

För- & postindustriellt sommarklimat i Myrkarby, Bräntings haid och Hall- Hangvar

- En dendroklimatologisk studie

Felicia Valdemarsson

**Degree of Bachelor of Science
with a major in Geography
15 hec**

**Department of Economy and Society, Human Geography &
Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2020 B-1119**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

För- & postindustriellt sommarklimat i Myrkarby, Bräntings haid och Hall-Hangvar - En dendroklimatologisk studie

Felicia Valdemarsson

ISSN 1400-3821

B1119
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2020

Sammanfattning

Dendrokronologi är en av de viktigaste daterings- och dokumentationsteknikerna när det kommer till processer i naturen och mänsklig påverkan på miljön. I denna studie har tallar från noggrant utvalda provtagningsplatser i sydöstra Sverige undersökts för att se om de innehåller en signal som kan vara kopplad till hydrologiskt klimat, och om dessa träd då kan användas i ett rekonstruktionssyfte. Syftet med studien var att korrelera trädringsbredd med klimatvariabler vid tre olika provtagningsplatser för att se vilken variabel som påverkat tillväxten mest, och om det går att upptäcka någon skillnad mellan platserna och mellan för- och postindustriellt sommarklimat. Provtagningsplatserna valdes ut utifrån tillgång till gamla tallar (äldre än 250 år) som är tork-känsliga. Sammanlagt 38 prov mättes och analyserades i programvaror, varpå korrelationen mellan trädringar och klimatvariabler undersöktes och klimatologiska analyser och rekonstruktioner genomfördes. Resultaten visar att den klimatvariabel som påverkar tallträdens växtlighet mest under sommarmånaderna vid provtagningsplatserna är nederbörd. Korrelationen mellan trädringsbredd och klimatdata är högst främst under maj, juni och juli, och främst i Bräntings Haid och Hall-Hangvar. Ringbreddsvariationen i proverna från de olika platserna är relativt likvärdig innan och efter år 1900 vilket skulle kunna antyda att träd tillväxten i områdena ännu inte hunnit påverkas avsevärt av den postindustriella erans mer varierande väderförhållanden. Det förekommer tydliga indikationer på att klimatet blir allt varmare samt mönster som kan tyda på att nederbördsvariabiliteten vid platserna till stor del är lokal medan temperaturvariabiliteten är regional. Nederbörds mängden är överlag högre i Myrkarby. Det är svårt att urskilja huruvida det är några specifika perioder som varit extra torra. Studien bidrar till att i det långa loppet förbättra kunskapen om det historiska såväl som moderna klimatet.

Nyckelord: dendroklimatologi, *Pinus sylvestris* L, trädringsparametrar, klimatvariabler, hydrologiskt klimat, nederbördsrekonstruktion

Abstract

Dendrochronology is one of the most important techniques of dating and documentation when it comes to processes in nature and human impact on the environment. In this study, pines from carefully selected sampling sites in the southeastern part of Sweden have been examined to see if they contain a signal which can be associated with hydrological climate, and if these trees in that case can be used for reconstructional purposes. The aim of the study was to correlate tree-ring width with climate variables at three different sampling sites to see which variable has had the most effect on growth, and if it is possible to recognise any differences between the sites as well as between pre- and post-industrial summer climate. The selection of sampling sites was based on access to old pines (older than 250 years) which are sensitive to drought. A total of 38 samples were measured and analysed in software, after which the correlation between tree-rings and climate variables was examined and climatological analyses and reconstructions were executed. The results show that the variable with the most considerable effect on growth at the locations during the summer months is precipitation. The highest correlation between tree-ring width and climate data is found during May, June and July in Brättings Haid and Hall-Hangvar. The ring width variation in the samples from the three sites is relatively similar before and after the year of 1900, which could signify that the tree growth in the areas has not yet been significantly affected by the more varying weather conditions of the post-industrial era. There are clear indications of a warming climate as well as patterns suggesting that the precipitation variability at the sites to a large extent is local while the temperature variability is regional. The amount of precipitation is overall higher in Myrkarby. It is difficult to detect any specifically dry periods. The study contributes to an improved long-term knowledge of both historical and modern climate.

Keywords: dendroclimatology, *Pinus sylvestris* L, tree-ring parameters, climate variables, hydrological climate, reconstruction of precipitation

Förord

Skogar är hemmiljöer för en mångfald av olika arter. De bidrar med flera ekosystemtjänster och tillsammans med världshaven utgör de planetens lungor. Skog är en ovärderlig resurs som hotas av ohållbar skövling, brist på biologisk mångfald och ett varmare klimat. Genom att kombinera trädrings- och klimatdata går det att säga något om dåtida och framtida klimatförhållanden. Dendroklimatologi aktualiseras därmed som en högst relevant vetenskapsgren i en tid med allt mer oförutsägbara väderförhållanden.

Genomförandet av denna kandidatuppsats i geografi med naturgeografiskt fokus hade inte varit möjligt utan råd och stöd från handledare doktor Kristina Seftigen, som även var med i forskargruppen GULD (the Gothenburg University Laboratory for Dendrochronology) som samlat in de prover som analyserats i denna uppsats. Även tack till kurskamrater och kursledare professor Sofia Thorsson för råd och konstruktiv kritik under arbetsprocessen, samt till stöttande familjemedlemmar.

På grund av COVID-19 var det inte möjligt att ge sig ut i fält för att samla in egen data, vilket var tanken från början. Istället användes redan insamlad, ännu ej behandlad data som analyserades med hjälp av programvaror istället för i labb. Därmed har inte fält- och laborationsmetoder behandlats särskilt ingående i denna uppsats. Data insamlades av forskargruppen GULD under 2018 och 2020.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Abstract	2
Förord	3
Innehållsförteckning	4
1. Introduktion	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte & frågeställningar	7
2. Kunskapsöversikt	9
2.1 Dendrokronologi & dendroklimatologi	9
2.2 Grundläggande principer inom dendrokronologi	10
2.3 Trädringsparametrar	13
2.3.1 Vår- och höstved	13
2.3.2 Falska och saknade ringar	13
2.4 Pinus sylvestris L	14
3. Studieområden	17
3.1 Urval	17
3.2 Geografiska, geologiska och klimatologiska skillnader	17
3.3 Myrkarby	19
3.4 Gotland	20
3.4.1 Bräntings haid	20
3.4.2 Hall-Hangvar	21
4. Data & metoder	23
4.1 Provtagning och preparering av prover	23
4.2 Bearbetning och analys	23
4.2.1 Korsdatering	25
4.2.2 Standardisering	27
4.2.3 Kalibrering med klimatvariabler	28
5. Resultat	32
5.1 Ringbredd	32
5.2 Genomsnittlig temperatur och nederbörd	34
5.3 Korrelationsanalyser	37
5.4 Klimatologiska analyser	41
6. Diskussion	49
6.1 Resultat	49
6.2 Metod	51

7. Slutsatser	53
8. Referenslista	54
8.1 Datakällor & programvaror	54
8.2 Tryck	56
8.3 Vetenskapliga artiklar och rapporter	56
8.4 Webbssidor	57
8.4.1 Ordförklaringar	58

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Ett varmare klimat med mer frekventa, intensiva och längre torrperioder¹ kan få förödande socioekonomiska och miljömässiga effekter såsom minskad vattentillgång, med konsekvenser för bland annat jordbruket och vattenförsörjnings-sektorn. Hetare och torrare somrar kommer sannolikt att leda till minskad trädutväxt och fler skogsbränder (Seftigen, Linderholm, Drobyshev & Niklasson, 2013; Linderholm & Molin, 2005). Även om produktiviteten hos skogarna i det norra barrskogsbältet kan främjas av en längre tillväxtsång, visar Ruiz-Pérez & Vico (2020) att vattenbrist redan har en negativ inverkan på dessa skogar, vars förmåga att förse oss med nödvändiga ekosystemtjänster kan försämrats av mer frekventa och intensiva värmeböljor. Allt fler extrema värmeböljor har inträffat i Europa sedan 1970-talet, framförallt sedan 2003, med katastrofala konsekvenser för lokala samhällen och ekonomier. Såväl skeenden i naturen som antropogen global uppvärmning uppges vara bidragande orsaker till det ökande antalet värmeböljor i Europa (Zhang, Sun, Zhu, Zhang & Li, 2020). Seftigen et al. (2013) framhåller att sommartorka i sydöstra Sverige är kopplat till högtrycksavvikelse över de brittiska öarna och Nordsjön, medan en östlig förflyttning av de isländska lågtryckssystemen över den västra delen av centrala och södra Skandinavien leder till blötare sommarförhållanden än normalt i Sydostsverige.

Kunskaperna om historiska variationer i torka i mellersta och södra Sverige är fortfarande bristfälliga. Meteorologiska data täcker endast den antropogena perioden och kan därmed inte användas till att studera naturliga historiska variationer i klimatet. Genom att jämföra för- och postindustriellt klimat går det att upptäcka om de senaste årens torkor är en produkt av ökade halter av växthusgaser eller om de även har förekommit naturligt i klimatet innan den antropogena perioden. Eftersom trädutväxten i det kalla, fuktiga skandinaviska klimatet ofta begränsas mer av temperatur än av nederbörd, har den största andelen trädrings-rekonstruktioner som genomförts i mellersta och södra Sverige fokuserat på att

¹ **Torrperiod, torka** - En torrperiod är en sammanhängande period under vilken det kommit mindre nederbörd än normalt. En torrperiod är den främsta anledningen till att en torka uppstår. Andra orsaker innefattar låg markfuktighet, låga vattenflöden, låga vattennivåer i sjöar eller låga grundvattennivåer. (SMHI, 2016)

rekonstruera temperatur. Det finns således ytterst få rekonstruktioner av nederbörd i dessa regioner. För att få en bättre bild av historiska variationer i torra så måste antalet nederbördsrekonstruktioner öka. Enligt Rocha, Gunnarson & Holzkämper (2020) är de fåtal hydroklimatologiska rekonstruktioner som genomförts i Skandinavien främst baserade på trädringsdata och torkindex innehållandes temperatur- och nederbördsdata, och genom att även inkludera andra parametrar kan rekonstruktionerna bli mer robusta. Seftigen et al. (2013) menar att trädringsdata från Sydsverige innehåller värdefull hydroklimatologisk information som kan användas för att uppskatta historiska hydrologiska förhållanden. I denna studie har tallar från noggrant utvalda provtagningsplatser undersökts för att se om de innehåller en signal som kan vara kopplad till hydrologiskt klimat, och om dessa träd då kan användas i ett rekonstruktionssyfte. Studien bidrar till att i det långa loppet förbättra kunskapen om det historiska såväl som moderna klimatet.

1.2 Syfte & frågeställningar

Syftet med studien är att korrelera trädringsbredd med klimatvariabler vid tre olika provtagningsplatser för att se vilken variabel som påverkat tillväxten mest, och om det går att upptäcka någon skillnad mellan platserna och mellan för- och postindustriell tid. I en framtid med klimatförändringar och ökande demografiskt tryck är det viktigt att förbättra vår förståelse för torra och underliggande fysiska mekanismer för att kunna bygga upp en resiliens. Genom att datera trädringar från flerhundraåriga träd som växer i en miljö som gör dem känsliga för varma och torra somrar, kan frekvent och långvarig torkstress jämföras utifrån ett förindustriellt och postindustriellt sammanhang. Ett postindustriellt samhälle syftar i denna studie på tiden efter 1850-talet, då industrialismen spreds från Storbritannien och allteftersom fick fäste i resten av Europa (Knox & Marston, 2016, s. 69). De senaste årens heta somrar kan sättas i ett längre perspektiv som sträcker sig bakåt i tiden innan människan påverkade klimatet i alltför stor utsträckning. Baserat på detta görs en tillbakablickande analys av mönster och rumsliga variationer i torra i studieområdena (Myrkarby naturreservat, Uppsala län och Hall-Hangvar samt Bräntings haid naturreservat, Gotlands län) i det för- och postindustriella samhället. I Sverige sträcker sig meteorologiska observationer oftast som längst ca 100-150 år bakåt i tiden, och kan därmed inte användas i detta syfte.

Provtagningsplatserna valdes ut utifrån tillgång till gamla tallar (äldre än 250 år) som är tork-känsliga. Sammanlagt 38 prov mättes och analyserades i programvaror, varpå korrelationen mellan trädringar och klimatvariabler undersöktes och klimatologiska analyser och rekonstruktioner genomfördes.

1. Vilken klimatvariabel av nederbörd och temperatur påverkar tallträdens växtlighet mest i Myrkarby, Bräntings haid och Hall-Hangvar?
2. Vilka skillnader går att se i jämförelsen mellan ett för- och postindustriellt sommarklimat utifrån mönster såsom varaktighet, magnitud, intensitet, frekvens² och rumsliga variationer i torra?
3. Hur skiljer sig ovan nämnda faktorer åt mellan studieområdena, och mellan två olika meteorologiska datakällor (KNMI samt SMHI)?
4. Hur skiljer sig klimatsignalen i de olika trädringsparametrarna (total ringbredd, säsongsvedsbredd) åt, och vilken av parametrarna ger den bästa informationen om historiska variationer i torra?

² **Varaktighet** - Tiden mellan torkans början och slut. **Magnitud** - Det ackumulerade underskottet av vatten under en torra med hänsyn till ett visst tröskelvärde. **Intensitet** - Förhållandet mellan magnitud och varaktighet. **Frekvens** - Återkomst av torra under ett givet tidsintervall. (*K. Seftigen, personlig kommunikation, oktober 2020*)

2. Kunskapsöversikt

2.1 Dendrokronologi & dendroklimatologi

Dendrokronologi är en av de viktigaste daterings- och dokumentationsteknikerna när det kommer till processer i naturen och mänsklig påverkan på miljön. Termen härstammar från grekiska; dendro betyder träd och kronologi läran om tid. Metoden är möjlig eftersom årsringar hos träd ofta uppvisar karaktäristiska mönster. För att kunna datera ett prov behöver fyra villkor uppfyllas. För det första kan bara, generellt sett, de trädarter som utvecklar en ring per växtsäsong användas för datering. Det andra villkoret är att endast en miljöfaktor, exempelvis nederbörd eller temperatur, får dominera begränsningen av tillväxten, även om den totala säsongstillväxten påverkas av många interagerande faktorer. För det tredje måste den tillväxtbegränsande faktorn variera i intensitet från år till år, så att variationen kan reflekteras i årsringarnas bredd. Det sista villkoret är att den varierande tillväxtbegränsande faktorn måste vara likartat effektiv över ett större geografiskt område, även om mindre skillnader förekommer. Metoden kan användas till att dokumentera bland annat historiska isstormar, jordbävningar, jordskred, insektsattacker, bränder, regnmängder och temperaturer (Speer, 2011, s. 1; Stokes & Smiley, 1968, s. 3, 5).

Dendroklimatologi är en gren inom dendrokronologi där trädringar används för att rekonstruera historiskt klimat. Rekonstruktion uppnås genom att kalibrera trädringsbredd med meteorologiska data som kommer från samma tidsperiod, för att sedan etablera en statistisk ekvation för relationen mellan dessa, och slutligen ersätta bredden på de daterade ringarna i ekvationen för att erhålla en statistisk uppskattning av klimatet för tidigare år (en så kallad regressionsanalys). Därigenom kan värdefull information erhållas från perioder och områden som inte täcks av meteorologisk dokumentation. Olika biologiska och statistiska variabler samt komplicerade förhållanden måste beaktas för att kunna genomföra en lyckad rekonstruktion, exempelvis slumpmässighet i trädringsserier (Fritts, 1976, s. 2, 4, 258).

