodellen. Detta eftersom älgens bete snarare påverkas av antalet tallar som betas, och därmed biomassa som ätits, än hur stor andel dessa tallar utgör av det totala antalet tallar.

Det är också av pedagogisk vikt att förklara och förstå att fler tallar i landskapet inte innebär att den absoluta mängden betesskador generellt minskar. Fler tallar innebär nämligen att fler tallar kommer att bli betesskadade. Men tack vare en utspädningseffekt, som vi i denna rapport har påvisat, minskar andelen betesskadade tallar i takt med att antalet tallar ökar (allt annat lika).

Medvetenhet om mätvariablers skiftande "kvalitet"

Vi har i denna rapport belyst att mätvariablerna mängden tall och mängden älg inte är av samma kvalitet i våra tillgängliga dataset eftersom de varierar i svårighetsgrad att kvantifiera. Mängden älg är svårare att kvantifiera än mängden tallstammar i ett givet område. Spillning på provyta kan ha en närmare koppling till betesskador på tall än vad älgtäthet uträknad över ett helt ÄFO har. Samtidigt ska det understrykas att eftersom andelen Äbin-ungskog kan variera påtagligt mellan olika ÄFO:n, och tid spenderad i ungskog är kopplad till ytterligare variabler såsom snödjup, kan man räkna med att variabeln spillning på provyta kommer att ha olika förklaringsmodeller för olika ÄFO:n. Detta understryker nyttan av att utföra analyser inom samma område över tid – inte mellan områden.

Även mängden tall och mängden skadade tallar kan vara svåra att kvantifiera. Inom Äbin finns till exempel problem med relativt stor mellanårsvariation. Talltäthet är en variabel som i verkligheten har en låg variation mellan år inom ett område men där vi ibland kan se mycket stor variation i Äbindata mellan olika år. Ansträngning bör göras för att minska variationen, som kan bero på både stickprovsstorlek och hur registrering i fält sker (till exempel hur välkalibrerad fältpersonalen är). Ett sätt att minska variationen är att öka stickprovets storlek, men det kostar förstås mer pengar.

Index för bärris och andra födoslag

Framtida studier bör försöka kvantifiera tillgången på annat foder än bara tall, när de försöker förstå variationen i tallskador, eftersom fodertillgång är en viktig påverkansfaktor. Hur stor påverkan alternativt foder har på nivå av betesskador på tall kan variera mellan områden och mer studier behövs för att kartlägga detta utförligare. Dessutom behövs bättre uppskattningar av fodertillgång för att förstå hur olika skogsbruksåtgärder påverkar tillgången, vilket är en viktig fråga för framtida studier. Det finns redan bra metoder för att kvantifiera mängden foder med stor detalj på provtytor. Detta är dock tidskrävande och dyrt att göra i större skala. Framsteg har gjorts nyligen som kommer att vara till hjälp för att uppskatta fodertillgången även över större områden. Nya matematiska funktioner har tagits fram för att räkna ut täckningsgrad och foderbiomassa av blåbär, lingon och ljung i Sveriges produktionsskogar, på både liten och stor skala (Hedwall m.fl., under granskning, Juvany m.fl. 2023). Inom kort kommer även modeller (baserade på bland annat fjärranalysdata) att publiceras som uppskattar antal stammar inom beteshöjd per hektar av tall, björk och RASE över all skogsmark i Sverige (alltså inte bara ungskog). Resultatande kartor är tänkta att användas både i förvaltning och forskning, dock med relativt storskalig upplösning. Fjärranalys är en lovande väg framåt för forskningen för att på skalor relevanta för förvaltningen kontinuerligt uppskatta fodertillgång och därmed bättre förstå skadesituationen.

Fortsatt forskning

I denna rapport har vi påvisat flera olika intressanta aspekter av systemet älg-tall-bete som forskningen bör gå vidare med. Eftersom många hittills publicerade angreppssätt har liknat varandra är det angeläget att undersöka frågan från nya vinklar. Exempel på studier som vi tror skulle föra kunskapen framåt på särskilt ändamålsenligt sätt utifrån dagens kunskapsläge och behov inkluderar både mer storskaliga och mer detaljerade upplägg. Det som kanske vore av störst relevans för förvaltningen är att upprätta särskilt designade försök på landskapsskala, där både fodertillgång och älgtäthet påverkas för att utvärdera effekter på betet, på ÄFO- eller ÄSO-nivå (älgskötselområde). Ett sådant försök skulle behöva följas under en längre tidsperiod, eftersom fördröjningar i respons kan förekomma beroende på att ett område där betetrycket har varit högt under en tid också kan behöva tid att återhämta sig i termer av fodertillgång och foderavkastning. Ett annat lovande angreppssätt är att observera utvecklingen av betesskador på ett detaljerat sätt inom ett område över en längre tid och koppla det till älgarnas rörelsemönster och resurser.

Vidare är det angeläget att mer i detalj studera hur älgen betar på tall och vad får det för konsekvenser för sambandet mellan betetryck och betesskador. Ett betetryck som ligger på 10–15 procent av tallens sidoskott kan låta lite, men det spelar oerhört stor roll var någonstans på en tall som betet sker för hur stor barrmasseförlust det medför. Årsskott högt upp på tallen väger många gånger mer än de långt ner. Om en förändring i betetryck gör att sidoskottsbetet minskar kan det också medföra stora minskningar i konsumerad biomassa som inte fångas upp av Äbin. Eftersom vi idag inte vet hur betet fördelar sig på hela tallen för tallar av olika höjd, saknar vi viktiga verktyg för att inkludera sådan kunskap i våra modeller.

Vi har också en hel del kvar att lära oss om älgens selektivitet gällande tall och andra foderslag. Särskilt intressant är om det finns outnyttjade uppväxlingseffekter som vi kan dra nytta av genom att tillföra mer tall eller annat foder, alternativt minska älgpopulationerna. Om förändringarna i skadeeffekten inte följer linjära mönster, kan det finnas möjlighet att nyttja detta till mångas fördel, så kallade synergieffekter. Som sista exempel anser vi att man bör gå vidare och bygga mer kunskap om hur

spillningsinventering i ungskog kan kombineras med älgtäthetsuppskattningar för att få ett bättre underlag för älgens utnyttjande av ungskog, samt hur sådan information kan användas i viltförvaltningen. Högre precision om hur älgen nyttjar landskapet kan både räta ut vissa frågetecken kring betesskadornas fördelning och variation, samt göra att förvaltningsråd kan skraddarsys för enskilda ÄFO:n i större utsträckning.

Vägledning för förvaltningen

Egentligen borde de åtgärder som kan vidtas för att uppnå en balans mellan älgstammens numerär och en rimlig betesskadenivå på skogen vara både enkla och oomtvistade. Är betesskadorna för höga så är ett av förvaltningsalternativen att minska antalet hjortdjur. Detta är det huvudsakliga argumentet som förs fram av markägarsidan. Motkravet från jägarsidan är att tillgodose det vilda en basnivå av foder. Det är också ett rimligt krav, eftersom Sverige har valt en linje där skogsbruk ska samsas med flera andra användningsområden av skogen och skogsekosystemet. Det är alltså inte helt jämförbart med jordbruket. Vad en basnivå avseende viltfoder i skogen innebär är i dagsläget inte definierat. De nationella mål som Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket konkretiserade 2018 innehåller dock kvantifierade mål avseende föryngring av tall (Naturvårdsverket 2018). De mål som antogs innebär att marker där tallen är det bättre trädslaget ur produktionssynvinkel också ska föryngras med tall och inte gran. Dessutom ska marker där tall och gran producerar lika bra föryngras med minst 25 procent tall. I och med dessa mål finns åtminstone en grund att stå på vad gäller ansvar även för markägarsidan. Utöver detta florerar en hel del önskemål om en viltanpassad skogsskötsel, där åtgärder såsom tidpunkt för röjning väljs mot beaktande av risk för betesskador och foderskapande åtgärder som värnar foder för hjortdjuren. Dock finns inga andra formella mål antagna. I stället är utgångspunkten att markägarsidan tar eget ansvar och använder skogsskötselmetoder som också tar hänsyn till foderaspekten. Den diskurs som på senare år har handlat om att det skulle vara mer effektivt att komma till rätta med betesskador genom att öka mängden tall har i viss mån skapat förvirring bland dem som är inblandade i den operativa älgförvaltningen på olika nivåer i systemet.