2.2 Grundläggande principer inom dendrokronologi

Inom dendrokronologi finns flera grundläggande koncept och principer att ta hänsyn till. Två av dessa är korsdatering och standardisering, vilka tas upp i metodavsnittet. Andra viktiga koncept inkluderar aktualitetsprincipen, principen om aggregerad träd tillväxt, konceptet om ekologisk amplitud, principen om begränsande faktorer, principen om val av provtagningsplats, konceptet om autokorrelation och principen om replikation.

Aktualitetsprincipen är en naturvetenskaplig teori som utgår ifrån att de processer som sker i naturen idag är desamma som verkade förr i tiden. Teorin möjliggör uppskattningar av förändringstakten hos naturliga system. Dendrokronologer använder principen vid rekonstruktioner av historiskt klimat. Dock brister principen när det kommer till beaktandet av att klimatförändringar samt trädålder kan ändra hur ett träd påverkas av klimatet. Trots detta kan aktualismen anses vara en produktiv startpunkt i analysen av historiskt klimat och miljömässiga variationer (Speer, 2011, s. 10-11).

I enlighet med *principen om aggregerad träd tillväxt* registrerar träd allt som påverkar deras tillväxt, och möjliggör särskiljning av olika miljömässiga effekter på träd tillväxten. Den aggregerade träd tillväxt-modellen används för att försöka förklara de olika variabler och faktorer som begränsar tillväxten. Formeln som används i modellen ser ut enligt följande:

$$R_t = f(G_t, C_t, D1_t, D2_t, E_t) \quad (1)$$

där R är ringbredden vid år t , G är den ålders- och storleksrelaterade tillväxttrenden, C är klimatet, $D1$ är den endogena (interna) störningen inom beståndet, $D2$ är den exogena (externa) störningen utanför beståndet, och den variation som inte kan förklaras eller identifieras omfattas av E , feltermen. Modellen demonstrerar att ringbredd är beroende av en komplex samling variabler som påverkar tillväxten. G - och C -variablerna kan hanteras via standardisering och regressionsanalys (se metodavsnittet) (Ibid., s. 17-18).

Varje art kan fortplanta sig över ett visst omfång av habitat, beroende på ärftliga faktorer som bestämmer artens fenotyp³. Detta omfång kallas *ekologisk amplitud*. Vissa arter kan växa över ett stort omfång av habitat eftersom deras ärftlighet tillåter en stor ekologisk amplitud,

³ **Fenotyp** - De egenskaper som en individ fått som ett resultat av interaktion mellan arv och miljö. (Nationalencyklopedin, u.å. a)

medan andra är begränsade till ett antal specifika platser då deras ärftliga egenskaper endast tillåter en liten ekologisk amplitud. Vissa arter blir även isolerade till följd av geografiska faktorer. Mikroklimatet på en plats påverkas av faktorer såsom topografi, lutning och läge. I och med detta är en trädart vanligen mindre stressad⁴ nära mitten av sitt omfång där den förekommer på många olika platser, och mer stressad nära kanterna av sitt omfång där den förekommer på en relativt liten variation av platser, och där klimatet kan antas vara tuffare för arten. Oftast påverkas träd som befinner sig på högre latituder och höjder mer av temperatur medan träd på lägre latituder och höjder begränsas mer av nederbörd. I klimatforsknings syfte är det mer gynnsamt att provta en art som befinner sig nära kanten av sitt omfång eftersom det är mer sannolikt att dessa träd registrerar miljömässiga variabler. Det är i dessa kantregioner, eller ekotoner, som det är mest sannolikt att klimatförändringar påverkar träd tillväxten (Fritts, 1976, s. 16, 18; Speer, 2011, s. 20).

Enligt *principen om begränsande faktorer* kontrolleras en organisms tillväxt av den mest begränsande miljöfaktorn. Exempelvis tenderar träd som växer på höga höjder att begränsas av temperatur, medan avlövnade träd hämmas av minskningen i fotosyntetisk potential. Träd tillväxt kan även begränsas på grund av brist på tillgång till näringsämnen i jorden. En hämmande faktor dominerar tillväxten för varje år och är den huvudsakliga variabeln som genererar olika breda ringar från år till år. Det är däremot möjligt att denna faktor ändras under ett träds liv, vilket försvårar rekonstruktionen av miljöfaktorer. Dessutom kan träd begränsas av flera faktorer åt gången vilket komplicerar trädens fysiologiska reaktion. Under perioder med robust tillväxt (vilket genererar breda ringar) kan graden av begränsning skilja sig åt mellan olika träd beroende på dess lokal, ekologiska position och diverse icke klimatrelaterade faktorer. Detta kan resultera i varierande tillväxtmönster från träd till träd (Fritts, 1976, s. 16; Speer, 2011, s. 15-17).

Eftersom träd registrerar alla variabler som påverkar deras tillväxt, kan dendrokronologer använda *principen om val av provtagningsplats* för att maximera signalen som dokumenteras i de träd som provtas. Lokal bör väljas utifrån vilken dominerande tillväxtbegränsande faktor som är av intresse att rekonstruera. Om exempelvis nederbörd ska rekonstrueras, bör träd som

⁴ **Stress** - En för växten ogynnsam omgivningsfaktor såsom vattenbrist, hetta, köld, näringsbrist, starkt ljus eller gift. (*Nationalencyklopedin, u.å. b*)

växer i en torr miljö provtas. Träd som växer mitt i sin ekologiska amplitud med gynnsamma förhållanden året runt kommer sannolikt att producera lika breda årsringar, vilket är ett tecken på robust tillväxt. Detta innebär att miljömässiga variationer inte registreras och att de träden alltså inte är optimala för korsdatering. Om träden uppvisar omfattande variation i den årliga tillväxten är det en indikation på känslig tillväxt. Dessa kommer att registrera miljömässiga variabler (Speer 2011, s. 21-23).

Det nuvarande årets tillväxt påverkas av det föregående årets tillväxt, enligt *konceptet om autokorrelation*. Autokorrelation drivs av trädens biologiska aktiviteter på så sätt att det nuvarande årets förhållanden (temperaturer, regnmängder och koldioxidnivåer) påverkar årets tillväxt, samtidigt som det påverkar det efterföljande årets tillväxt genom utveckling av nya knoppar, hormoner och nytt socker. Sedan kommer det årets väder att påverka tillväxten ännu längre in i framtiden via utveckling av löv, rötter och frukter. Varje biologisk organism producerar celler, proteiner och socker som kan användas under följande år, vilket skapar autokorrelation i den organismens respons på miljömässiga variabler. Alla biologiska organismer utsätts för autokorrelation på grund av kontinuiteten och det enkelriktade flödet av tidens progression och tillväxtens utveckling (Ibid., s. 18-19). Ringbredden påverkas till viss del av hur tillväxten såg ut under det föregående året; därav efterföljs en bred ring ofta av ytterligare en bred ring. Detta brukar refereras till som trädens biologiska minne. Under ett år med gynnsamma förhållanden kan träden ackumulera extra resurser att dra nytta av året efter, om vädret skulle vara mindre gynnsamt då (K. Seftigen, personlig kommunikation, augusti 2020).

Replikation är användandet av flera prover för att utveckla en korrekt daterad kronologi på beståndsnivå, eller användandet av många prover som sträcker sig bakåt i tiden för att skapa ett bra provdjup genom kronologin. Genom att matcha ringbreddsmönstren mellan flera prover från en plats, kan giltig korsdatering för beståndet uppnås. Genom att beräkna den genomsnittliga tillväxten för ett flertal prover kan dendrokronologer ändra den rumsliga skalan över vilken en studie utförs, från ett individuellt träd till ett bestånd och upp till regional nivå. Genomsnittet av replikerade mätningar från ett stort antal prover ger även den bästa uppskattningen av klimatet, eftersom den tillväxtvariation som är kopplad till klimatvariation kan bibehållas. Dessutom kan en stor del av icke klimatrelaterade effekter,

vilka skiljer sig åt mellan olika individer och platser, minimeras. Replikation utgör grunden för korsdatering och bidrar till robustheten hos miljömässiga rekonstruktioner (Fritts, 1976, s. 23; Speer, 2011, s. 23). Vanligtvis tas två borkkärnor per träd för att underlätta lokalisering av eventuella saknade ringar då dessa oftast inte förekommer runt hela stammen. Ett provdjup på 20-30 träd eftersträvas för att maximera klimatsignalen i data, eliminera lokala störningar, och få robusta data som kan förenkla åstadkommandet av en korrekt korsdatering (K. Seftigen, personlig kommunikation, oktober 2020).

2.3 Trädringsparametrar

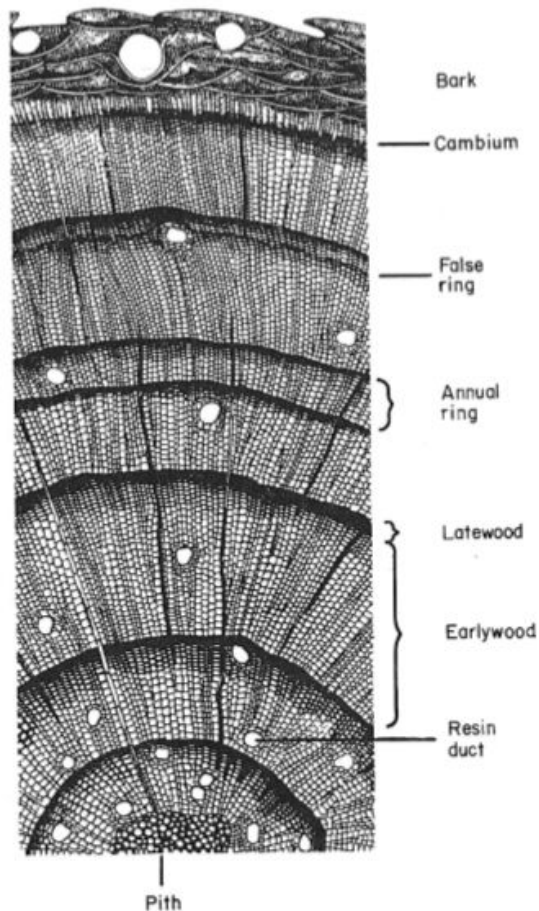
2.3.1 Vår- och höstved

Årsringar kan delas in i vår- och höstved (se figur 1). Vårved definieras som celler som har stora hålrum (öppning i mitten av en cell) jämfört med cellväggarna. Höstvedsceller är alltid tillplattade och har mer kompakta hålrum i jämförelse med cellväggarna och förefaller därmed vara mörkare än vårveden. Vårvedscellerna bildas under våren och tidig sommar, medan höstvedscellerna formas under sensommaren. Denna synkronisering kan dock skilja sig åt mellan arter och beroende på klimatförhållanden. Det är kontrasten mellan de senast formade höstvedscellerna under en tillväxtsäsong och de tidigast formade vårvedscellerna under följande säsong som definierar en årsringsgräns (Speer, 2011, s. 43; Stokes & Smiley, 1968, s. 8). Total ringbredd är en sammanslagning av vår- och höstvedsbredd och avser alltså bredden på hela årsringen. Säsongsved är ett samlingsnamn för vår- och höstved.

2.3.2 Falska och saknade ringar

Tillväxthormoner utlöser celldelning, cellförlängning och fruktutveckling. Under år med ogynnsamt väder kan otillräcklig produktion av tillväxthormoner innebära att tillväxten inte aktiveras i vissa delar av stammen, särskilt nära basen av trädet. Detta resulterar i saknade ringar som endast återfinns i vissa delar av stammen. Tillväxthormoner tenderar att flytta från grenarnas toppar till rötternas toppar, varför det är mer troligt att saknade ringar återfinns nära trädets bas. Falska ringar skapas då en förändring i cellstruktur inträffar inom en årlig

tillväxtökning så att lagret liknar en sann årsringsgräns. Begränsande faktorer som gör att tillväxttakten avtar och trädets verksamhet stängs av under en del av året kan skapa falska ringar (se figur 1) (Fritts, 1976, s. 21; Speer, 2011, s. 46-47). Exempelvis en torka under tillväxtsäsongen vid tork-känsliga lokaler.



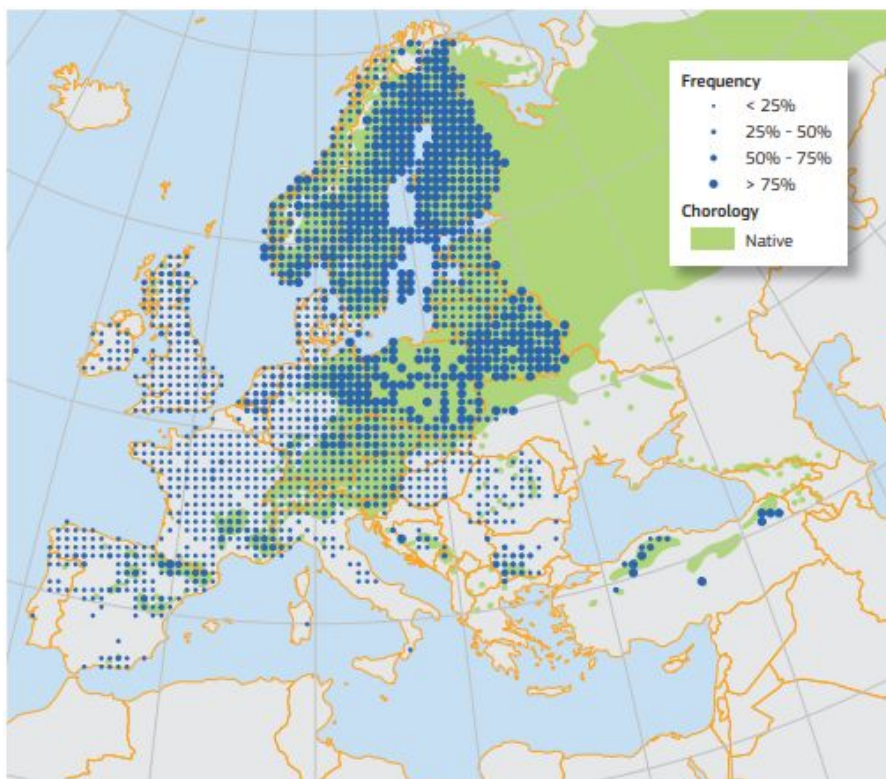
Figur 1. Cellstruktur hos ett ungt barrträd. Skildring av bland annat en falsk ring, årsring, höstved och vårved. (Fritts, 1976, s. 59)

Figure 1. Cell structure of a young stem of a conifer. Depiction of a false ring, annual ring, latewood, earlywood etc. (Fritts, 1976, p. 59)

2.4 *Pinus sylvestris L*

Pinus sylvestris L är den mest utspridda tallarten i världen. Den kan hittas över hela Eurasien på breddgrader mellan 70°N till 37°N, d.v.s. från norra Skandinavien till södra Europa (se figur 2), på höjder från havsnivå till över 2600 meter över havet. Dess omfattande utbredning tyder på att den har väldigt stor genetisk variation, vilket troligen beror på dess isolering i ett

antal glaciala refugier⁵ under den senaste istiden. Arten är ett barrträd av medelstorlek. Den blir i genomsnitt runt 25 meter hög men kan sträcka sig över 40 meter och uppnå en ålder på mer än 400 år. Den är en pionjärart⁶ som är tolerant mot frost och torka och kan växa på jordar av dålig kvalitet. Den kan därmed hittas i många ekologiskt nyanserade habitat. Dock kan den inte hantera luftföroreningar eller salta havsvindar och blir ofta utkonkurrerad av andra arter på fertila jordar. Efter en period av nedkylning under vintern bryts dess inaktiva tillstånd och den börjar växa under våren vid en temperatur kring 5 °C. I ett varmare klimat är det troligt att den förökar sig i norr men avtar söderut. Arten kan växa för sig själv eller bland andra europeiska och asiatiska arter (Houston Durrant, de Rigo & Caudullo, 2016, s. 132-133).