Vi har i denna rapport redogjort för delkomponenter i den statistiska metoden regression, och en av dessa delkomponenter är alltså "effekt" som redovisas i regressionens koefficienter. Dessa är till stöd för tolkningen av de data man analyserar. Men för att kunna dra slutsatser om vilka åtgärder som i ett operativt hänseende är mest effektiva behöver man ta hänsyn till många ytterligare faktorer. Enligt vår mening går det alltså inte att på ett allmängiltigt sätt konstatera att det skulle vara mer effektivt att föryngra skogen med ett trädslag som är ett begärligt foder för djuren och därigenom minska problemet med betesskador. Vad som är effektivt att göra i samhälls- eller operativ mening beror till stor del på helt andra saker som kostnadseffektivitet, långsiktighet, genomförbarhet med mera. Därtill har olika ÄFO:n olika förutsättningar, så något entydigt svar på frågan vore orealistiskt.

Det är inte alltid så att ett forskningsresultat direkt kan omsättas i praktisk vägledning. Det behövs ofta ett flertal samstämmiga undersökningar som påvisar liknande resultat innan man är redo att ta det steget. I Sverige har myndigheter en viktig funktion att omsätta forskningsresultat till vägledning eller till styrande regler via föreskrifter. Det sker ofta också via ett samspel mellan myndigheter och riksdag som stiftar de lagar som till exempel ska gälla för förvaltning av skog och älg. Denna rapport utgör ytterligare ett underlag till myndigheter (framför allt Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen) att formulera vägledning kring kunskap och förhållningssätt. I det regeringsuppdrag som dessa myndigheter presenterade 2023 har man tagit steg i denna riktning via de förslag som presenterades och via det program om skog och klövvilt som Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen initierade 2024 tillsammans med sektorn (Naturvårdsverket 2023).

En mer konkret vägledning utifrån denna rapport kan vara att varje förvaltningsområde besitter unika egenskaper som inte på ett bra sätt kan omhändertas då man gör generella analyser baserade på många områden, till exempel alla Sveriges älgförvaltningsområden. Här ligger det mantra som genomsyrar vår svenska älgförvaltning, nämligen att den ska vara adaptiv och att kunskapen om det egna området successivt och systematiskt ska byggas upp av de som är operativt inblandade i

förvaltningen. Det implicerar också att man behöver följa ett område över tid för att bättre förstå känslighet för betesskador och vad som påverkar dynamiken i området.

Slutsatser

- Landets älgförvaltningsområden varierar i andelen betesskadade tallar. Vi kunde förklara hälften av denna variation med hjälp av variablerna älg- och talltäthet med stöd av en statistisk modell.
- Vår analys visar att älg har lika stor eller större effekt på andelen betesskadade tallar jämfört med vad mängden tall har. Förklaringen till att vår analys kommer fram till en annan slutsats än tidigare studier beror sannolikt på ett större dataunderlag och en mer omfattande statistisk modell som tar hänsyn till såväl ekologiska mekanismer som till okända påverkansfaktorer på ÄFO-nivå.
- Antalet betesskadade tallar ökar antingen om älgtätheten ökar eller om antalet tallar ökar. En viktig skillnad dem emellan är att en ökning av antalet tallar ger en utspädningseffekt som gör att andelen betesskadade tallar minskar.
- Statistiskt försvarbara prognoser av effekterna på betesskadorna av älg- och talltäthet kunde tas fram för några län, men inte på ÄFO-nivå. Sambandet, framför allt för älgeffekten, varierade stort mellan län.
- En mekanistisk utforskande datorsimulering av betesskador indikerade att sambandet mellan älgtäthet och betesskador för ett enskilt bestånd är mer eller mindre proportionellt. Simuleringens resultat kan förklaras av att obetade tallar löper större risk att bli betade än tallar som betats tidigare under samma säsong. När betesskador på tall inom ett helt förvaltningsområde simuleras blir sambandet något mer komplicerat, även om det finns en tydlig relation mellan älgtäthet och betesskador. En förklaring till ett tydligare samband i simuleringen jämfört med den statistiska modellen är att simuleringen inte störs av andra påverkansfaktorer.
- Tolkning av resultat kan försvåras av standardisering och beroenden i data. Standardisering (med z-transformering) av variabler i en regressionsanalys försvårar jämförelser av den procentuella effekten av till exempel tall- och älgtäthet på betesskador. En översättning till procentuella förändringar i variabler är mer intuitiv och bör användas för att underlätta tolkning. Därtill kan det beroende som finns mellan antal betesskadade tallar och det totala antalet tallar bidra till att tall i regressionsanalyser får en högre förklaringsgrad än älgtäthet.
- Älgens selektiva val av födoväxter inverkar på i vilken proportion tall betas. Förhållandet påverkas av vegetationens sammansättning. Teoretiskt kan det selektiva betet medverka till att förklara varför betesskador på tall är högre i tallfattiga områden.
- Andra påverkansfaktorer (eng. confounding factors) kan leda till felaktiga slutsatser om orsakssamband. Dessa kan vara skillnader i geografi mellan områden eller skillnader över tid inom och mellan områden. Genom att ta hänsyn till andra påverkansfaktorer i analysen kan det direkta sambandet mellan betesskador, älgtäthet och tallmängd bli mer tydligt och jämförbart mellan områden. Analysen försvåras dock av att påverkansfaktorer ofta samvarierar.
- De lärdomar för forskningen som vi särskilt vill lyfta är behovet av studier över tid inom områden i stället för jämförelser mellan olika områden. Utöver andel betesskadade tallar bör de statistiska analyserna även kompletteras med antal betesskadade tallar. Förbättrade index på bärris och foderträd kan i framtiden bli en tillgång i analysen.

Referenser

- Andren, H., & P. Angelstam. 1993. Moose browsing on Scots pine in relation to stand size and distance to forest edge. *Journal of Applied Ecology* 30:133–142.
- Angelstam, P., P. E. Wikberg, P. Danilov, W. E. Faber, & K. Nygren. 2000. Effects of moose density on timber quality and biodiversity restoration in Sweden, Finland and Russian Karelia. *Alces* 36:133–145.
- Bergqvist, G., Bergström, R. & Wallgren, M. 2014. Recent browsing damage by moose on Scots pine, birch and aspen in young commercial forests – effects of forage availability, moose population density and site productivity. *Silva Fennica* 48(1).
- Bergqvist, G., M. Wallgren, H. Jernelid, & R. Bergström. 2018. Forage availability and moose winter browsing in forest landscapes. *Forest Ecology and Management* 419:170–178.
- Bergström, R. & Danell, K. 1987. Effects of Simulated Winter Browsing by Moose on Morphology and Biomass of Two Birch Species. *Journal of Ecology* 75(2): 533–544.
- Niemelä, P., Hagman, M. & Lehtilä, K. 1989. Relationship between *Pinus sylvestris* L. origin and browsing preference by moose in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4(1-4): 239–246.
- Broman, E. 2003. Environment and moose population dynamics. Doctoral thesis. Institutionen för miljövetenskap och kulturvård. Göteborgs universitet. Department of Environmental Science and Conservation, University of Gothenburg.
- Bubnicki, J. W., Churski, M., Schmidt, K., Diserens, T. A. & Kuijper, D. P. J. 2019. Linking spatial patterns of terrestrial herbivore community structure to trophic interactions. *eLife* 8:e44937.
- Bunnefeld, N., L. Börger, B. van Moorter, C. M. Rolandsen, H. Dettki, E. J. Solberg, & G. Ericsson. 2011. A model-driven approach to quantify migration patterns: individual, regional and yearly differences. *Journal of Animal Ecology* 80:466–476.
- Cederlund, G., H. Ljungqvist, G. Markgren, and F. Stålfelt. 1980. Foods of moose and roe-deer at Grimsö in central Sweden - results of rumen content analysis. *Swedish Wildlife Research* 11:169–247.
- Faber, W.E. & Lavsund, S. 1999. Summer foraging on Scots pine (*Pinus sylvestris*) by moose (*Alces alces*) in Sweden - Patterns and mechanisms. *Wildlife Biology* 5: 93–106.
- Felton, A. M., Felton, A., Raubenheimer, D., Simpson, S. J., Krizsan, S. J., Hedwall, P.-O. & Stolter, C. 2016. The nutritional balancing act of a large herbivore: An experiment with captive moose (*Alces alces* L). *Plos One* 11(3): e0150870.
- Felton, A. M., Hedwall, P.-O., Felton, A., Widemo, F., Wallgren, M., Holmström, E., Löfmarck, E., Malmsten, J. & Karine Wam, H. 2022. Forage availability, supplementary feed and ungulate density: Associations with ungulate damage in pine production forests. *Forest Ecology and Management* 513: 120187.
- Felton, A. M., Holmström, E., Malmsten, J., Felton, A., Crowsigt, J. P. G. M., Edenius, L., Ericsson, G., Widemo, F. & Wam, H. K. 2020. Varied diets, including broadleaved forage, are important for a large herbivore species inhabiting highly modified landscapes. *Scientific Reports* 10(1).
- Felton, A. M., Wam, H. K., Felton, A., Simpson, S. J., Stolter, C., Hedwall, P. O., Malmsten, J., Eriksson, T., Tigabo, M. & Raubenheimer, D. 2021. Macronutrient balancing in free-ranging populations of moose. *Ecol Evol* 11(16): 11223–11240.
- Felton, A. M., Wam, H. K., Mathisen, K. M., Stolter, C. & Wallgren, M. 2018. The complexity of interacting nutritional drivers behind food selection, a review of northern cervids. *Ecosphere* 9(5).
- Greenwood, J. J. D. & Elton, R. A. 1979. Analysing experiments on frequency-dependent selection by predators. *Journal of Animal Ecology* 48: 721–737.

- Halleröd, B. & Stern, P. 1991. Att jämföra äpplen och päron med bananer: Kommentar till användandet av standardiserade regressionskoefficienter. *Sociologisk Forskning* 28(1): 75–86.
- Juvany, L., P.-O. Hedwall, A. Felton, K. Öhman, M. Wallgren, C. Kalén, A. Jarnemo, H. Johansen, and A. Felton. 2023. From simple metrics to cervid forage: Improving predictions of ericaceous shrub biomass. *Forest Ecology and Management* 544: 121120.
- Kalén, C. 2018. Simulating selective harvest and impact on age structure and harvest efficiency of moose in Sweden. *Alces* 54: 15–26.
- Kalén, C., Andrén, H., Månsson, J. & Sand, H. 2022. Using citizen data in a population model to estimate population size of moose (*Alces alces*). *Ecological Modelling* 471.
- Länsstyrelsen i Värmlands län. 2024. Övergripande riktlinjer för älg- och kronhjortsförvaltningen i Värmlands län.
- Månsson, J., Andrén, H., Pehrson, Å. & Bergström, R. 2007a. Moose browsing and forage availability: a scale-dependent relationship? *Canadian Journal of Zoology* 85(3): 372–380.
- Månsson, J., Kalén, C., Kjellander, P., Andrén, H. & Smith, H. 2007b. Quantitative estimates of tree species selectivity by moose (*Alces alces*) in a forest landscape. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22(5): 407–414.
- Naturvårdsverket. 2018. Uppföljning av mål inom älgförvaltningen – Redovisning av regeringsuppdrag. Ärendenr: NV-08872-17.
- Naturvårdsverket. 2023. Skog och klövvilt – Redovisning av regeringsuppdrag. Ärendenr: NV-06096-22.
- Naturvårdsverket. 2024. Beslut. Ärendenr: NV-06601-23.
- Pearson, K. 1897. Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60(359-367), 489–498.
- Pfeffer, S. E., Dressel, S., Wallgren, M., Bergquist, J. & Kalén, C. 2022. Browsing Damage on Scots Pine: Direct and Indirect Effects of Landscape Characteristics, Moose and Deer Populations. *Diversity* 14(9).
- Pfeffer, S. E., Singh, N. J., Cromsigt, J. P. G. M., Kalén, C. & Widemo, F. 2021. Predictors of browsing damage on commercial forests – A study linking nationwide management data. *Forest Ecology and Management* 479.
- Regeringens proposition 2009/10:239. Älgförvaltningen.
- Regeringens proposition 2021/22:58. Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och ökade incitament för naturvården i skogen med frivillighet som grund.
- Spitzer, R. 2019. Trophic resource use and partitioning in multispecies ungulate communities. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Spitzer, R., Coissac, E., Cromsigt, J. P. G. M., Felton, A. M., Fohringer, C., Landman, M., Neumann, W., Raubenheimer, D., Singh, N. J., Taberlet, P. & Widemo, F. 2023. Macro-nutritional balancing in a circumpolar boreal ruminant under winter conditions. *Functional Ecology* 37(5): 1256–1268.
- Spitzer, R., Coissac, E., Felton, A., Fohringer, C., Juvany, L., Landman, M., Singh, N. J., Taberlet, P., Widemo, F. & P.G.M. Cromsigt, J. 2021. Small shrubs with large importance? Smaller deer may increase the moose-forestry conflict through feeding competition over *Vaccinium* shrubs in the field layer. *Forest Ecology and Management* 480.
- Sveum, J. 2022. Diverging national methods used to survey moose browsing damage in Scandinavia. Master Thesis. Inland Norway University of Applied Sciences.

- SvJF. 2024. Fokus Älg – ståndpunkter om älg och älgförvaltningsystemet. www.jagareforbunet.se
- Wallgren, M., Bergström, R., Bergqvist, G. & Olsson, M. 2013. Spatial distribution of browsing and tree damage by moose in young pine forests, with implications for the forest industry. *Forest Ecology and Management* 305: 229–238.
- Wallgren, M. 2023. BETT-försöket de första tio åren. Betets Effekter på Tallens Tillväxt 2012–2022. Arbetsrapport 1173-2023. Skogforsk.
- van Moorter, B., Singh, N. J., Rolandsen, C. M., Solberg, E. J., Dettki, H., Pusenius, J., Månsson, J., Sand, H., Milner, J. M., Roer, O., Tallian, A., Neumann, W., Ericsson, G. & Mysterud, A. 2021. Seasonal release from competition explains partial migration in European moose. *Oikos* 130: 1548–1561.
- Widemo, F., Leonardsson, K., & Ericsson, G. 2022. Samförvaltning av älg och skog – analyser av den nya älgförvaltningen under perioden 2012–2021. Rapport 7044. Naturvårdsverket.
- Widemo, F. & Leonardsson, K. 2024. Älgstammens utveckling och älgförvaltningen i siffror. Naturvårdsverket (rapporten har i skrivande stund inte fått ett officiellt rapportnummer).
- Zimmermann, B., Mathisen, K. M., Ausilio, G., Sand, H., Wikenros, C., Eriksen, A., Nordli, K., Wabakken, P., Aronsson, M., Persson, J., Garcia Cuesta, I., Hellbaum, P., Leroy, R., Loosen, A., de Marenac, O., Partemi, R., Skybak, S., Sveum, J., Tajima, M., & Versluijs, E. 2022. Elgvandringer i grenseland med følger for skogbruk, jakt og rovdyr (in Norwegian). Sveriges lantbruksuniversitet.

Bilagor

Bilaga 1 – Översikt vetenskapliga studier

Översikt över vetenskapligt publicerade studier som har undersökt samband mellan betesskador på tall, mängd tall och mängd älg.