Figur 2. Förenklad karta över frekvens och korologi⁷ för *Pinus sylvestris* L. (Houston Durrant, de Rigo & Caudullo, 2016, s. 132)

Figure 2. Simplified distribution and chorology map for *Pinus sylvestris* L. (Houston Durrant, de Rigo & Caudullo, 2016, p. 132)

⁵ **Refugium** - Ett tillflyktsområde där en art kunnat överleva en period med ogynnsamma klimatförhållanden. Refugier antas ha funnits på bl.a. isfria bergstoppar under istiderna. (*Nationalencyklopedin, u.å. c*)

⁶ **Pionjärart** - Den första arten som koloniserar ett tidigare skadat eller irriterat ekosystem. Pionjärarter är tåliga och kan uthärda effekterna som kommer av att ett habitat åsamkats skada. Arterna är vanligen fotosyntetiska och vindpollinerade. (*Biologyonline, u.å.*)

⁷ **Korologi** - Företeasers rumsliga fördelning och geografiska lokalisering. (*Nationalencyklopedin, u.å. d*)

I flera europeiska länder är *Pinus sylvestris* kommersiellt och kulturellt betydelsefull, och arten utgör över 20 % av den produktiva skogsarealen i Europa. Timret används främst som byggnadsmaterial, till möbler och papper. Arten används frekvent inom dendrokronologi eftersom den lever relativt länge och tillväxten kan påverkas märkbart av små förändringar i temperatur eller fuktighet. Det finns även flera underarter, men den utmärkande orangeröda färgen på den övre delen av stammen gör det lätt att identifiera *Pinus sylvestris* (se figur 3). De blå-grå-gröna barren håller sig kvar på trädet mellan två till sex år. De är anpassade till att stå ut med kyla och torka; de inbäddade klyvöppningarna⁸ och vaxtäkta, tjocka ytterlagren skyddar barren från vattenförlust. Arten är vindpollinerad och vanligen tvåkönad. Kottarna utvecklas året efter pollinering och kräver omväxlande perioder av torrt och blött väder för att kunna sprida sina fröer. Hot inkluderar betande djur och attacker från skadedjur såsom larver och svampar (Ibid.).



Figur 3. *Pinus sylvestris* karaktäristiska exteriör. (Houston Durrant, de Rigo & Caudullo, 2016, s. 132)

Figure 3. The characteristic appearance of *Pinus sylvestris*. (Houston Durrant, de Rigo & Caudullo, 2016, p. 132)

⁸ **Klyvöppning** - Reglerbar öppning i det yttre cellskiktet hos växters stjälkar och blad. Viktig för cellernas utbyte av gaser med atmosfären. (*Nationalencyklopedin, u.å. e*)

3. Studieområden

3.1 Urval

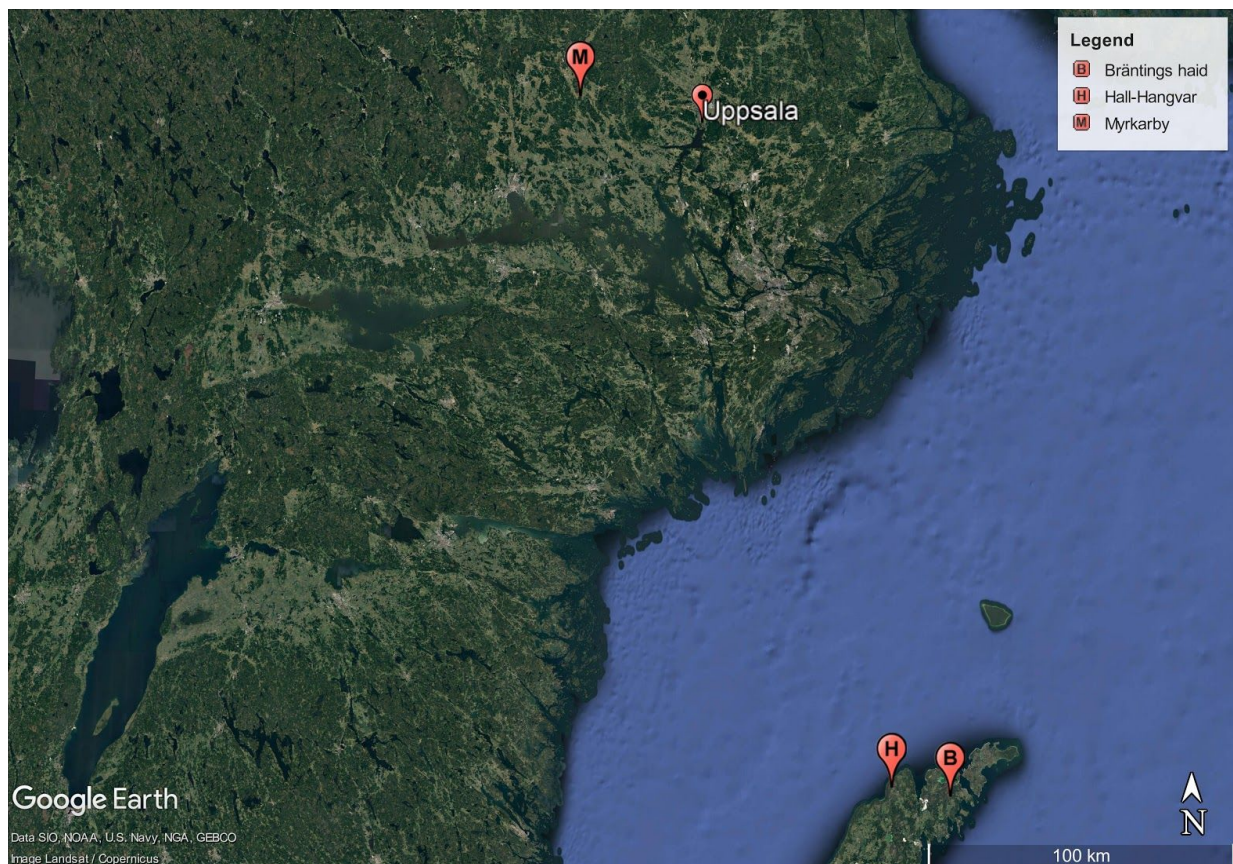
Denna studie bygger på data insamlad från tre platser; Myrkarby i Uppland ca 39 km väst om Uppsala, och Bräntings haid samt Hall-Hangvar på norra Gotland (se figur 4). Samtliga provtagningsplatser är naturreservat, där vissa föreskrifter gäller då de innehar särskilt värdefull och unik natur. Provtagningsplatserna valdes utifrån två kriterier: tillgång till gamla tallar (äldre än ca 250 år) och möjligheten att hitta tork-känsliga träd. Eftersom skogen i Sydsverige under det senaste århundradet har påverkats kraftigt av skogsbruk och avverkning, är det inte helt lätt att hitta träd som överstiger en ålder på runt 250-300 år. Det är främst i naturreservaten och nationalparkerna där dessa gamla träd återfinns (K. Seftigen, personlig kommunikation, april 2020). Urvalet av provtagningsplatser begränsades till naturreservat där det förekommer mycket hållmark⁹ eller där terrängen är kuperad. Naturreservat där marktypen domineras av exempelvis torvmarker (där trädutväxten inte är begränsad av tillgång till vatten) exkluderades. Gotlandsregionen valdes även för att forskargruppen sedan tidigare har en del insamlat arkeologiskt material från gamla byggnader därifrån. Tanken är att så småningom möjliggöra en förlängning av kronologin tillbaka till 1200-talet.

3.2 Geografiska, geologiska och klimatologiska skillnader

Avståndet mellan Myrkarby och Bräntings haid är ca 255 km fågelvägen, och mellan Bräntings haid och Hall-Hangvar ca 19 km. Träden i Myrkarby växer på hållmark, medan många av träden i Bräntings Haid och Hall-Hangvar växer på kalkstensplatåer (K. Seftigen, personlig kommunikation, maj 2020). Till följd av den flacka topografin och kalkstenens genomsläpplighet, saknas större vattendrag på Gotland. Detta medför underjordiska

⁹ **Hållmark** - Terrängtyp som domineras av berghällar med ett tunt växttäckte av lavar och mossor samt ett glest jordtäckte i sänkorna, i vilka tallskog kan rotas. (*Nationalencyklopedin, u.å. f*)

vattenflöden och karstbildning¹⁰ (NE, u.å. a1). I det uppländska landskapet är rullstensåsar¹¹ ett framträdande drag i terrängen (NE, u.å. a2). Medeltemperaturen under den varmaste månaden, juli, är densamma på Gotland och i Uppland; 16 °C. Under den kallaste månaden, februari, varierar medeltemperaturen från -1 till -2,5 °C på Gotland, och från -3 till -5 °C i Uppland under januari och februari. Årsmedelnederbörden är runt 500-600 mm respektive 450-650 mm. Båda landskapen hör till de som uppvisar minst höjdskillnader av alla Sveriges landskap (SMHI, 2009 a & 2013). Sveriges zonkarta är en uppdelning av Sverige i nio olika växtzoner där de gynnsammaste odlingsförutsättningarna förekommer i zon 1, och de minst gynnsamma i zon 9. Enligt kartan ligger Bräntings haid och Hall-Hangvar i zon 1, och Myrkarby i zon 4. Ju högre zon en växt tillhör, desto hårdigare anses växten vara (Lagerström, u.å.).



Figur 4. Karta över naturreservaten.

Figure 4. The locations of the nature conservation areas.

¹⁰ **Karstbildning** - Torr landskapstyp med hålor, fåror, sprickbildningar och underjordisk vattenavrinning som uppstår genom kemisk vittring av kalkstensberggrund. (*Nationalencyklopedin, u.å. g*)

¹¹ **Rullstensås** - Långsträckt ås av stenar, grus och sand som avlagrats ur isälvar vid inlandsisens smältning. Rullstensåsarnas grovkorniga material har en god vattengenomsläplighet. (*Nationalencyklopedin, u.å. h*)

3.3 Myrkarby

Myrkarby naturreservat (figur 5) är ett Natura 2000¹²-skyddsområde i Heby kommun utanför Uppsala. Området utgör en areal på ca 45 hektar och har varit skyddat sedan 1998. Reservatet är privatägt men förvaltas av Länsstyrelsen i Uppsala län. I Myrkarby växer bland annat tallar som är över 300 år gamla och granar som såg sitt första ljus för mer än 200 år sedan. Tallarna har grova sidogrenar och bark som hänger ihop i decimeterstora stycken med slät yta, så kallad pansarbark, vilket är en indikation på deras höga ålder. Ärrbildningar på träden avslöjar spår av gamla skogsbränder. Här finns ett varierat djur- och växtliv inklusive många ovanliga arter som är beroende av den här sortens unika natur för att överleva. Mossor, lavar och vedlevande svampar trivs i reservatets miljö där omväxlande levande och döda träd befinner sig i olika stadier av förmultning (Länsstyrelsen Uppsala län, u.å.).



¹² **Natura 2000** - Nätverk av skyddade områden i hela EU. Värdefulla naturområden med unika naturtyper och arter som är särskilt skyddsvärda ur ett europeiskt perspektiv. Syftet är att bevara biologisk mångfald. (Sverigesnationalparker, u.å.)



Figur 5. Myrkarby naturreservat. (Länsstyrelsen Uppsala län, u.å.)

Figure 5. Myrkarby nature conservation area. (County Administration of Uppsala, n.d.)

3.4 Gotland

3.4.1 Bräntings haid

Bräntings haid är ett naturreservat och Natura 2000-område på norra Gotland som har varit skyddat sedan 2001. Det har en areal på 423 hektar och består huvudsakligen av tallskog (mest lågvuxen) samt alvar¹³- och våtmark. Reservatet ägs av Naturvårdsverket och förvaltas av Länsstyrelsen i Gotlands län. Alvarmarkerna består dels av hållmarker och dels av grusalvar, där berggrunden täcks av ett tunt lager vittringsgrus. Naturen är karg men har ändå ett rikt växt- och djurliv med exempelvis flera ovanliga slags insektsarter såsom apollofjäril och svartfläckig blåvinge. Växter som går att finna är bland annat jordtistel, salepsrot och alpnnyckel. Majoriteten av träden är över 100 år gamla. Det finns olika sorters våtmarker i området såsom myrar, fukthedar och våtar¹⁴. Vanliga växter på fukthedarna inkluderar ängsvädd och alvargräslök, och här återfinns även blodtoppen, en växt som i Sverige endast förekommer på Gotland (Länsstyrelsen Gotlands län, u.å. a).

¹³ **Alvar** - Landskapstyp med kalkrik jordmån och stäppartad vegetation som består av kalkkrävande arter såsom gotlandssolvända och speciella lavar och mossor. (*Nationalencyklopedin, u.å. i*)

¹⁴ **Vätar** - Vattenrika områden som ofta torkar ut under sommaren. (*Guteinfo, u.å.*)

3.4.2 Hall-Hangvar

Naturreseptatet och Natura 2000-området Hall-Hangvar (figur 6) ligger på norra Gotland och består av tallskog, klintkust och våtmarker. Det 3000 hektar stora resevatet har skyddsår 1967 och utvidgades år 1999. Det ägs både privat och av Naturvårdsverket och förvaltas av Länsstyrelsen i Gotlands län. I söder växer lågvuxen hällmarkstallskog i ett tunt jordtäckte, och det finns även nästan helt trädlösa hällmarker i resevatet. Ett flertal ovanliga växtarter kan påträffas trots det karga landskapet, till exempel svärdrkrisla och gotlandssolvända. De olika typerna av våtmark karaktäriseras bland annat av högvuxna starrarter, och vegetationsfattiga blekevätur som torkar ut under sommaren. På många platser nedanför klintarna har framträngande grundvatten skapat botaniskt rika kalkfuktängar och källkär (Länsstyrelsens Gotlands län, u.å. *b*).





Figur 6. Bilder från Hall-Hangvar, tagna i januari 2020 av forskargruppen från Göteborgs Universitet. Bräntings haid ser snarlikt ut.

Figure 6. Pictures from Hall-Hangvar, taken during January 2020 by the research group from Gothenburg University. Bräntings haid looks very similar.

4. Data & metoder

I följande avsnitt presenteras provtagning, behandling, mätning och datering av prover; provanalys i form av korsdatering och standardisering; statistiska analyser; klimatdata och kalibrering med klimatvariabler; samt klimatrekonstruktion.