Var	Skala	n	Tallskada definition	Tallskada enhet	Enhet för älgindex	Enhet för talltillgång	Enhet alternativt foder	Statistisk metod	Standardisering
<i>Andrén och Angelstam (1993). Moose browsing on Scots pine in relation to stand size and distance to forest edge</i>									
Vilhelmina & Grimsö	Bestånd	36	Toppskotts-bete	Andel skadade stammar	Täthet älgspillningshögar i bestånd	# stammar/ha	täckning av björk, asp, rönn, gran och en	Stepwise multiple regression	Ingen
<i>Bergqvist m.fl. (2014). Recent browsing damage by moose on Scots pine, birch and aspen in young commercial forests – effects of forage availability, moose population density and site productivity</i>									
Uppsala, Stockholm, Södermanland, Östergötland och Kalmar län	Bestånd	450	Färsk vinterskada som Äbin	Andel skadade stammar	Täthet älgspillningshögar i bestånd	täckning	täckning av björk och rönn, asp och säl	Linear regression	log
<i>Felton m.fl. (2020). Forage availability, supplementary feed and ungulate density: Associations with ungulate damage in pine production forests</i>									
Götaland och Södra Svealand	Bestånd	112	Färska vinterskador som Äbin	Andel skadade stammar	Täthet älgspillningshögar i bestånd och landskap	# stammar/ha	# stammar av björk och RASE/ha; ytor med dominans av risväxter	Zero-inflated beta regression	Z-score

<i>Pfeffer m.fl. (2021). Predictors of browsing damage on commercial forests – a study linking nationwide management data</i>									
Hela Sverige	ÄFO	148	Färska vinter- och sommar-skador (Äbin)	Andel skadade stammar	Älgobs och # skjutna hjordjur/ha (älg, rådjur, kronhjort och dovhjort)	# stammar/ha	# stammar av björk stammar/ha andel ungskog i landskapet	Beta-regression	Z-score
<i>Pfeffer m.fl. (2022). Browsing damage on Scots pine: direct and indirect effects of landscape characteristics, moose and deer populations</i>									
Hela Sverige	ÄFO	144	Beteskadad tall (Äbin)	Andel skadade stammar	Simulerad älgpopulation #älg/100oha	# stammar/ha	ytor med närvaro av RASE; andel ungskog i landskapet	Path analysis	Ingen

Bilaga 2 – Regressionsanalys

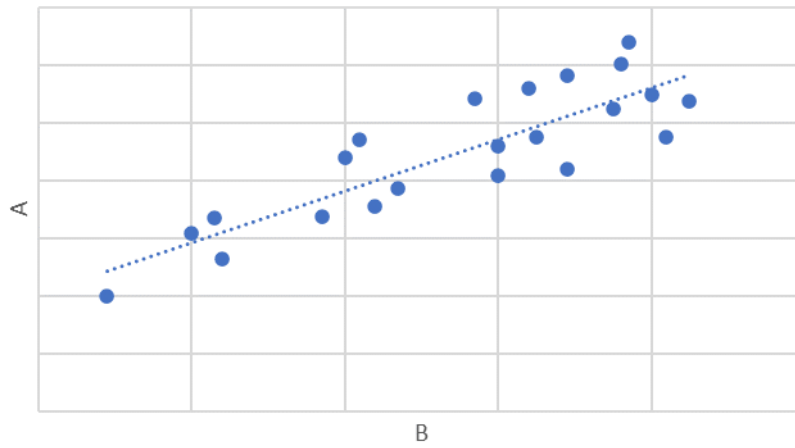
Regression är en statistisk metod som används för att undersöka hur betesskador påverkas av olika variabler, såsom älgtäthet, talltäthet, snödjup, ungskogsareal och avskjutning av annat klövvilt. Genom regressionsanalys kan man kvantifiera hur dessa variabler påverkar betesskadorna och analysera styrkan i dessa samband. Styrkan beror på antalet observationer (datapunkter) och hur starkt varje variabel påverkar den beroende variabeln. En fördel med regression är att man kan undersöka flera förklarande variabler samtidigt.

Regressionsanalysen besvarar flera viktiga frågor:

- **Hur mycket av variationen i betesskador kan förklaras?** Detta uttrycks genom förklaringsgraden, även kallad R^2 -värdet, som anger hur stor andel av variationen i den beroende variabeln (betesskador) som kan förklaras av de förklarande variablerna i modellen.
- **Hur mycket förändras betesskadorna när en variabel ändras?** Detta kallas effekten och representeras av regressionskoefficienten för varje förklarande variabel. I en linjär modell visar koefficienten den förväntade förändringen i betesskador för varje enhets förändring i en specifik variabel. I resultattabeller kan denna koefficient ibland refereras till som "estimat" eller "parameter".
- **Hur statistiskt säkerställt är sambandet för varje variabel?** Detta mäts genom signifikansnivån och uttrycks som ett p-värde. p-värdet anger sannolikheten att observera ett samband lika starkt som det uppmätta, under antagandet att inget verkligt samband existerar. Ju lägre p-värde, desto starkare stöd finns för att sambandet inte är slumpmässigt. p-värden < 0.05 räknas som statistiskt signifikanta.
- **Vad är intervallet inom vilket effekten sannolikt ligger?** Detta bedöms med hjälp av konfidensintervall, som ger ett intervall av värden inom vilket den sanna effekten förväntas ligga med en viss sannolikhet, vanligtvis 95 procent. Ett smalare konfidensintervall indikerar en mer precis uppskattning av effekten, medan ett bredare intervall signalerar större osäkerhet. Konfidensintervall är därför ett viktigt verktyg för att bedöma tillförlitligheten hos de skattade koefficienterna.
- **Vilken alternativ regressionsmodell ger bäst prediktioner för nya värden på de förklarande variablerna?** Modeller med fler förklarande variabler ger högre R^2 men samtidigt ökar risken för så kallad överfitting, det vill säga att modellen blir för specifikt anpassad till just de data som använts i regressionen och blir sämre på att prediktera för nya data. Prediktionsfelen kan bedömas med Akaike Information Criterion (AIC), där lägre AIC innebär en bättre modell.

Sammanfattningsvis ger regressionsanalysen en strukturerad metod för att förstå och kvantifiera sambanden mellan betesskador och olika påverkande faktorer, samtidigt som den bedömer säkerheten i dessa samband.

I Figur A1 nedan motsvaras effekten av linjens lutning och förklaringsgraden av punkternas närhet till linjen. Medan denna grundprincip gäller generellt för regressionsanalys, finns aspekter som varierar och som måste anpassas beroende på vad som analyseras och syftet med analysen. Observera att en effekt kan vara stark (stor lutning på linjen) men med låg förklaringsgrad (punkterna har stor spridning runt linjen) eller svag (liten lutning på linjen) men med hög förklaringsgrad (punkterna ligger nära linjen). Dessutom kan sambandets statistiska signifikans variera (sannolikheten att linjens lutning inte är 0).



Figur A1. Samband mellan två variabler (A och B i detta fall) illustreras ofta med ett punktdiagram. Via regression får man fram en linje som skär genom alla punkter där det sammanlagda avståndet mellan varje punkt och linjen är som lägst (egentligen det kvadrerade avståndet). Ju större lutning desto starkare effekt, och ju närmare punkterna är linjen desto högre förklaringsgrad. Både lutning och närhet till linjen ökar förklaringsgraden. Om skalorna på x- och y-axeln är rätt anpassade blir lutningen aldrig större än en positiv eller negativ diagonal i en linjär regression.

Bilaga 3 – Förändringar över tid

Från Älgbetesinventeringen finns data för 131 Älgförvaltningsområden mellan åren 2015 och 2024. Utöver det finns också den data över antal älgobservationer som jägarna samlar in vid jaktstart samt beräkning av älgstammens täthet med simuleringsmodellen LST-Moose. Vi använde data mellan åren 2015-2023 avseende älgstatistiken. Områden i Stockholms län

För att undersöka om andelen årsskador minskat över tid, användes en linjär regressionsmodell med variabeln "Andel årsskada" som beroende variabel och "År" som oberoende variabel.

Samma statistiska modell användes för andel oskadade tallar, andel årsskadade granar, antal tallar per hektar i Äbinungskogen, areal foderproducerande ungskog, andel RASE (rönn, asp, sälg ek) med gynnsam status, antal RASE per hektar, älgobservationer per mantimma och vintertäthet enligt LST-moose.

Innan regression transformerades variabeln inom respektive område genom att dividera med variabelns medelvärde för det specifika området. Detta gör att koefficienten från regressionen beskriver den relativa (procentuella) förändringen per år.

Vi valde $p < 0,05$ som gräns för statistiskt signifikant trend.

Tabell A1. Årlig procentuell förändring mellan 2015/16-2023/24 i älg- och skoglig data relevant för älgförvaltningen i 116 älgförvaltningsområden. Stjärnor anger grad av signifikans (--- p>=0,05, * p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001, DS= Data Saknas).

Läns kod	ÄFO	Älgobs per mantim me	Vinterst am (LST-Moose)	Antal tallar	Foderpr oduc. ungskog	Andel Årsskad ad tall	Andel oskadad tall	Antal Oskadad Tall	Andel Årsskad ad tran	Andel RASE med gynnsa m status
3	1	-9% *	-7,4% ***	4,7% *	1,5% *	---	---	---	---	---
3	2	-10,5% **	-9% ***	---	1,7% ***	---	---	---	---	---
3	4	-10,2% **	-8% ***	---	3% ***	---	---	---	---	---
3	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	6	---	---	---	---	---	---	---	---	9,3% ***
4	11	-8,2% ***	-8,5% ***	---	3,6% ***	---	5,6% *	---	---	---
4	12	-2,2% **	-1,8% **	---	2,6% **	---	---	---	---	---
5	1	-8,1% **	---	---	2,6% ***	---	---	---	---	---
5	2	---	---	---	3% **	---	---	---	---	---
5	3	---	-2,2% **	---	2,6% ***	---	---	---	---	8,4% *
5	4	-8,8% **	-4,5% **	15,6% *	2,8% **	---	---	19,6% *	---	---
5	5	---	3,7% *	9,7% *	3,5% ***	---	---	14% **	---	---
5	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5	7	---	---	---	0,3% **	---	11,4% **	---	---	---
5	8	-8,4% **	-4,8% ***	14,4% *	2,2% *	---	15,5% *	22,9% ***	---	---
6	1	---	---	---	2,7% ***	---	---	---	---	---
6	2	---	---	18,3% *	---	---	6,2% **	21,7% **	---	---
6	3	---	-2,2% **	14,9% *	1,7% **	---	---	20,2% *	---	---
6	4	---	-2,5% *	---	---	---	---	---	---	---
6	5	---	1% **	---	-9,7% *	---	---	---	---	---
6	6	-1,5% *	---	18,8% *	-11% **	-15,1% *	12,8% **	27,8% *	---	---
6	7	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6	8	---	---	---	1,6% **	---	---	---	---	---
7	1	-2,7% *	-2,2% *	---	-11,5% *	---	---	---	---	---
7	2	-3,4% *	-3,5% ***	---	-12,8% *	---	---	---	---	---
7	3	---	-0,9% *	---	-17,4% **	---	---	---	---	---
7	4	---	-2,8% ***	-17,3% **	-24,9% **	---	---	---	---	---
7	5	---	-4,4% **	---	---	---	---	---	---	11% *
7	6	---	---	7,3% *	-1% **	---	11,2% *	16,5% **	---	---

Läns kod	ÄFO	Älgobsp er mantim me	Vinterst am (LST- Moose)	Antal tallar	Foderpr oduc. ungskog	Andel Årsskad ad tall	Andel oskadad tall	AntalOs kadadTa ll	Andel Årsskad ad tran	Andel RASE med gynnsa m status
7	7	---	-2,5% **	---	-9,8% *	---	---	---	-16,4% **	---
8	1	---	-6,3% *	---	---	---	---	---	---	---
8	2	---	-2,9% **	---	-0,5% *	---	---	---	---	---
8	3	---	---	---	---	---	---	---	---	-8,2% *
8	4	---	---	---	1,4% **	---	---	---	---	---
8	5	---	2,2% *	---	3,1% **	---	---	---	---	10% *
8	6	---	---	---	2,5% *	-13,8% *	---	---	---	---
8	7	---	-2,6% ***	---	---	---	---	23,9% *	---	---
8	8	---	---	---	2% *	---	21,2% *	---	---	---
8	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	2	-2,6% ***	-1,5% *	---	---	---	13,7% **	18% **	---	---
10	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	1	---	---	---	5,4% **	---	---	---	---	---
13	2	-3,7% **	-1,9% *	---	---	---	---	---	---	---
13	3	---	---	---	-12,9% ***	---	---	---	---	---
13	4	-3,4% **	-1,8% **	---	---	---	---	---	---	---
14	1	---	-3,2% *	---	---	---	19,7% *	19,2% *	---	---
14	2	---	-2,6% *	---	1,7% ***	---	---	---	---	10% **
14	3	-5,8% **	-5,2% **	---	2,7% **	---	---	---	---	---
14	4	-6,3% *	---	16,5% *	3,1% **	---	---	20,7% *	---	---
14	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14	6	---	-3% **	---	---	---	---	---	---	---
14	7	---	---	---	2,4% *	-13,4% *	---	---	---	---
14	8	---	---	---	---	-12,5% **	---	---	-17,8% *	---
14	9	---	-2,2% *	---	---	---	---	---	---	---
17	2	---	---	---	-1,9% *	---	---	---	---	---
17	3	---	---	---	---	---	9% **	15,8% *	---	---
17	4	---	---	---	---	---	8,8% ***	18,9% *	---	---
17	5	---	---	---	2,2% **	---	---	---	---	---
17	6	---	---	7,4% *	0,7% *	---	---	---	---	---
17	7	---	---	---	-0,2% *	---	---	---	---	---
17	8	---	---	---	-0,4% *	---	---	---	---	19,9% **
17	9	---	-1,5% *	---	---	---	---	---	---	---
17	10	---	---	---	1,6% **	---	-10,8% *	---	21,8% *	---
18	1	---	-2,9% *	---	-2,8% ***	---	---	---	---	---
18	2	-3% *	-4,6% ***	---	2,3% ***	---	---	---	---	---
18	3	---	-5,3% ***	---	---	---	-6,9% *	---	---	---

Läns kod	ÄFO	Älgobser mantim me	Vinterst am (LST-Moose)	Antal tallar	Foderpr odud. ungskog	Andel Årsskad ad tall	Andel oskadad tall	AntalOs kadadTall	Andel Årsskad ad tran	Andel RASE med gynnsam status
18	4	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	5	---	-2,5% *	---	---	---	---	---	---	---
18	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	7	---	---	13,4% *	1,4% **	---	---	13,1% **	---	---
19	1	-4,4% **	-1,5% *	---	1,1% ***	---	---	---	34,7% **	---
19	2	---	-6,2% *	---	2% *	---	---	---	---	---
19	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	1	---	---	---	---	---	---	---	---	DS
20	3	---	---	---	1,5% **	---	---	---	---	---
20	4	-6,2% **	-4,5% *	---	0,8% ***	---	---	---	---	---
20	5	---	---	---	-1,7% ***	---	---	---	---	---
20	6	---	1,3% **	---	-1,5% **	---	---	---	---	---
20	7	---	1% *	---	-0,9% **	---	---	---	---	---
20	8	---	---	8,3% *	---	---	---	10,8% *	---	---
20	9	---	-2,6% *	---	-2,3% ***	---	---	---	---	---
20	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	11	---	-6,7% *	---	-1,3% **	---	---	---	---	---
20	13	---	---	---	---	---	---	17,7% ***	---	---
20	14	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	15	---	---	---	2,4% ***	---	---	23,2% *	---	---
20	16	---	-1,3% *	---	---	---	---	---	---	---
21	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	2	---	-6,4% ***	---	2,9% ***	---	---	---	-28,4% *	---
21	3	-11,3% *	-11% **	---	2,9% ***	---	---	---	---	---
21	5	-7,8% *	-8,6% **	---	1,9% ***	---	---	---	---	-20% *
21	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	7	---	-10,1% **	---	-2,6% **	---	---	---	---	---
21	8	-5,8% *	-7,7% ***	---	0,4% **	-12,5% *	---	---	---	13,8% *
21	9	---	-6,1% **	---	3,8% ***	---	---	12,4% *	---	---
21	13	-8,1% **	-8,8% ***	---	-1,6% ***	---	6,6% *	12,6% *	---	---
21	14	-10,5% *	-13,5% *	---	---	---	-3,5% *	---	---	---
22	1	-3,1% **	-3,3% ***	---	2,4% ***	---	---	---	---	---
22	2	-5,5% **	-6,4% ***	---	1,6% ***	---	---	---	---	-23,1% *