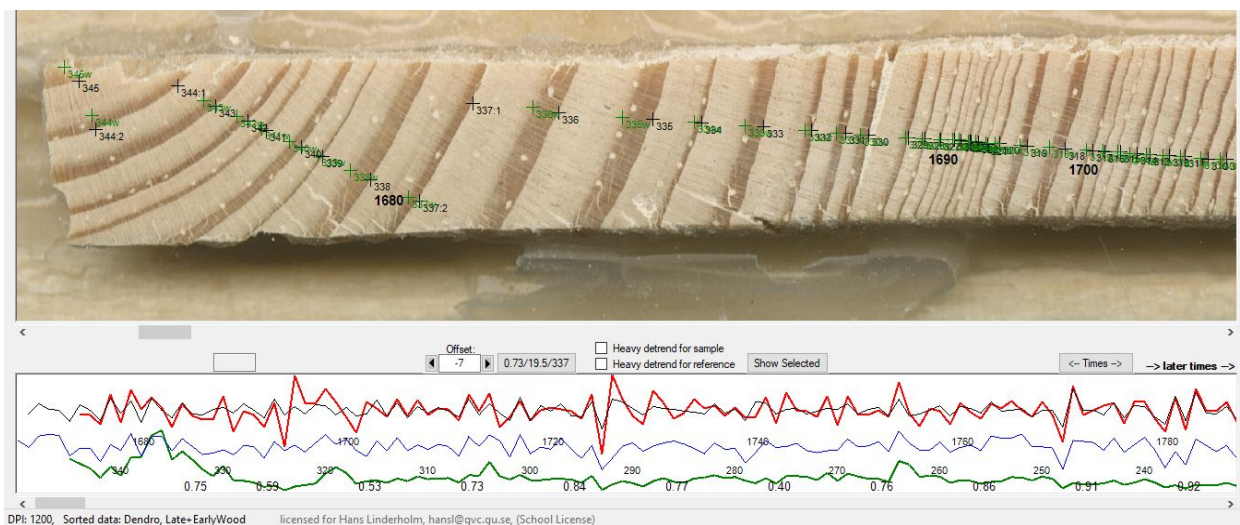
4.1 Provtagning och preparering av prover

Insamling av data utfördes av en forskargrupp från GULD (the Gothenburg University Laboratory for Dendrochronology) på Gotland under januari 2020, samt i Myrkarby under oktober 2018. Proverna från Myrkarby togs efter tillväxtsäsongen 2018, därför är den yttre ringen i dessa daterad till 2018. På Gotland daterades den yttre ringen till 2019, då tillväxtsäsongen 2020 inte hade påbörjats vid provtagningstillfället. Med hjälp av en tillväxtborr av märket Haglöf, 5 mm i diameter, samlades prover in från tallar, *Pinus sylvestris* L. De individer som bedömdes vara tork-känsliga, d.v.s. som växte på sluttningar med tunt jordtäckte eller på hållmark, och ha påverkats i så liten utsträckning som möjligt av sjukdomar, människor och skadedjur, samt som såg äldst ut, valdes ut. Proverna limmades sedan fast på tråklossar och sandades med sandpapper för att synliggöra ringgränserna och möjliggöra vidare bearbetning och analys. Dessa är standardmetoder för behandling av prover inom dendrokronologi (Stokes & Smiley, 1968, s. 31, 44).

4.2 Bearbetning och analys

Proverna fotograferades respektive skannades i 2400 DPI upplösning med en Epson Expression 10 000 XL skanner. De skickades för att i denna studie mätas i programvarorna CooRecorder och CDendro (Cybis, 2019). (Se figurerna 7-8.) Eftersom miljön i Bräntings haid och Hall-Hangvar på Gotland ser mycket snarlik ut (kalkstensplåtar med tunt jordtäckte), och då även trädutväxten uppvisar samma mönster i de två naturreservaten, kunde proverna från dessa slås samman till en kronologi. Totalt mättes borkkärnor från 38 träd från de tre naturreservaten (19 prover per kronologi) i 6000 (Gotland) respektive 1200 (Myrkarby) DPI upplösning. Trädringsparametrar som mättes var bredden på årsringarna,

samt bredden på vår- och höstveden. För att säkerställa rätt datering av proverna identifierades falska och saknade ringar. Detta gjordes dels visuellt samt med hjälp av programmet Cofecha (L-DEO, 2013), där korsdateringen genomgick en statistisk kvalitetskontroll. Cofecha utför en statistisk matchning mellan delar av varje borrhäna och huvudkronologin¹⁵ vilken skapas utifrån mätningarna som matas in i programmet (Speer, 2011, s. 116). Nästa steg var att utföra standardisering i Arstan (L-DEO, 2014) för att slutligen möjliggöra korrelation med klimatdata i Excel. Arstan används för att bygga de slutliga beståndsnivå-kronologierna. Programmet utvecklades för att matematiskt standardisera trädringsserier och kontrollera eller ta bort autokorrelations-komponenten i tidsserierna (Ibid., s. 133, 138).

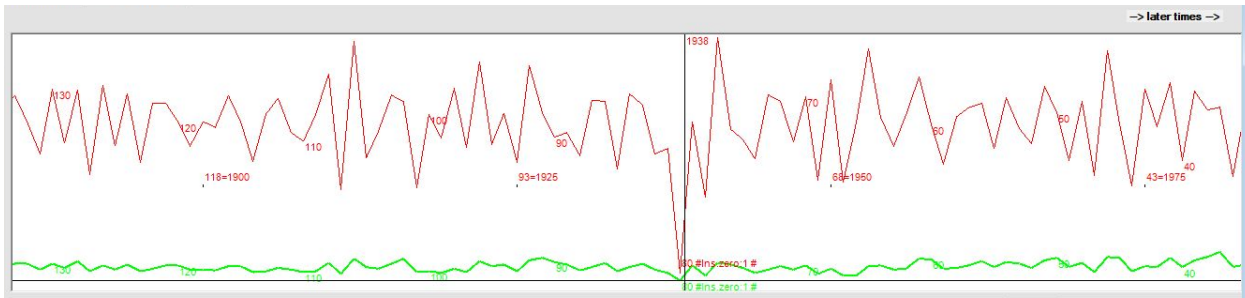


Figur 7. Mätning av årsringar i CooRecorder. Närbild av ett prov från Myrkarby daterat från 2018 till 1673. Svarta markeringar representerar höstved och gröna markeringar vårved. Siffrorna vid markeringarna är antalet årsringar och de fetstilta siffrorna är årtal. Den aktuella mätningen (röd och grön linje) matchas mot en referens (svart och blå linje) där mätningen har filterats för att framhäva år-till-år-variationen, för att lättare kunna se om matchningen är korrekt. Siffrorna under den gröna linjen är korrelationskoefficienter där värden närmare 1.0 indikerar en högre grad av korrelation.

Figure 7. Measurement of annual tree rings in CooRecorder. Close-up of a sample from Myrkarby dated from 2018 to 1673. Black markings represent latewood and green markings earlywood. The figures at each marking stand for the number of annual rings, and the bold figures are the years. The current measurement (the red and green lines) are matched against a reference (the black and blue lines) where the measurement has been filtered to emphasise the year-to-year-variation, to make it easier to verify if the correspondence is correct. The figures

¹⁵ **Huvudkronologi** - En dokumentation av ringbredd som representerar beståndsnivå-signalen (Speer, 2011, s. 14).

underneath the green line are correlation coefficients where values closer to 1.0 indicate a higher degree of correlation.

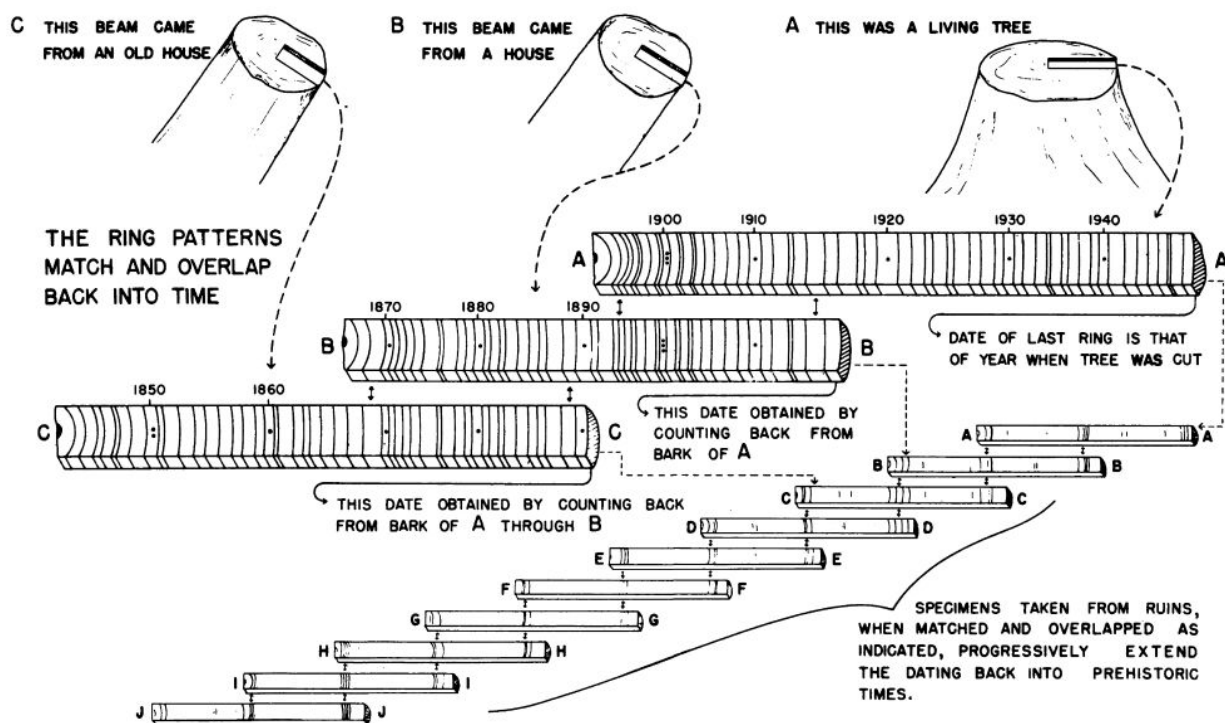


Figur 8. Infogande av saknad ring i CDendro, år 1938 i detta exempel.

Figure 8. Inserting a missing ring (“zero ring”) in CDendro, in the year of 1938 as exemplified above.

4.2.1 Korsdatering

Årsringarnas tillväxtår bestämdes med hjälp av korsdatering. Metoden går ut på att mönstren från olika träd matchas för att avgöra om alla ringar är representerade i ett prov (se figur 9). Variationer i ringegenskaper, framförallt ringbredd, undersöks och matchas synkront mellan alla prover från en region. Därigenom går det även att upptäcka falska eller saknade ringar. En korrekt regional kronologi med överensstämmelse mellan tillväxtserier från träd i angränsande bestånd kan uppnås. Metoden möjliggör också jämförelse av ringbreddsmätningar med fenomen såsom meteorologiska data. Korsdatering är möjlig eftersom liknande miljömässiga förhållanden inom en region har begränsat ringbredden hos ett större antal träd, och de årliga variationerna i begränsande klimatfaktorer producerar synkroniserade variationer i ringstruktur (Fritts, 1976, s. 20-21; Speer, 2011, s. 11-12). I tabell 1 redovisas några resultat från den statistiska kvalitetskontrollen av korsdateringen i Cofecha.



Figur 9. Korsdaterings-processen. (Modifierad från Fritts, 1976, s. 3)

Figure 9. The process of crossdating. (Modified from Fritts, 1976, p. 3)

Tabell 1. Resultaten från kvalitetskontrollerna av dateringarna av den totala ringbredden i Cofecha. Vänstra segmentet visar resultaten för Gotlandsserien (19 prover som sträcker sig från år 1716-2019), och det högra för Myrkarbyserien (sträcker sig från 1674-2018). Totalt genomfördes sex stycken kontroller i Cofecha: två för vårved (en per trädringskronologi), två för höstved, och två för total ringbredd. Varje individuell serie korrelerades mot medelvärdet av alla andra serier. Serie-interkorrelationen är ett medelvärde av alla dessa korrelationer (Speer, 2011, s. 107). Ju högre värde i serie-interkorrelationen, desto starkare korrelation mellan varje träd. Genomsnittlig sensitivitet är ett mått på den årliga variationen i ringbredd (Ibid.). Möjliga problem innebär antalet varningsflaggor som Cofecha upptäckt. Flaggorna kan uppkomma på grund av t.ex. feldatering eller få antal mätta prover.

Table 1. The results from the quality controls of the datings of the total ring width in Cofecha. The left segment shows the results for the Gotland series (19 samples covering the years 1716-2019), and the right one for the Myrkarby series (covering the years 1674-2018). A total of six controls were executed in Cofecha: two for earlywood (one per tree-ring chronology), two for latewood, and two for total ring width. Every individual series was correlated against the average of all the other series. The series intercorrelation is an average of all these correlations (Speer, 2011, p. 107). The higher the value in the series intercorrelation, the stronger the correlation between each tree. Mean sensitivity is a measurement of the yearly variation in tree-ring width (Ibid.). Possible problems refer to the number of warning flags that Cofecha has detected. The flags can appear due to eg. incorrect dating or a low number of measured samples.

*****	*****
C Number of dated series 19 *C*	*C* Number of dated series 19 *C*
O Master series 1716 2019 304 yrs *O*	*O* Master series 1674 2018 345 yrs *O*
F Total rings in all series 4407 *F*	*F* Total rings in all series 5008 *F*
E Total dated rings checked 4397 *E*	*E* Total dated rings checked 5001 *E*
C Series intercorrelation 0.604 *C*	*C* Series intercorrelation 0.649 *C*
H Average mean sensitivity 0.366 *H*	*H* Average mean sensitivity 0.322 *H*
A Segments, possible problems 15 *A*	*A* Segments, possible problems 9 *A*
*** Mean length of series 231.0 ***	*** Mean length of series 263.0 ***
*****	*****

4.2.2 Standardisering

Ringbredden påverkas inte enbart av varierande klimatförhållanden, utan även av systematiska förändringar i trädens ålder, geometri och i förhållandena på platsen. I studier av variationer i ringbredd i förhållande till klimat är det vanligast att utgå ifrån ålder vid uppskattning av förändringar i variationerna, för att sedan ta bort dessa ändringar i mätningarna. Denna korrektion av ringbredd utifrån åldersförändringar och trädgeometri kallas standardisering. Metoden användes således för att kompensera för storleksminskning i ringbredd till följd av en åldersrelaterad ökning i stammens diameter. För att få fram den genomsnittliga kronologin för en provtagningsplats beräknas de standardiserade ringbredds-indexen från individuella träd (Fritts, 1976, s. 24-25). Se *principen om aggregerad träd tillväxt* i kunskapsöversiktsavsnittet för en översikt över resterande variabler som kan påverka tillväxten. I tabell 2 redovisas några resultat från standardiseringen i Arstan.

Tabell 2. Fyra olika kronologier producerade av Arstan (rå-, standard-, residual- och arstankronologin - se kolumnerna längst åt höger) utifrån dateringen av Myrkarbyprovernas totala ringbredd. I denna studie har residualkronologierna för de olika trädringsparametrarna använts i vidare analyser. Enligt Speer (2011, s. 141) har all autokorrelation tagits bort från residualkronologin, vilket optimerar serien för vidare analys men gör den inte nödvändigtvis mest känslig för signalen av intresse.

Table 2. Four different chronologies produced by Arstan (the raw, standard, residual and arstan chronologies - see the rightmost columns) from the dating of the total ring width of the Myrkarby samples. In this study, the residual chronologies for the different tree-ring parameters have been used in further analyses. According to Speer (2011, p. 141), the residual chronology has had all autocorrelation removed, which makes it optimal for further analysis but not necessarily the most sensitive to the signal of interest.

year	num	seg	age	raw	std	res	ars
1674	1	345	1	2.06	1.024	1.011	1.008
1675	1	345	2	1.74	0.877	0.881	0.873
1676	1	345	3	1.45	0.74	0.786	0.768
1677	1	345	4	0.84	0.435	0.523	0.499
1678	1	345	5	1.57	0.824	0.985	0.972
1679	1	345	6	0.98	0.522	0.605	0.627
1680	1	345	7	2.16	1.171	1.248	1.278
1681	2	341.5	4.5	1.29	1.093	1.047	1.131
1682	2	341.5	5.5	2.05	1.626	1.539	1.635
1683	2	341.5	6.5	2.345	1.951	1.792	1.82
1684	2	341.5	7.5	1.305	1.165	0.975	1.035
1685	2	341.5	8.5	1.55	1.277	1.224	1.124
1686	3	338.667	6.667	2	1.315	1.296	1.227
1687	3	338.667	7.667	1.38	0.955	1.119	0.966
1688	3	338.667	8.667	0.96	0.703	0.865	0.695
1689	3	338.667	9.667	1.22	0.548	0.543	0.515
1690	3	338.667	10.667	0.68	0.478	0.601	0.56

4.2.3 Kalibrering med klimatvariabler

Efter att den åldersrelaterade trenden tagits bort från alla individuella trädringsserier i Arstan, skapades ett aritmetiskt medelvärde av dessa som representerar trädens medeltillväxt vid respektive lokal. Fortsatta analyser baserades på residualkronologierna för de olika trädringsparametrarna. Denna typ av trädringskronologi innehåller mest högfrekvent variabilitet¹⁶, medan autokorrelation och trender som beror på trädets biologi till stor del har tagits bort. Genom att korrelera ringbredd (residualkronologierna) med ett antal klimatvariabler går det att undersöka klimatets inverkan på tillväxten. En sådan korrelationsanalys kallas kalibrering. En korrelation anger styrkan och riktningen på sambandet mellan två parametrar. Speer (2011, s. 10) beskriver kalibrering som den process där en verifierad dokumentation av någon form av miljömässig variabel (såsom temperatur- eller nederbördsdata) jämförs med en trädringskronologi i syfte att bestämma träd-tillväxtens respons på den variabeln.