Läns kod	ÄFO	Älgobser per mantim me	Vinterst am (LST- Moose)	Antal tallar	Foderpr oduc. ungskog	Andel Årsskad ad tall	Andel oskadad tall	AntalOs kadadTa ll	Andel Årsskad ad tran	Andel RASE med gynnsa m status
23	1	-2% *	-3,3% **	---	0,8% ***	---	---	---	---	---
23	2	-3,3% *	-5,3% **	---	0,8% **	---	---	---	13,3% **	---
23	3	-3% ***	-4,7% ***	---	1,4% ***	---	---	---	---	---
23	4	-4% *	-6,2% **	---	3,7% ***	---	---	---	---	---
23	5	-3,1% **	-5,6% ***	---	3,4% ***	---	---	---	---	---
23	6	-6,5% *	-6,4% **	---	3,3% ***	-19% **	---	---	---	---
24	1	-3,3% *	-3,9% ***	---	1,1% ***	---	---	---	---	---
24	2	-7,4% ***	-6,8% ***	---	1,1% ***	---	---	---	---	---
24	3	-6,8% ***	-7,7% ***	---	-0,9% ***	---	---	---	---	---
24	4	---	-4% ***	---	-0,6% **	---	---	---	---	---
24	5	-2,7% *	-3,2% ***	---	-1,4% ***	---	---	---	---	---
25	1	---	-2,7% ***	---	-1,2% *	---	---	---	---	---
25	2	-6,6% ***	-5,9% ***	---	0,5% ***	---	---	---	---	---
25	3	-4,2% *	-3,4% **	---	-1,1% **	---	4,1% *	---	---	---
25	4	---	---	---	-0,8% *	---	---	---	---	---
25	5	-4,1% **	-3,8% ***	8,1% *	-1,7% ***	---	---	12,4% ***	---	---
25	6	-3,4% **	-3,2% ***	---	-1,1% ***	---	---	---	---	---

*3=Uppsala län, 4=Södermanlands län, 5=Östergötlands län, 6=Jönköpings län, 7=Kronobergs län, 8=Kalmar län, 10=Blekinge län, 13=Hallands län, 14=Västra Götalands län, 17=Värmlands län, 18=Örebro län, 19=Västmanlands län, 20=Dalarnas län, 21=Gävleborgs län, 22=Västernorrlands län, 23=Jämtlands län, 24=Västerbottens län, 25=Norrbottnens län

Bilaga 4 – Statistisk analys resultattabeller

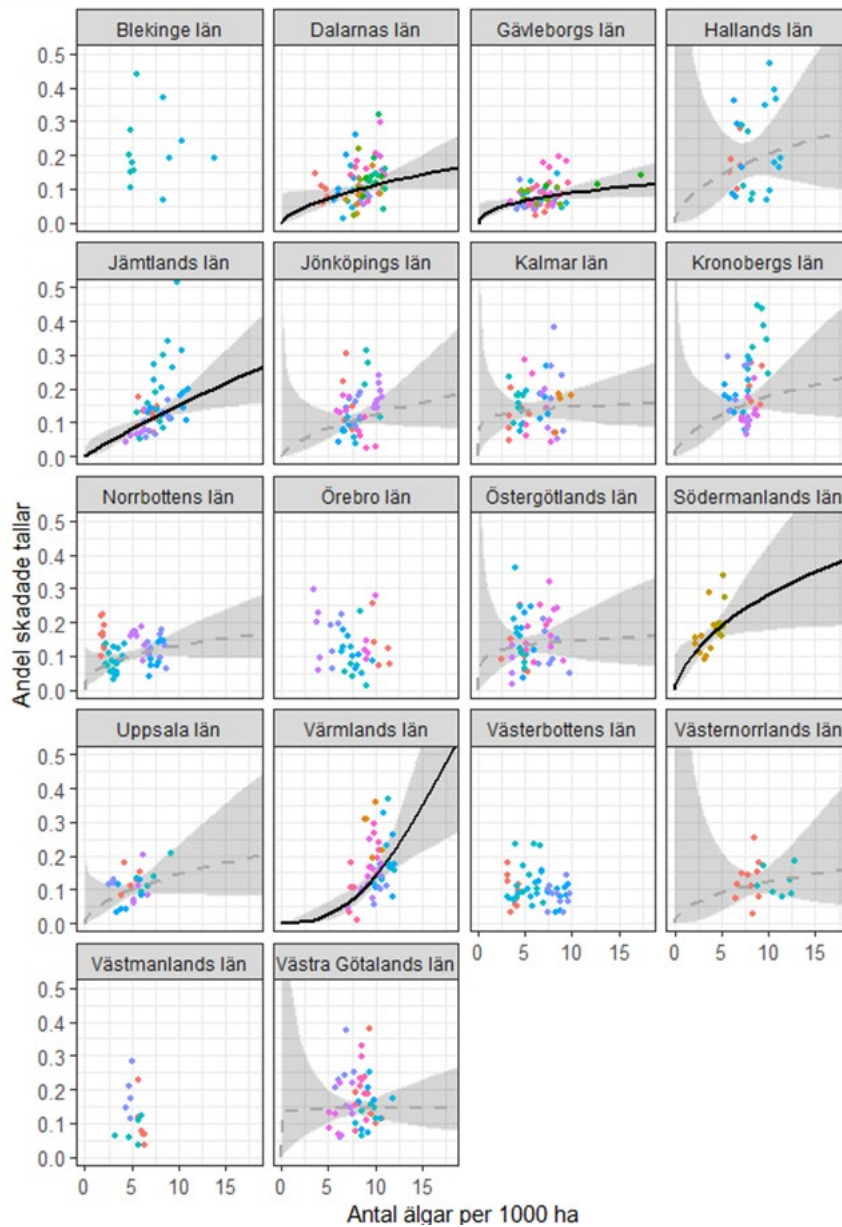
Tabell A2. Statistisk analys av den ekologiska modellen som beskrivs i avsnitt "En ekologisk-statistisk förklaringsmodell", sidan 28.