Väderstationsdata från Uppsala (stationsnr 97520) och Visby (nr 78390) över månatlig nederbörds mängd från och med år 1723 respektive 1859 inhämtades från SMHI:s webbdatabas. Likaså månatlig temperaturdata från Uppsala fr.o.m. 1722 t.o.m. 1986 och från

¹⁶ D.v.s. att variationen över längre perioder (trender) är borttagen, medan år-till-år-variationen är bevarad.

Uppsala Aut (nr 97510) fr.o.m. 1985, samt från Visby fr.o.m. 1859 t.o.m. 1986 och från Visby Flygplats (nr 78400) fr.o.m. 1945. Se stationskarta, figur 10. Temperaturdata från Uppsala Aut respektive Visby Flygplats slogs samman med de andra två temperaturserierna. Nederbörds- och temperaturdata (CRU TS 4.03¹⁷) fr.o.m. år 1901 hämtades även från en andra källa, KNMI Climate Explorer (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut), där exakta koordinater för de olika naturreservaten angavs. Detta för jämförandes skull. CRU TS-data, som är rutnäts-baserade, kommer från flera närliggande stationer till punkterna och är interpolerade för att få fram värden för punkterna i fråga. Då Bräntings haid och Hall-Hangvar ligger nära varandra geografiskt sett, var meteorologiska data från KNMI Climate Explorer identisk för de två reservaten då de täcks av samma datanätverk. I Excel genomfördes sedan korrelationsanalyser av all data ihop med residuallinjer för de olika trädrycksparametrarna (se tabell 3).

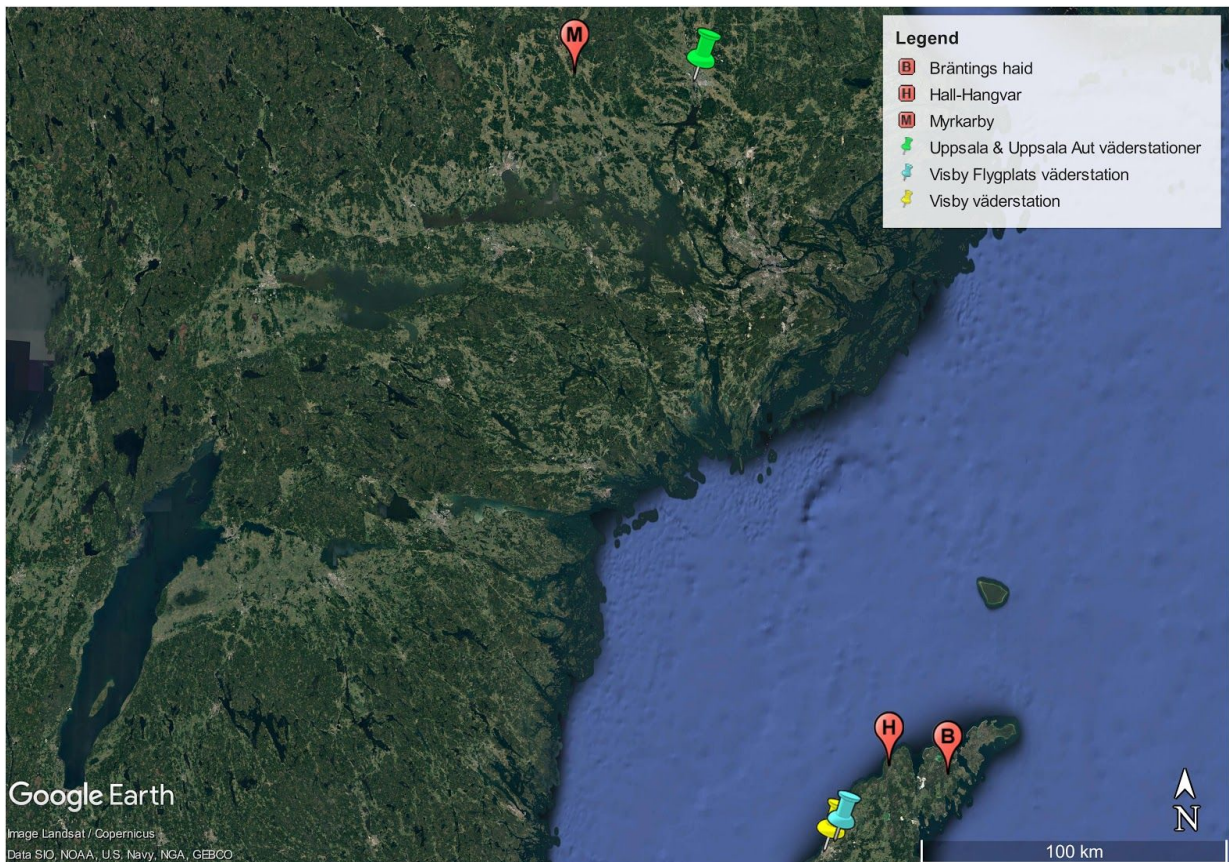
Under vissa år saknas data från SMHI. Orsaken till databortfallet anges vara att stationen eller givaren varit ur funktion. Data saknas för alla månader under ett tjugotal olika år under 1700-talet och början av 1800-talet i Myrkarby, samt under ett tiotal olika år främst under 1980- och -90-talen på Gotland. SMHI har märkt data med två olika kvalitetskoderna; *G* och *Y*, där *G* står för kontrollerade och godkända värden, och *Y* för misstänkta eller aggregerade värden. Alla värden från Uppsalas väderstationer innan år 1863 är *G*-märkta, medan majoriteten av värdena från perioden efter år 1863 är *Y*-märkta. I princip all temperaturdata från Visbys väderstationer är *Y*-märkt, medan det förekommer större variation bland märkningarna för nederbördsdata där majoriteten av *Y*-märkningarna påträffas fram till och med 1900-talet samt efter 1950-talet och framåt.

Med utgångspunkt i korrelationsanalyserna gick det att fastställa vilka trädrycksparametrar som uppvisar högst korrelation med klimatvariablerna vid respektive lokal. Baserat på dessa samband utfördes en enkel linjär regressionsanalys där den meteorologiska variabel som har störst inverkan på trädrycksbredden rekonstrueras lika långt tillbaka i tiden som årsringarna sträcker sig med hjälp av ekvationen:

$$y=kx+m \tag{2}$$

¹⁷ gridded Climatic Research Unit (CRU) Time-series (TS) data, version 4.03

där y är klimatvariabeln, k är lutning, x trädriings-index, och m skärningspunktsvärdet. Detta för att möjliggöra en jämförelse mellan trädriingsbredd och meteorologiska data ur ett längre tidsperspektiv. I resultatdelen har gränsen mellan det för- och postindustriella klimatet dragits vid år 1900. Som tidigare nämnts syftar ett postindustriellt samhälle i denna studie på tiden efter 1850-talet. Indelningen har gjorts utifrån antagandet att det tog en viss tid för industrialismens effekter att bli synliga i klimatet.



Figur 10. Karta över väderstationerna i förhållande till studieområdena. Avstånd mellan Myrkarby och Uppsala väderstationer: ca 38.6 km. Avstånd mellan Bräntings haid och Visby väderstation: ca 47 km.

Figure 10. The locations of the weather stations relative to the study areas. Distance between Myrkarby and Uppsala weather stations: approx. 38.6 km. Distance between Bräntings haid and Visby weather station: approx. 47 km.

Tabell 3. Korrelationsanalys (i Excel) av ringbredd (residualkronologin) och nederbörd (data från KNMI Climate Explorer) för dateringen av Gotlandsseriens totala ringbredd. Siffrorna är korrelationskoefficienter som visar graden av korrelation mellan total ringbredd och nederbörd för olika månader. Den nedersta raden är ett aggregerat medelvärde av maj och juni, som lades till efter att de i en första kalibrering uppvisat högst grad av korrelation bland sommarmånaderna. Detta för att se om graden av korrelation för de aggregerade

sommarmånaderna var högre än för de separata månaderna. Korrelationskoefficienterna i kolumnen längst till vänster (i respektive korrelationsanalys) användes för att skapa graferna i resultatdelen.

Table 3. Correlation analysis (performed in Excel) of ring width (the residual chronology) and precipitation (data from KNMI Climate Explorer) for the dating of the total ring width of the Gotland series. The figures are correlation coefficients showing the degree of correlation between total ring width and precipitation for different months. The bottom row is an aggregated average of May and June, which was added after an initial calibration where they showed the highest degree of correlation among the summer months. This was done to see if the degree of correlation for the aggregated summer months was higher than for the separate months. The correlation coefficients in the leftmost column (in each correlation analysis) were used to create the graphs in the results section.

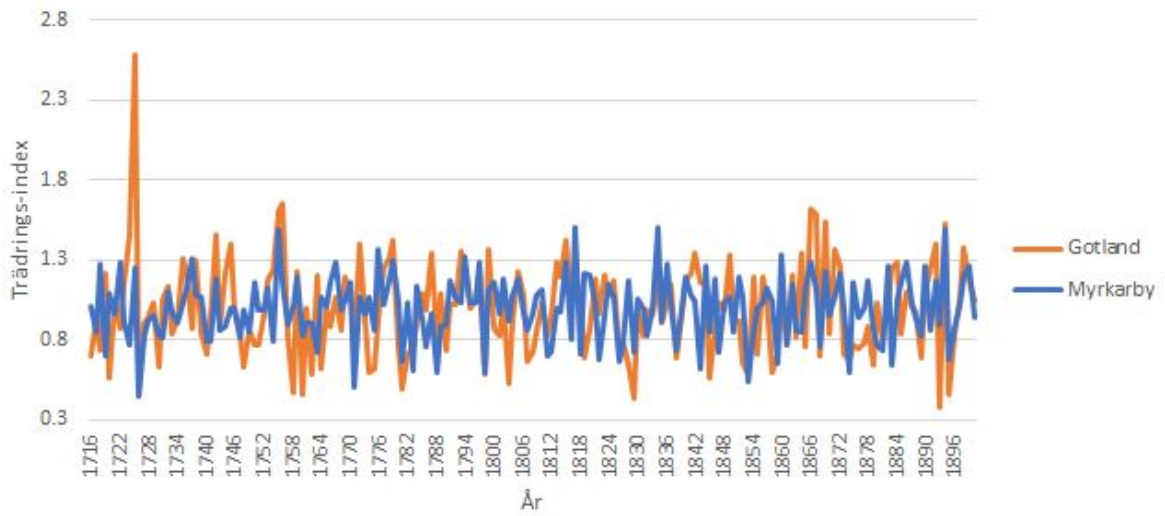
	res. Got SW	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	avg may, june
res. Got SW	1													
jan	-0.019380706	1												
feb	0.194355781	-0.114778832	1											
mar	-0.011155795	-0.03784426	-0.017019042	1										
apr	-0.105039767	0.089451489	-0.077882533	0.110795094	1									
may	0.476182746	-0.048769297	0.071029896	-0.141171069	-0.022286649	1								
jun	0.359070161	0.029796727	0.121484782	0.046133734	-0.220845927	-0.05265807	1							
jul	0.185776085	0.190173534	0.037104891	0.047368215	-0.074918834	0.036595337	-0.042001194	1						
aug	-0.042642596	-0.090827938	0.058161649	-0.061410863	0.03501649	-0.00541836	-0.021383545	-0.090136914	1					
sep	0.120527208	0.100283145	0.153092284	-0.071341499	-0.09086186	0.029036628	-0.037332123	-0.039774098	-0.066957084	1				
oct	-0.088004185	-0.242182846	-0.028931772	-0.11436193	-0.072532979	-0.091151628	0.091752085	0.034264263	0.060474446	-0.09036259	1			
nov	-0.073671002	-0.137583753	-0.019067423	0.032724097	-0.060173161	-0.065187771	-0.052095109	0.213804878	0.040775166	-0.145700674	0.218268211	1		
dec	0.098643895	0.05368491	0.045929138	-0.010790789	-0.005188131	-0.054700501	0.135518472	0.024894957	-0.113743476	-0.087167756	0.08270972	0.086860192	1	
avg may, june	0.602870538	-0.011492093	0.141200332	-0.063549239	-0.182237694	0.657090885	0.718164387	-0.00620386	-0.019917285	-0.007946584	0.005741728	-0.084749908	0.064179778	1

5. Resultat

I följande avsnitt presenteras en för- och postindustrialistisk jämförelse av trädringsbredd; genomsnittlig temperatur och nederbörd; korrelationsanalyser; klimatologiska analyser samt regressionsanalyser.

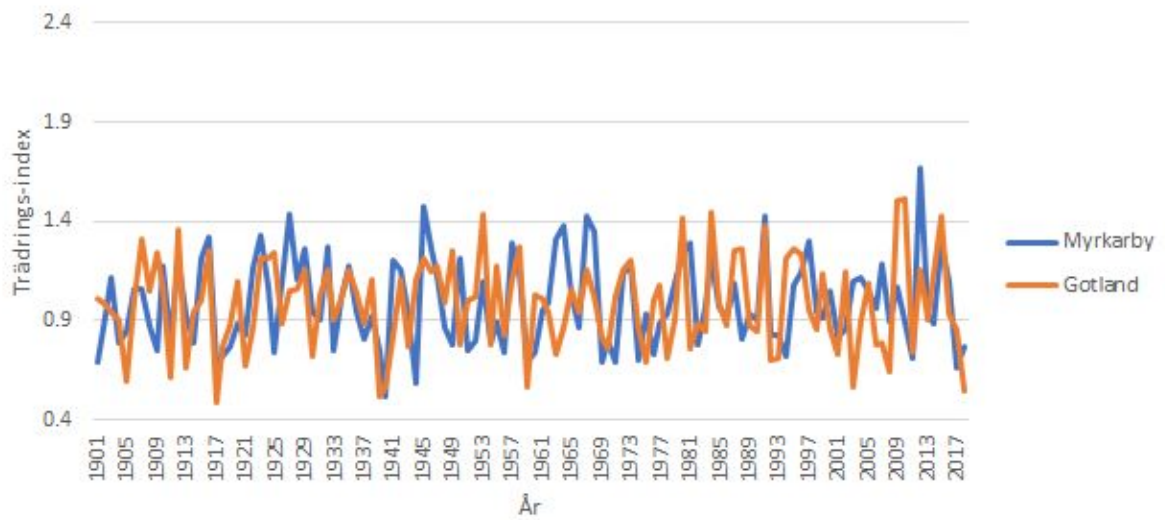
5.1 Ringbredd

Figureerna 11-12 visar den totala ringbredden under det för- och postindustriella samhället (innan och efter år 1900). I figur 11, som visar förindustriell tid, varierar ringbredden i Myrkarbyproverna från ca 0.5 till 1.5, och i Gotlandsproverna mellan ca 0.45 och 1.6, förutom ett utstickande värde på 2.6 år 1725. I figur 12, som visar postindustriell tid, varierar bredden mellan ungefär 0.65 och 1.45 i Myrkarbyserien, förutom en topp på 1.7 år 2012, och från ungefär 0.55 till 1.45 i Gotlandsserien. Enligt de båda figurena återfinns överlag både de smalaste och bredaste årsringarna i Gotlandsproverna. Enligt K. Seftigen (personlig kommunikation, oktober 2020) är spiken i tillväxt år 1725 i Bräntings haid och Hall-Hangvar troligen inte relaterad till en extremt blöt sommar, utan är förmodligen ett resultat av ett lågt provdjup under denna tidiga period. Antagligen har detta eller dessa träd upplevt en störning som inte är relaterad till klimatet. Eftersom proverna från Bräntings Haid och Hall-Hangvar sammanslagits till en kronologi, kommer dessa platser härnäst refereras till som "Gotland".



Figur 11. Total ringbredd år 1716-1900.

Figure 11. Total ring width, years 1716-1900.

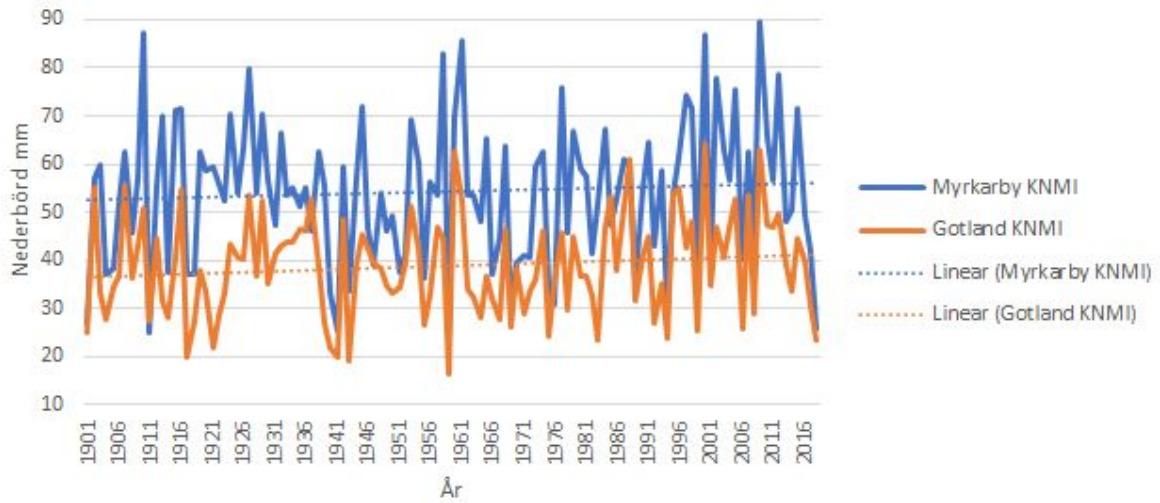


Figur 12. Total ringbredd år 1901-2018.

Figure 12. Total ring width, years 1901-2018.

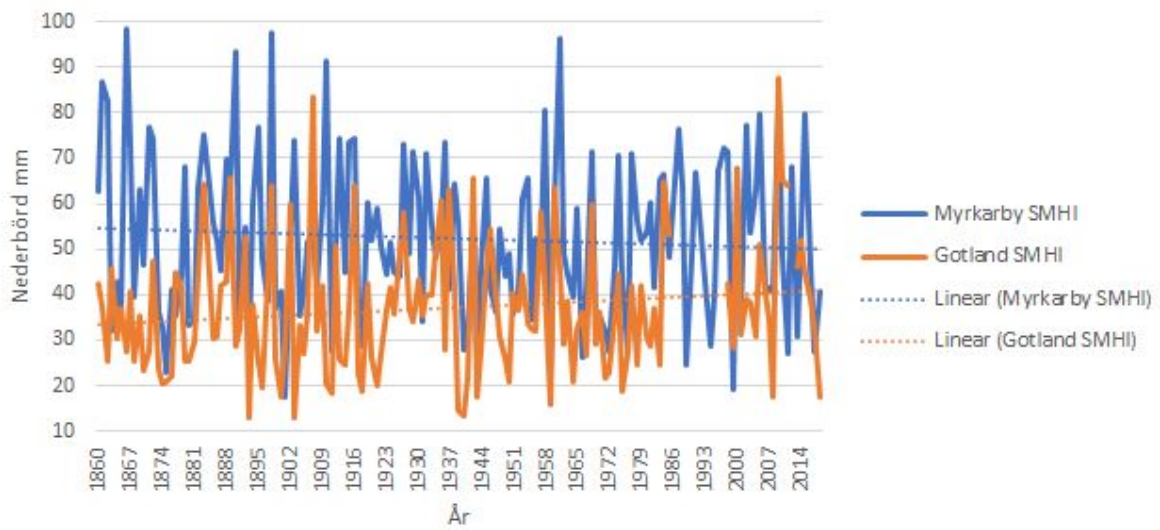
5.2 Genomsnittlig temperatur och nederbörd

Figureerna 13-16 visar genomsnittlig temperatur och nederbörd i Myrkarby och på Gotland under maj-juli, utifrån data från KNMI och SMHI. I korrelationsanalyserna (se nästa avsnitt) är det främst data från maj, juni och juli som uppvisar högst korrelation med ringbredden, varför dessa månader har valts ut till figurerna här nedanför. Generellt sett är nederbörds mängden högre i Myrkarby än på Gotland under dessa månader, både utifrån KNMI:s och SMHI:s data (se figurerna 13-14). Medelvärdet av den genomsnittliga nederbörden under maj-juli är ca 52-54 mm i Myrkarby, och ca 37-39 mm på Gotland. Vissa år saknas dock data från SMHI, vilket kan ses i figur 14. Den genomsnittliga temperaturen är väldigt lik vid båda lokalerna utifrån KNMI:s data, dock är det något varmare i Myrkarby enligt SMHI (se figurerna 15-16). Medelvärdet av den genomsnittliga temperaturen under maj-juli är ca 13-14 °C i Myrkarby, och ca 13 °C på Gotland. I temperaturfigurerna går det att se en successivt ökande genomsnittlig variabilitet. Medan det är svårare att urskilja något mönster i den genomsnittliga variabiliteten i nederbördsfigurerna förefaller även den öka gradvis, förutom i Myrkarby enligt SMHI.



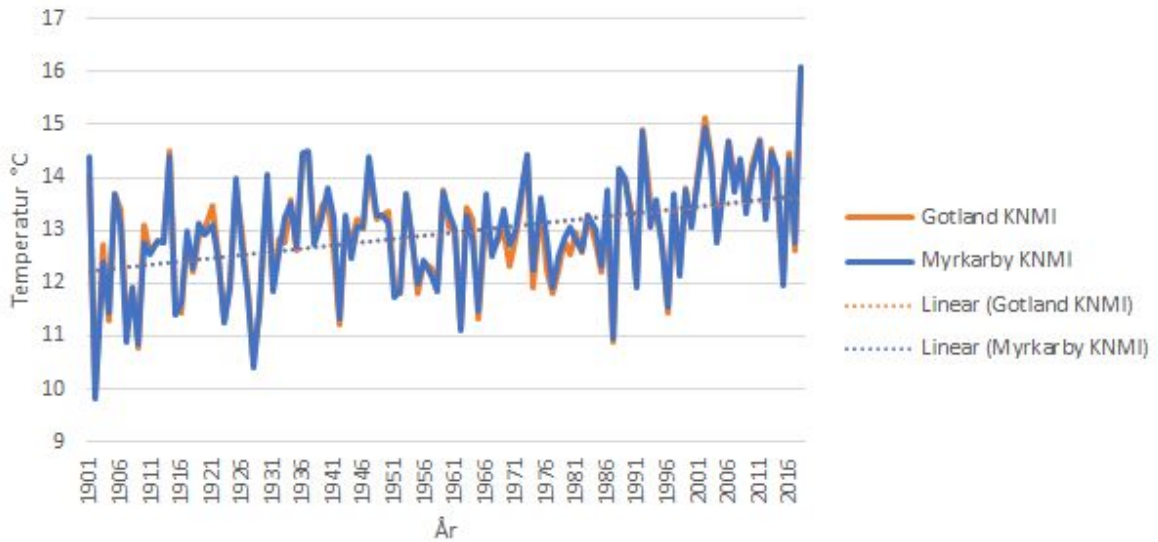
Figur 13. Genomsnittlig nederbörd maj-juli (KNMI), år 1901-2018.

Figure 13. Average precipitation May-July (KNMI), years 1901-2018.



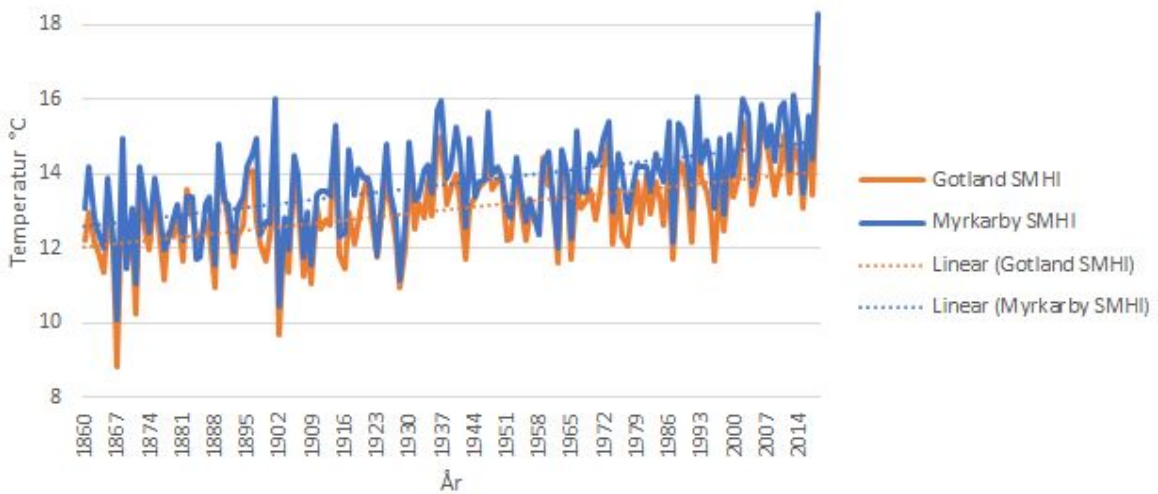
Figur 14. Genomsnittlig nederbörd maj-juli (SMHI), år 1860-2018.

Figure 14. Average precipitation May-July (SMHI), years 1860-2018.



Figur 15. Genomsnittlig temperatur maj-juli (KNMI), år 1901-2018.

Figure 15. Average temperature May-July (KNMI), years 1901-2018.



Figur 16. Genomsnittlig temperatur maj-juli (SMHI), år 1860-2018.

Figure 16. Average temperature May-July (SMHI), years 1860-2018.

5.3 Korrelationsanalyser

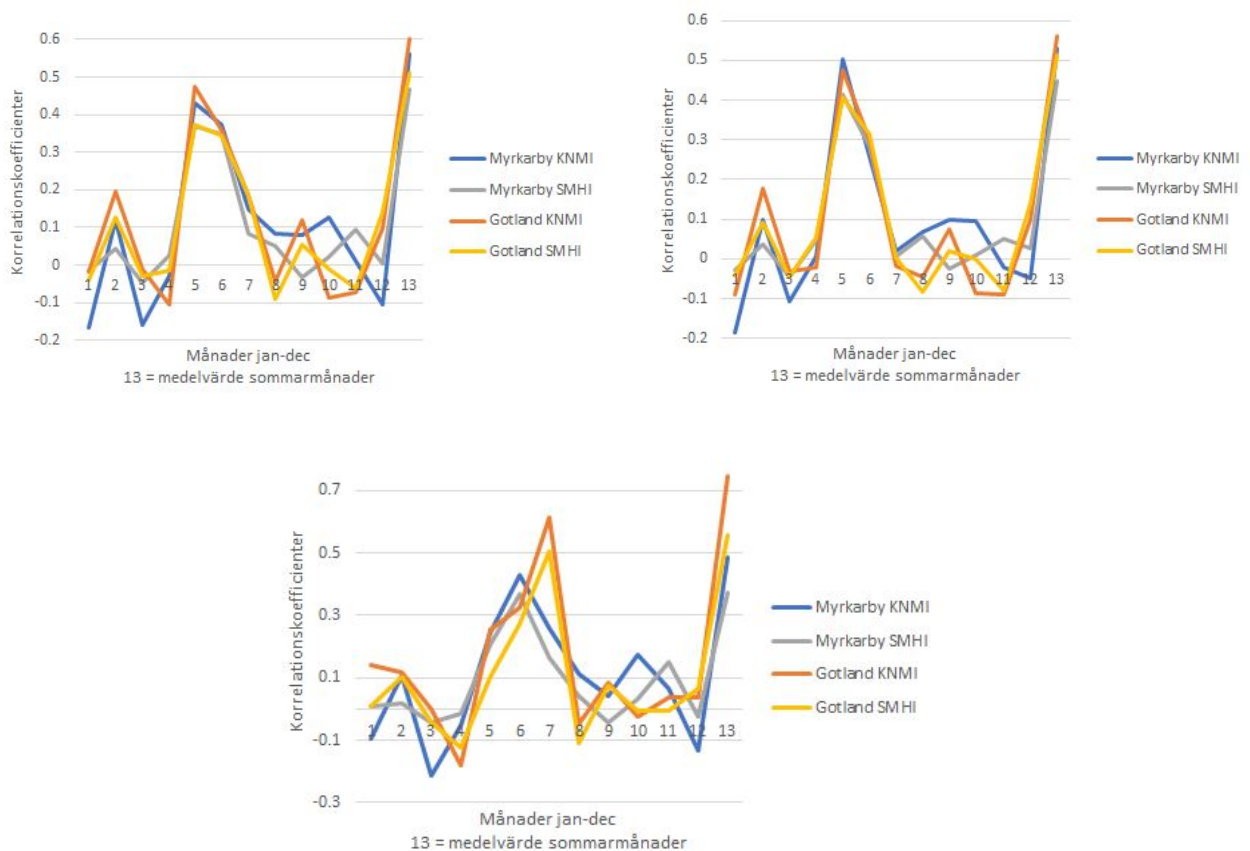
De sex följande figurerna visar graden av korrelation mellan de olika trädryngsparametrarna och månatlig nederbörd och temperatur, under en tolv månadersperiod från januari till december. På det stora hela uppvisar data för sommarmånaderna (främst maj-juli, men ibland även augusti) högst korrelation med ringbredden. På grafernas x-axlar finns ett trettonde värde som representerar ett aggregerat medelvärde av sommarmånaderna för att se om graden av korrelation med klimatvariablerna är högre för dessa än för de separata månaderna. Nederbördsdata från KNMI har generellt sett högre korrelation med ringbredden än nederbördsdata från SMHI. Temperaturdata från Gotland har överlag högre korrelation med ringbredden än temperaturdata från Myrkarby. På det stora hela är korrelationen mellan trädutväxt och nederbörd högre än mellan utväxt och temperatur. Korrelationen mellan nederbörd och ringbredd är positiv, medan korrelationen mellan temperatur och ringbredd är negativ. Detta innebär att då nederbörden ökar blir även ringbredden större och då den minskar blir bredden mindre. Då temperaturen ökar blir ringbredden mindre och då den minskar blir bredden större. (Den negativa korrelationen med temperatur speglar vattentillgångens begränsande effekt på tillväxten. Vid högre temperaturer ökar avdunstningen, vilket innebär att det blir torrare och därmed sämre tillväxt.)