Model : $\ln(\ln(1/(1 - \text{Skadadandel}))) = \ln(c) + a \ln(\text{Älgtäthet}) + b \ln(\text{Talltäthet})$ + Random effects: $\tau_{00} \text{ Län} + \tau_{00} \text{ År} + \tau_{00} \text{ ÅFO} + \tau_{11} \text{ ÅFO} \cdot \ln(\text{Talltäthet})$			
Predictors : parameters	Estimates	CI	p
(Intercept) : $\ln(c)$	-1.99	-2.40 – -1.58	<0.001
Älgtäthet [ln] : a	0.28	0.10 – 0.45	0.002
Talltäthet [ln] : b	-0.20	-0.27 – -0.13	<0.001
Random effects	Variance		
σ^2	0.22		
$\tau_{00} \text{ ÅFO}$	0.46		
$\tau_{00} \text{ Län}$	0.01		
$\tau_{00} \text{ År}$	0.01		
$\tau_{11} \text{ ÅFO} \cdot \ln(\text{Talltäthet})$	0.02		
$\rho_{01} \text{ ÅFO}$	-0.96		
ICC	0.36		
Number of groups			
$N \text{ ÅFO}$	116		
$N \text{ Län}$	18		
$N \text{ År}$	10		
Observations	718		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.114 / 0.432		

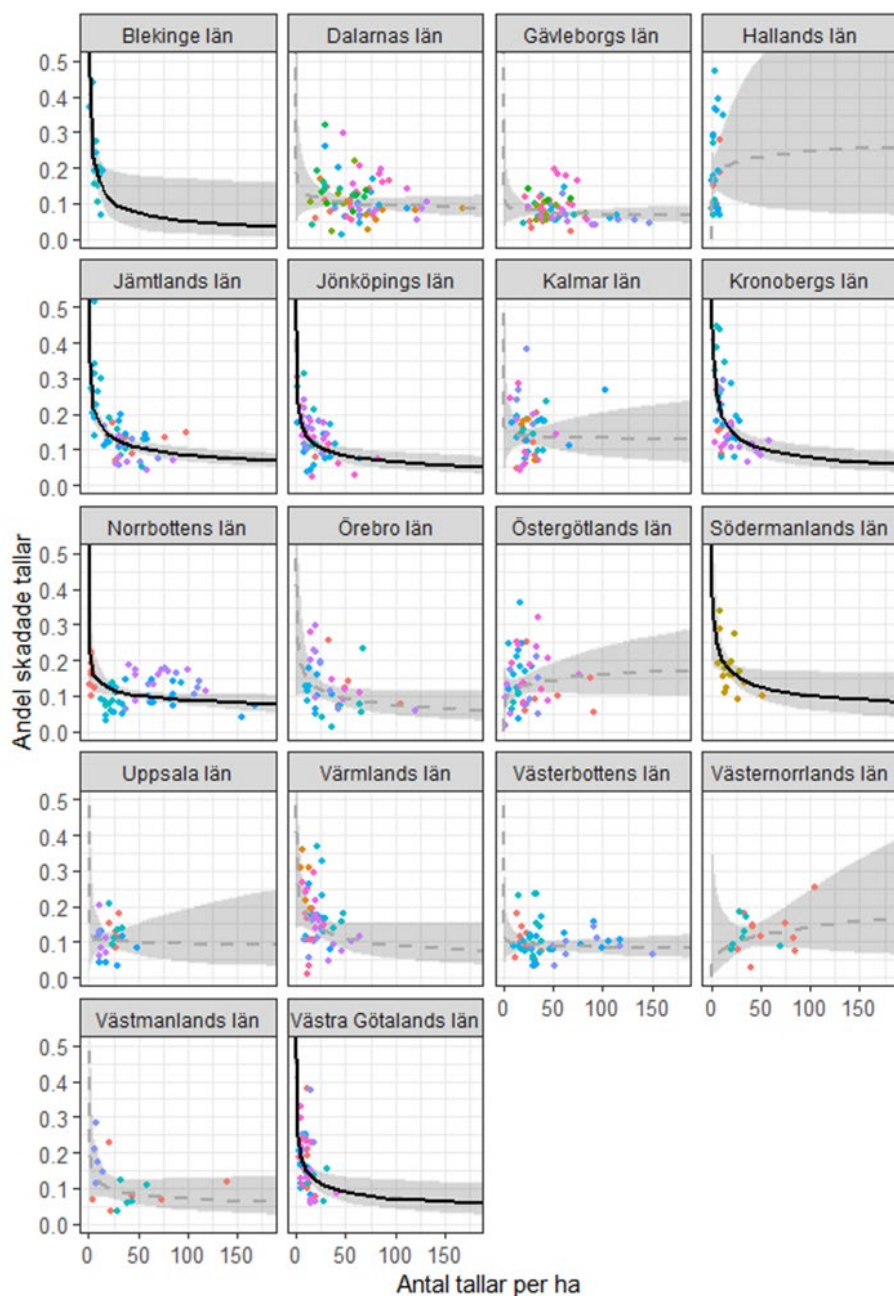
Tabell A3. Statistisk analys av en linjär modell som beskrivs i avsnitt "En ekologisk-statistisk förklaringsmodell".

Model: Skadadandel = $c + a$ Älgtäthet + b Talltäthet + Random effects: τ_{00} År + τ_{00} ÅFO + τ_{11} ÅFO.Talltäthet			
Predictors :parameters	Estimates	CI	p
(Intercept): c	0.12485	0.09778 – 0.15192	<0.001
Älgtäthet: a	0.00472	0.00157 – 0.00788	0.003
Talltäthet: b	-0.00070	-0.00095 – -0.00046	<0.001
Random effects	Variance		
σ^2	0.00361		
τ_{00} ÅFO	0.00303		
τ_{00} År	0.00016		
τ_{11} ÅFO.TallpA	0.00000		
ρ_{01} ÅFO	-0.98473		
ICC	0.32092		
Number of groups			
N ÅFO	116		
N År	10		
Observations	718		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.087 / 0.380		

Bilaga 5 – Modellanlys för alla län



Figur A2. Betesskadornas variation i förhållande till älgtäthet för olika län (resultat från den ekologiska modellen som beskrivs i avsnitt "En ekologisk-statistisk förklaringsmodell"). Punkterna visar observationer för olika ÄFO (olika färger) och år, där både älg och talltäthet varierar. Kurvorna med 95 procent konfidensintervall (grått band) visar modellerad effekt av älgtäthet när talltätheten hålls konstant. Svart och grå-streckad linje indikerar signifikanta, respektive icke signifikanta effekter, medan avsaknad av kurva betyder att modellen inte visar på något som helst samband.



Figur A3. Betesskadornas variation i förhållande till taltäthet för olika län (resultat från den ekologiska modellen som beskrivs i avsnitt "En ekologisk-statistisk förklaringsmodell"). Punkterna visar observationer för olika ÄFO (olika färger) och år, där både älg och taltäthet varierar. Kurvorna med 95 procent konfidensintervall (grått band) visar modellerad effekt av taltäthet när älgtätheten hålls konstant. Svart och grå-streckad linje indikerar signifikanta, respektive icke signifikanta effekter.

Bilaga 6 – BETTSIM: en simuleringsmodell av älgbete

Modellstruktur

Utgångspunkten med simuleringsmodellen BETTSIM är att vi ska undersöka älgskador på tall i 1000 bestånd. Det ger oss tillräckligt många bestånd för att se statistiska samband.

I varje bestånd slumpar vi ut ett antal tallar med medelvärdet 2000 samt en normalfördelad spridning runt detta medelvärde. Minimivärdet för antalet tallar sätts dock till 10 stycken och maxvärdet till 10 000 (självföryngrat bestånd). Det har troligtvis inte så stor betydelse för de mönster vi är ute efter, men att hålla sig inom något så när rimliga nivåer kan vara en fördel i takt med att modellen blir mer avancerad.

Ett värde på beståndets medelålder dras helt ur slumpen. Det intervall som används är mellan 5 och 15 år. Det ger oss bestånd som är inom Åbinintervallet 1–4 meter i höjd med höjdfunktionen $0,23 * \text{ålder}$. Denna funktion har vi tagit fram genom att analysera flera års Åbindata.

För att det ska bli en höjdvariation inom beståndet utgår vi från medelvärdet för beståndet och slumpar sedan fram en höjd för respektive träd inom en normalfördelning som är 20 procent av medelhöjden. Det ger oss en naturlig variation runt medelhöjden.

Därefter beräknas antalet skott för varje träd. Antal skott på en tall beror bland annat av dess ålder. Inom projektet har vi särskilt undersökt ett antal tallar från Ridderhyttan för att bättre förstå hur många skott som bildas årligen och hur de fördelar sig på trädet. Generellt kan sägas att skottantalet ökar för varje grenvarv då man utgår från toppskottet. Men bara fram till ungefär mitten av antalet levande grenvarv. I den nedre delen av kronan ger varje levande skott upphov till betydligt färre nya skott än i den övre delen av kronan. Skottets längd och diameter minskar mer eller mindre linjärt ner till nära noll för det grenvarv som är lägst men ännu inte är dött. Efter nedklippning och vägning av det senaste årets skott på en 2,0 m provtall fann vi att de översta två grenvarven innehöll 21 procent av trädets årsskottantal, men 59 procent av årsskottens totala torrbiomassa. Med andra ord spelar det oerhört stor roll var någonstans på en tall som betet sker för hur stor barrmasseförlust det medför. Man kan anta att älgen i första hand väljer att beta de översta två eller tre grenvarven om de är tillgängliga. Därefter blir det, enligt marginalvärdeteoremet (Charnov 1976), allt mer intressant att gå till nästa träd.