Figur 17a: Korrelationen mellan den totala ringbredden och nederbörd är högst under maj och juni vid samtliga lokaler, och det aggregerade medelvärdet av dessa månader har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna vid respektive lokal. (Högst värden/lokal: r (korrelationskoefficient) = 0.6 Gotland KNMI, r = 0.56 Myrkarby KNMI.) Högst korrelation har den totala ringbredden med KNMI:s data från Gotland, och lägst har den med SMHI:s data från Myrkarby.

Figur 17b: Korrelationen mellan vårvedsbredden och nederbörd är högst under maj och juni vid samtliga lokaler med särskilt utstickande värden i maj, och det aggregerade medelvärdet av dessa månader har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna vid respektive lokal. (Högst värden/lokal: r = 0.56 Gotland KNMI, r = 0.53 Myrkarby KNMI.) Högst korrelation har vårvedsbredden med KNMI:s data, och lägst har den med SMHI:s data från Myrkarby. Nederbörden för de separata månaderna uppvisar något

högre grad av korrelation med vårvedsbredden än med den totala ringbredden; dock inte för de aggregerade månaderna vilka ligger på ungefär samma grad som den totala ringbredden om än något lägre.

Figur 17c: Korrelationen mellan höstvedsbredden och nederbörd är högst under maj-juli vid samtliga lokaler förutom Gotland SMHI, där högst korrelation uppvisas endast under juni och juli. I Myrkarby sticker värdena för juni ut, medan värdena för juli sticker ut på Gotland. Det aggregerade medelvärdet av dessa månader har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna vid respektive lokal. (Högst värden/lokal: $r = 0.75$ Gotland KNMI, $r = 0.48$ Myrkarby KNMI.) Högst korrelation har höstvedsbredden med KNMI:s data från Gotland, och lägst har den med SMHI:s data från Myrkarby. Nederbörden i Gotland uppvisar högre grad av korrelation med höstvedsbredden än med vårvedsbredden och den totala ringbredden för både de separata och aggregerade månaderna. Nederbörden i Myrkarby uppvisar däremot lägre grad av korrelation med höstvedsbredden jämfört med de andra två parametrarna, både för de separata och aggregerade månaderna.



Figur 17 a-c. Korrelation mellan nederbörd och **a**) total ringbredd (högst upp till vänster), **b**) vårveds-ringbredd (högst upp till höger) samt **c**) höstveds-ringbredd (längst ner i mitten).

Figure 17 a-c. Correlation between precipitation and **a**) total ring width (upper left corner), **b**) earlywood ring width (upper right corner), and **c**) latewood ring width (center).

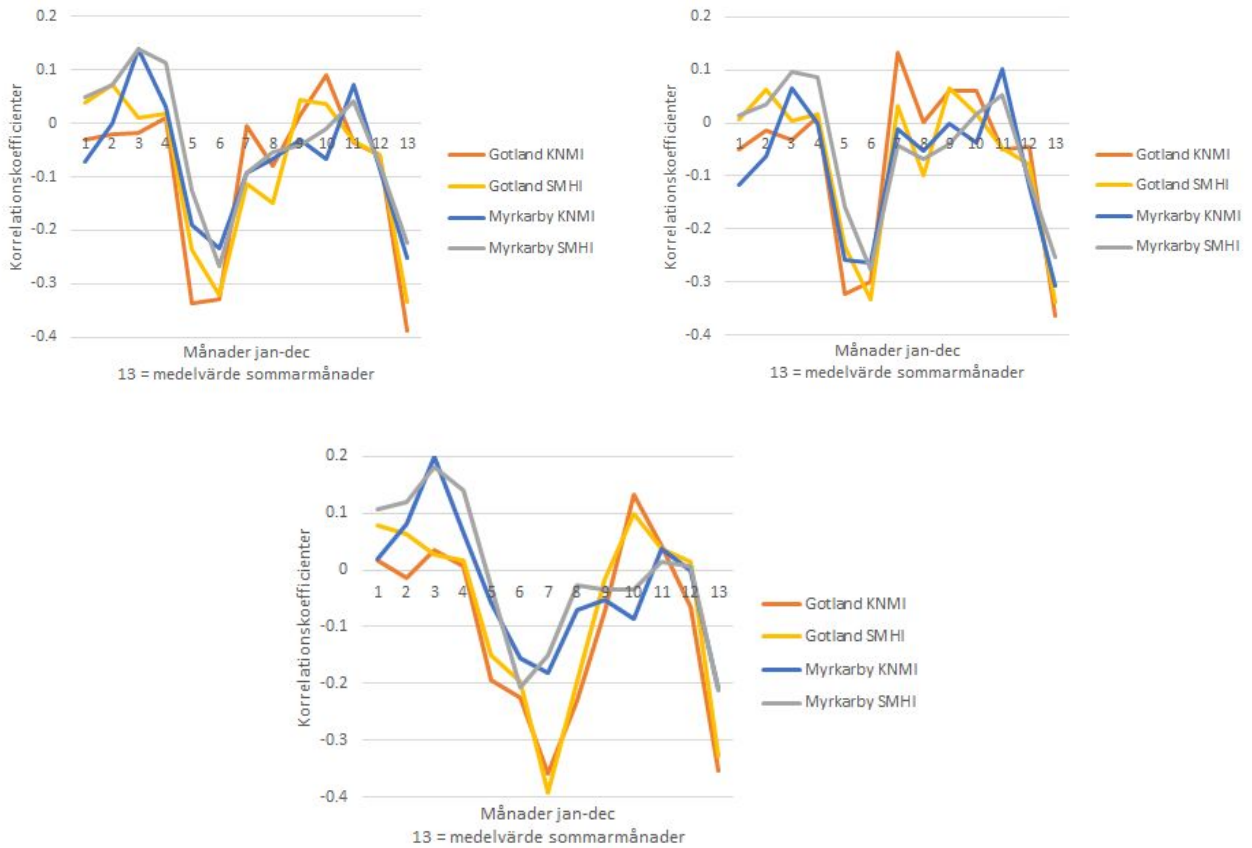
Figur 18a: Korrelationen mellan den totala ringbredden och temperatur är högst under maj och juni vid samtliga lokaler, förutom Gotland SMHI där korrelationen därutöver är någorlunda hög i juli och augusti. Det aggregerade medelvärdet av månaderna har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna vid respektive lokal, förutom vid Myrkarby SMHI där data för juni har högre korrelation än det aggregerade medelvärdet. (Högst värden/lokal: $r = -0.39$ Gotland KNMI, $r = -0.27$ Myrkarby SMHI.) Högst korrelation har den totala ringbredden med KNMI:s data från Gotland, och lägst har den med data från Myrkarby.

Figur 18b: Korrelationen mellan vårvedsbredden och temperatur är högst under maj och juni vid samtliga lokaler. Det aggregerade medelvärdet av månaderna har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna vid respektive lokal, förutom vid Myrkarby SMHI där data för juni har högre korrelation än det aggregerade medelvärdet. (Högst värden/lokal: $r = -0.36$ Gotland KNMI, $r = -0.31$ Myrkarby KNMI.) Högst korrelation har vårvedsbredden med data från Gotland, och lägst har den med data från Myrkarby.

Temperaturen i Gotland uppvisar ungefär samma grad av korrelation med vårvedsbredden som med den totala ringbredden för de separata månaderna. Korrelationen är något högre mellan den totala ringbredden och KNMI:s data från Gotland för de aggregerade månaderna. Temperaturen i Myrkarby uppvisar högre grad av korrelation med vårvedsbredden än med den totala ringbredden, både för de separata och aggregerade månaderna.

Figur 18c: Korrelationen mellan höstvedsbredden och temperatur är högst under maj-augusti på Gotland med juli som särskilt utstickande månad, och under juni och juli i Myrkarby. Det aggregerade medelvärdet av månaderna har högre grad av korrelation än data för de separata månaderna i Myrkarby, medan data för juli har högre korrelation än det aggregerade medelvärdet på Gotland. (Högst värden/lokal: $r = -0.39$ Gotland SMHI, $r = -0.21$ Myrkarby SMHI.) Högst korrelation har höstvedsbredden med data från Gotland, och lägst har den med data från Myrkarby. Temperaturen i Gotland uppvisar något högre grad av korrelation med höstvedsbredden än med den totala bredden och vårvedsbredden för de

separata månaderna. Korrelationen är något högre mellan den totala bredden samt vårvedsbredden och data från Gotland för de aggregerade månaderna jämfört med höstvedsbredden. Temperaturen i Myrkarby uppvisar lägre grad av korrelation med höstvedsbredden än med de andra parametrarna, både för de separata och aggregerade månaderna.

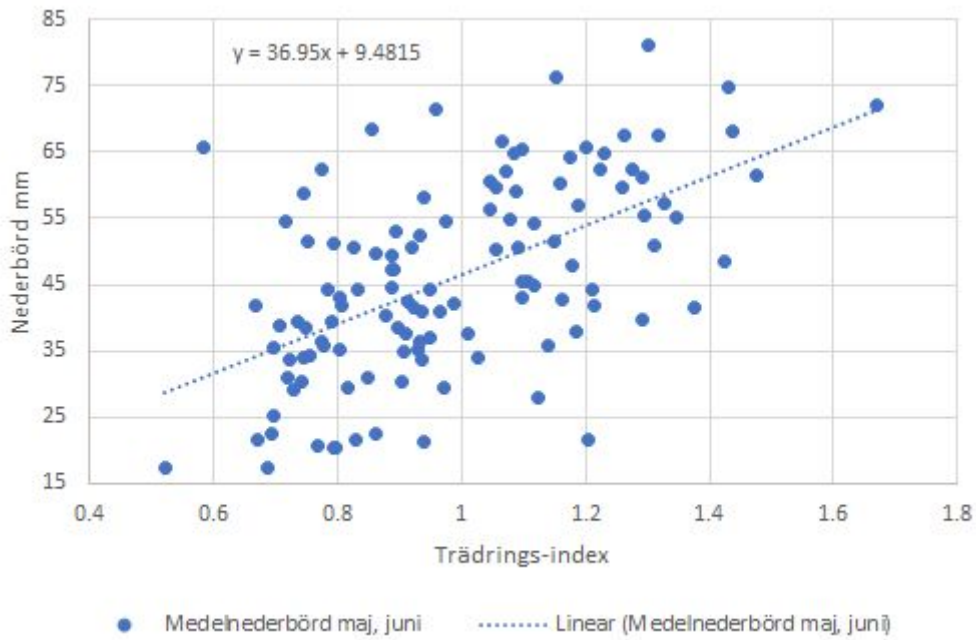


Figur 18 a-c. Korrelation mellan temperatur och **a)** total ringbredd (högst upp till vänster), **b)** vårveds-ringbredd (högst upp till höger) samt **c)** höstveds-ringbredd (längst ner i mitten).

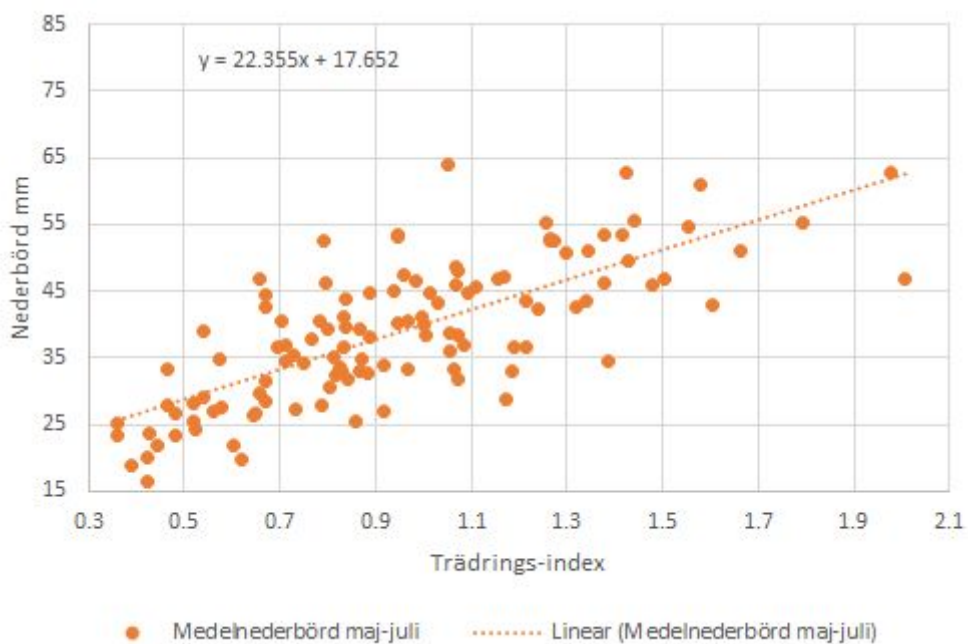
Figure 18 a-c. Correlation between temperature and **a)** total ring width (upper left corner), **b)** earlywood ring width (upper right corner), and **c)** latewood ring width (center).

5.4 Klimatologiska analyser

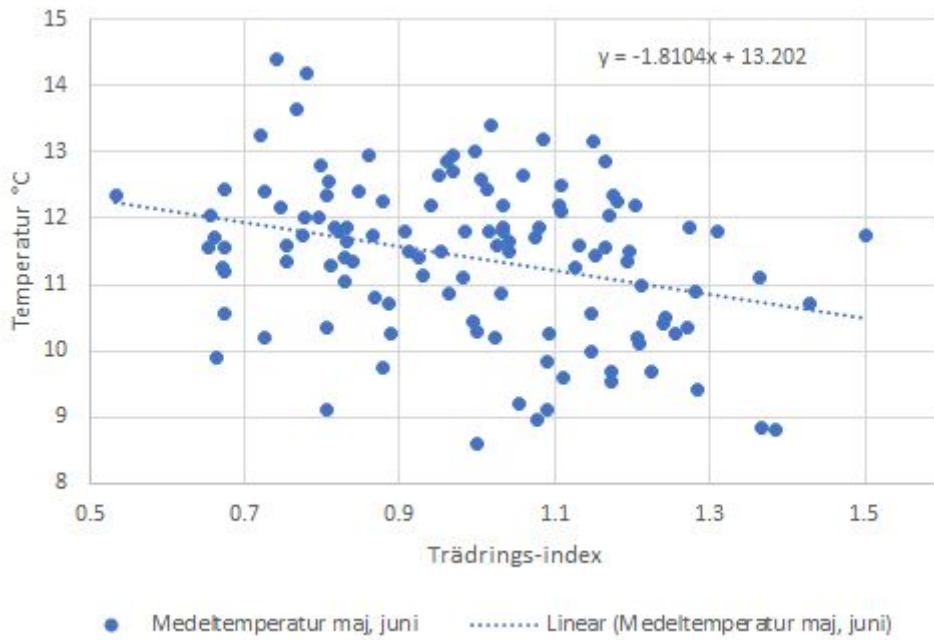
Figureerna 19-22 visar förhållandet mellan ringbredd och medelnederbörd respektive -temperatur under maj, juni och juli år 1901-2018 i Myrkarby och på Gotland. I figureerna visualiseras temperatur- och nederbördsdata endast från KNMI, då dessa data överlag uppvisar högre korrelation med ringbredd än data från SMHI. De trädringsparametrar som gestaltas är de som uppvisar högst korrelation med meteorologiska data, baserat på både separata och aggregerade värden. Figureerna visar att ringbredden tenderar att blir större vid mer nederbörd, och mindre vid högre temperaturer (p.g.a. mer avdunstning). I Myrkarby är nederbörds mängden större än på Gotland, dock är mönstren i temperaturvariabiliteten relativt lika varandra vid de båda lokalerna. Både de smalaste och bredaste årsringarna, utifrån valda trädringsparametrar och tidsperiod, återfinns på Gotland. Ekvation nr (2) har använts för att beräkna grafernas lutningsgrad. Enligt dessa är lutningsgraden högre i figur 19 jämfört med figur 20, och i figur 22 jämfört med figur 21. Detta innebär att det krävs en större mängd nederbörd i Myrkarby än på Gotland för att få samma ringbreddsökning. Därutöver att det vid en given temperaturminskning ger en något större ringbreddsökning på Gotland än i Myrkarby.