Det totala antalet skott på en tall beräknades med en funktion som beror av ålder (Ekvation A1):

$$\text{AntalSkott}, S = 6 * 3^{\min(\text{ålder}, 7) - 2} - 1 \quad (\text{A1})$$

Antalet levande skott överskrider inte 1457 med denna funktion.

Nästa steg är att bestämma antal besök beståndet ska få av älg. Vi gör ingen skillnad på om det är samma älg eller om det är olika älgar som tar ytterligare ett varv i beståndet. Här har vi egentligen inte mycket vetenskap att gå på. Ett sätt att få in mer empiriskt material (insamlade data) är att undersöka GPS-märkta älgar, där en mycket stor datamängd skulle kunna användas. Det utrymmet har dock inte funnits inom ramen för detta projekt. Med detta sagt överlappar älgens hemområde och ju högre täthet desto större överlapp, vilket teoretiskt innebär fler älgbesök på samma yta. Via spillningsdata insamlade på försök i Åbin kan vi dra slutsatsen att bestånd som är ca två meter i medelhöjd löper störst risk att få besök av älg. Vi använde därför en normalfördelningsfunktion för att fördela risken lite olika inom höjdintervallet (medel=2 och sd=1).

Nu är det dags att låta älgen gå in i beståndet och välja ut ett antal potentiella kandidater till föremål för skottbete. Vi har låtit varje betesrunda i ett och samma bestånd innebära bete på en specifik andel av antalet tallar i beståndet. I vilken ordning tallarna besöks är helt slumpmässigt. Vår fiktiva älg går alltså omkring i beståndet och betar till dess X procent av tallarna blivit betade.

Då älgen står framför en tall beredd att ta sin första tugga beräknar vi risken att älgen tar toppskottet. Som vi beskriver i avsnittet "Betesmönster på trädnivå" (sidan 39) visar BETT-data att risken att toppskottet betas, $p(T)$ minskar med höjden. Formlen för detta är en enkel linjär funktion som beror av höjden h (Ekvation A2).

$$p(T) = 1 - 0.4h \quad (A2)$$

Oberoende av om toppskottet betas eller inte beräknar vi därefter risken att ett eller flera sidoskott betas, $p(S)$. Även här saknas empiriska data att gå på men vi bedömer att risken att ytterligare ett sidoskott betas minskar successivt för varje sidoskott älgen betar (Ekvation A3).

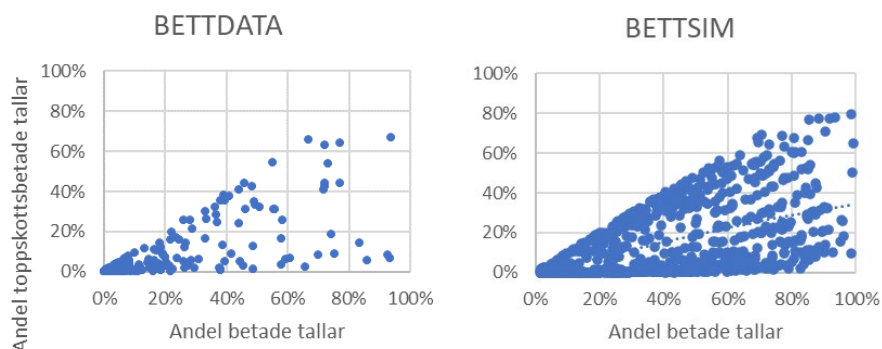
$$p(S) = \left(\frac{s_i - B_i}{s_i} + 1 \right)^{0,15} \quad (A3)$$

, där S är antalet sidoskott, B är antalet betade sidoskott, i är trädindividens och k är en skalfaktor som gör kurvan brantare. Genom att skala exponenten med S kommer risken att avta ungefär lika snabbt oavsett hur många skott trädet har. Det finns en viss rimlighetsfaktor i detta antagande eftersom det i första hand är de allra översta grenvarven som erbjuder de bästa skotten.

När X procent av tallarna betats i beståndet beräknas statistik och sparas ner för senare användning. Efter detta lottas ett nytt bestånd fram och processen börjar således om till dess att alla bestånd har gått igenom.

Validering

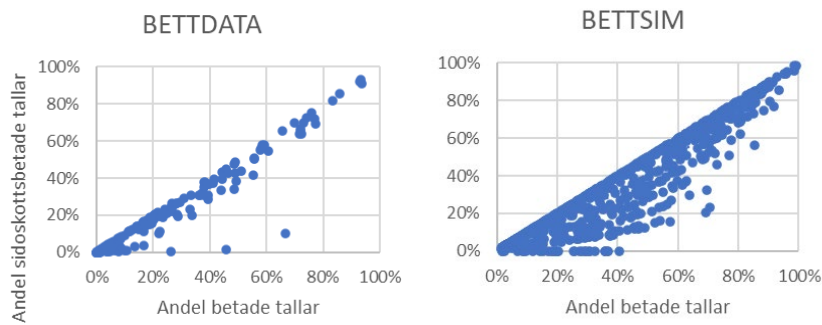
Genom att jämföra modellresultat med de empiriska data som BETT-försöket samlat in kan modellen valideras. När vi ställer andel betade tallar mot andel toppskottsbetade tallar ser vi att BETTSIM ger en samstämmig bild med insamlade data (Figur A4). BETTDATA innehåller 198 datapunkter (21 bestånd \times 9–10 inventeringar) medan vi simulerade 1000 bestånd i BETTSIM. Det är anledningen till att punkterna och spridningen är högre för BETTDATA. Vi ser att sambandet mellan andelen betade tallar och andelen tallar där toppskottet är betat inte är särskilt starkt. Det beror på att vi i materialet har med bestånd som är över 2,5 meter i medelhöjd. Högre bestånd kan alltså vara betade till en stor grad utan att ett enda toppskottsbyte förekommer.



Figur A4. I diagrammen redovisas sambandet mellan andel betade tallar och andel tallar där toppskottet är betat. Det vänstra kommer från insamlade data och det högra från modellen BETTSIM.

Även när vi ställer andel betade tallar mot andel sidoskottsbetade tallar visar BETTSIM en samstämmig bild med verkliga data (Figur A5). I verkliga data ser vi att andelen betade

tallar i de flesta bestånd är lika stor som andelen sidoskottsbetade tallar. BETTSIM fångar in även detta men eftersom många fler bestånd simuleras har vi även situationer där merparten av de betade tallarna endast har ett toppskott avbetat.



Figur A5. I dessa diagram redovisas sambandet mellan andel betade tallar och andel tallar där minst ett sidoskott är betat. Det vänstra kommer från insamlade data och det högra från modellen BETTSIM.

Vi kan konstatera att BETTSIM på ett bra sätt återspeglar de data som samlats in i BETT-försöket.

För att simulera olika älgtätheter på områdesnivå varierade vi både besöksfrekvens och andel betade tallar vid varje besök. Från ett ekologiskt perspektiv kan man tänka sig att såväl besöksfrekvens och andel betade tallar vid varje besök ökar med älgtätheten (Kjellander 2004). Vi simulerade därför dessa faktorer var för sig, men också då de kombinerades.

Referenser

Charnov, E-L. 1976. Optimal foraging – the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology*. 9:129–136.

Kjellander, P., Hewison, A.J.M., Liberg, O. m.fl. Experimental evidence for density-dependence of home-range size in roe deer (*Capreolus capreolus* L.): a comparison of two long-term studies. *Oecologia* 139, 478–485 (2004). <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1529-z>.