Figur 19. Förhållande mellan total ringbredd och medelnederbörd under maj och juni år 1901-2018 i Myrkarby.
Figure 19. Relationship between total ring width and average precipitation during May and June 1901-2018 in Myrkarby.



Figur 20. Förhållande mellan höstvedsbredd och medelnederbörd under maj-juli år 1901-2018 på Gotland.
Figure 20. Relationship between latewood ring width and average precipitation during May-July 1901-2018 on Gotland.

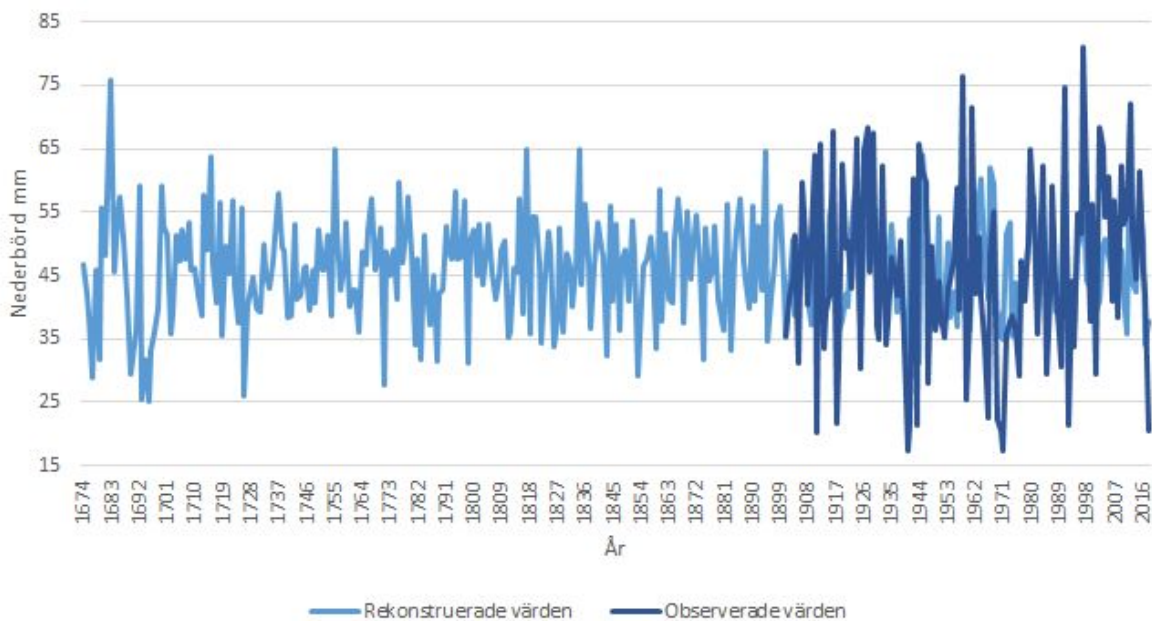


Figur 21. Förhållande mellan vårvedsbredd och medeltemperatur under maj och juni år 1901-2018 i Myrkarby.
Figure 21. Relationship between earlywood ring width and average temperature during May and June 1901-2018 in Myrkarby.



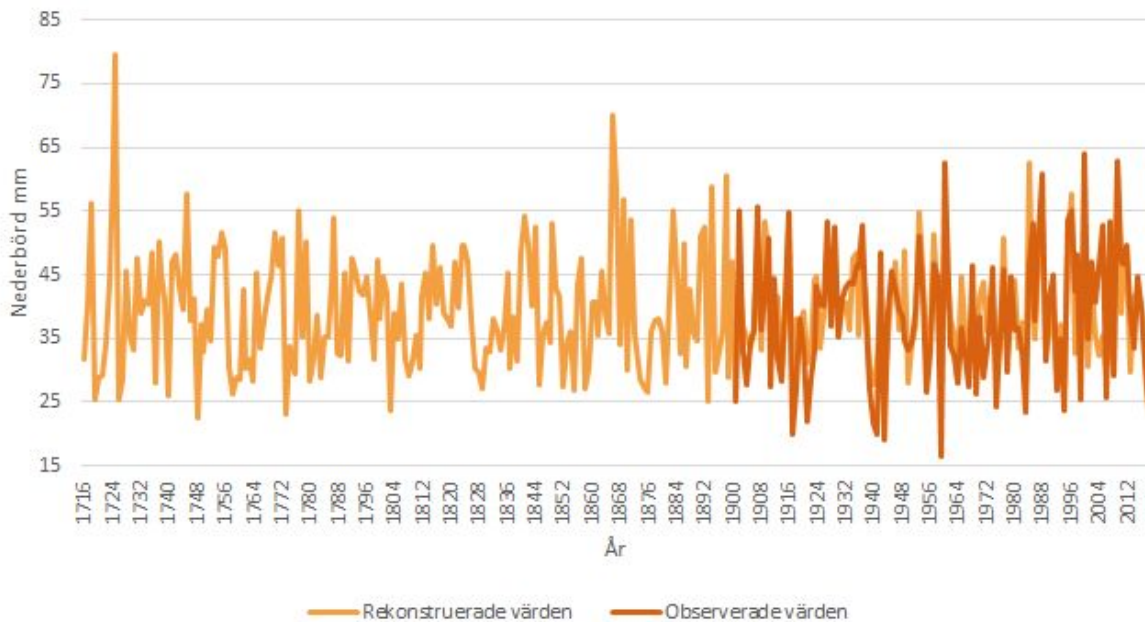
Figur 22. Förhållande mellan total ringbredd och medeltemperatur under maj och juni år 1901-2018 på Gotland.
Figure 22. Relationship between total ring width and average temperature during May and June 1901-2018 on Gotland.

De två följande figurerna, som visar historisk nederbörd i Myrkarby och på Gotland, har tagits fram med hjälp av ekvation nr (2). Korrelationen mellan de observerade och rekonstruerade värdena är 0.56 i Myrkarbyfiguren, och 0.75 i Gotlandsfiguren. Detta indikerar graden av korrekthet för rekonstruktionerna. Korrelationen mellan de observerade värdena i Myrkarby respektive Gotland är 0.55, medan korrelationen mellan de rekonstruerade värdena vid respektive lokal är 0.29. Detta indikerar hur stark kopplingen är mellan de olika serierna. Medelvärdet av den genomsnittliga rekonstruerade nederbörden i Myrkarby under maj och juni 1674-2018 är ca 46 mm, och i Gotland under maj-juli 1716-2018 ca 39 mm.



Figur 23. Rekonstruerad nederbörd i Myrkarby under maj och juni 1674-2018 (ljusblå linje) i förhållande till observerad nederbörd under 1901-2018 (mörkblå linje).

Figure 23. Reconstructed precipitation in Myrkarby during May and June 1674-2018 (light blue line) in comparison with observed precipitation during 1901-2018 (dark blue line).



Figur 24. Rekonstruerad nederbörd på Gotland under maj-juli 1716-2018 (ljusorange linje) i förhållande till observerad nederbörd under 1901-2018 (mörkorange linje).

Figure 24. Reconstructed precipitation on Gotland during May-July 1716-2018 (light orange line) in comparison with observed precipitation during 1901-2018 (dark orange line).

Tabellerna 4 och 5 baseras på samma data som presenterats i figurerna 19-22. I tabell 4 har en kolumn med de rekonstruerade värdena från figurerna 23 och 24 lagts till. Tabellerna visar de fem åren med minst respektive mest nederbörd och lägst respektive högst temperaturer för varje lokal baserat på medelvärden för sommarmånaderna enligt KNMI:s data, samt åren med minst respektive störst ringbredd utifrån respektive trädringsparameter. Den uppmätta normal-medelnederbörden under maj-juli 1961-1990 var 30, 50 och 70 mm i Myrkarby, samt 30, 30 och 50 mm på Gotland (SMHI, 2009 b). Den uppmätta normal-medeltemperaturen under samma period var 12, 15 och 18 °C i Myrkarby, samt 9, 14 och 16 °C på Gotland (SMHI, 2009 c). Utifrån åren med minst nederbörd enligt de observerade värdena ligger nederbördsunderskottet på runt 9-13 mm under det lägsta normalvärdet i Myrkarby, och runt 8-14 mm under det lägsta normalvärdet på Gotland. Med utgångspunkt i åren med minst ringbredd återfinns ungefär samma siffror i Myrkarby, bortsett från två fall där nederbörden befinner sig mittemellan de två normalvärdena för maj och juni i ena fallet, och ca 16 mm över normalvärdet i juni i andra fallet. På Gotland finns ett underskott på ca 5-14 mm under det lägsta normalvärdet. Enligt de rekonstruerade värdena ligger underskottet på ca 1-5 mm

under det lägsta normalvärdet i Myrkarby, och ca 5-7 mm under det lägsta normalvärdet på Gotland.

Tabellerna bekräftar de samband mellan träd tillväxt och nederbörd respektive temperatur som har konstaterats tidigare i resultatdelen, med några undantag. Vidare är åren med minst respektive mest nederbörd överlag inte desamma vid de två lokalerna och så verkar fallet vara även när det gäller dessa år i förhållande till åren med lägst respektive högst temperaturer. Däremot är åren med lägst respektive högst temperaturer i princip desamma vid Myrkarby och Gotland. Det går att urskilja en successivt ökande genomsnittlig variabilitet i temperatur med tidens progression. Medan enstaka år med minst och mest nederbörd respektive minst och störst ringbredd är desamma, finns det inga exakta år med lägst och högst temperaturer respektive minst och störst ringbredd som överensstämmer. Enligt de rekonstruerade värdena är åren med lägst och högst värden desamma som åren med minst och störst ringbredd. Utifrån dessa värden går det återigen att konstatera att både de smalaste och bredaste årsringarna, utifrån valda trädringsparametrar och tidsperioder, återfinns på Gotland.

Tabell 4. De fem åren med minst respektive mest nederbörd enligt data från KNMI, samt åren med minst respektive störst ringbredd utifrån Myrkarbyprovernas totala ringbredd samt Gotlandsprovernas höstvedsbredd, under åren 1901-2018. (Medelnederbörd under maj och juni respektive maj-juli.) Därutöver, i kolumnen längst åt höger, rekonstruerade medelvärden under maj och juni 1674-2018 i Myrkarby samt under maj-juli 1716-2018 på Gotland.

Table 4. The five years with the least as well as highest amounts of precipitation according to data from KNMI, and the years with the smallest as well as largest ring widths based on the total ring width of the Myrkarby samples and the latewood ring width of the Gotland samples, during the years 1901-2018. (Average precipitation during May and June and May-July respectively.) The additional column furthest to the right contains reconstructed mean values during May and June 1674-2018 in Myrkarby, and during May-July 1716-2018 on Gotland.

Myrkarby								
År	Nederbörd mm	Trädrings-index	År	Trädrings-index	Nederbörd mm	År	Trädrings-index	Nederbörd mm
1940	17.3	0.522	1940	0.522	17.3	1695	0.425	25.19
1971	17.45	0.687	1944	0.584	65.6	1693	0.432	25.44
1911	20.3	0.796	2017	0.667	41.7	1726	0.443	25.85
1970	20.45	0.795	1917	0.672	21.65	1771	0.497	27.85
2018	20.65	0.767	1971	0.687	17.45	1940	0.522	28.77
1961	71.5	0.957	1967	1.424	48.4	1834	1.5	64.9
2012	72.2	1.669	1991	1.431	74.75	1817	1.501	64.94
1991	74.75	1.431	1927	1.436	68.2	1682	1.539	66.35
1958	76.35	1.151	1945	1.475	61.35	2012	1.669	71.15
1997	81.05	1.302	2012	1.669	72.2	1683	1.792	75.7
Gotland								
År	Nederbörd mm	Trädrings-index	År	Trädrings-index	Nederbörd mm	År	Trädrings-index	Nederbörd mm
1959	16.4	0.421	2018	0.358	23.47	1748	0.221	22.6
1943	18.93	0.39	1901	0.361	25.07	1773	0.243	23.08
1941	19.83	0.62	1943	0.39	18.93	1803	0.271	23.71
1917	19.97	0.422	1959	0.421	16.4	1893	0.329	25
1940	21.77	0.445	1917	0.422	19.97	1719	0.342	25.3
1907	55.53	1.441	1909	1.603	42.8	2009	1.978	61.87
1988	60.87	1.579	1953	1.663	51.13	1984	2.008	62.54
1960	62.63	1.423	1996	1.792	55.17	1724	2.055	63.6
2009	62.8	1.978	2009	1.978	62.8	1866	2.34	69.96
2000	64.07	1.051	1984	2.008	46.87	1725	2.773	79.64

Tabell 5. De fem kallaste respektive varmaste åren enligt data från KNMI, samt åren med minst respektive störst ringbredd utifrån Myrkarbyprovernas vårvedsbredd samt Gotlandsprovernas totala ringbredd, under åren 1901-2018. (Medeltemperaturer under maj och juni.)

Table 5. The five coldest as well as hottest years according to data from KNMI, and the years with the smallest as well as largest ring widths based on the earlywood ring width of the Myrkarby samples and the total ring width of the Gotland samples, during the years 1901-2018. (Average temperatures during May and June.)

Myrkarby					
År	Temperatur °C	Trädrings-index	År	Trädrings-index	Temperatur °C
1902	8.6	1	1940	0.534	12.35
1923	8.8	1.386	2017	0.654	11.55
1927	8.85	1.367	1917	0.655	12.05
1928	8.95	1.077	1925	0.661	11.7
1909 / 1987	9.1	0.805 / 1.091	1944	0.663	9.9
2011	13.25	0.721	1946	1.365	11.1
2013	13.4	1.019	1927	1.367	8.85
2002	13.65	0.766	1923	1.386	8.8
1992	14.2	0.779	1967	1.428	10.7
2018	14.4	0.74	2012	1.502	11.75
Gotland					
År	Temperatur °C	Trädrings-index	År	Trädrings-index	Temperatur °C
1902	8.05	0.983	1917	0.493	11.25
1928	8.4	1.058	1939	0.522	11.3
1923	8.6	1.214	2018	0.547	13.95
1909	8.7	1.241	2003	0.562	12
1927 / 1987	8.75	1.048 / 1.256	1940	0.569	11.45
2016	12.9	0.93	2015	1.429	10.2
2013	13.1	0.905	1953	1.438	12
2002	13.45	1.149	1984	1.442	11.35
1992	13.55	0.698	2009	1.508	11.45
2018	13.95	0.547	2010	1.512	11.2

6. Diskussion

6.1 Resultat

Både utifrån korrelationsanalyserna och tabellerna 4-5 går det att bekräfta att den variabel som påverkar trädringsbredden mest av nederbörd och temperatur i studieområdena är nederbörd. Detta tydliggörs då de år med minst ringbredd även ofta är år med låga nederbördsmängder och vice versa, medan såväl lägre som högre temperaturer förekommer både under de år med minst respektive störst ringbredd. Därutöver är vissa år med minst och mest nederbörd respektive minst och störst ringbredd desamma, medan det inte finns några sådana samband mellan temperatur och ringbredd. Nederbörd blir således den mest begränsande faktorn, i enlighet med principen om begränsande faktorer. Detta stämmer även överens med det faktum att träd på lägre latituder begränsas mer av nederbörd än temperatur (Fritts, 1976; Speer, 2011). Seftigen, Linderholm, Drobyshev och Niklasson (2013) tar upp flera alternativ där dendroklimatologiska studier har visat att barrträd som växer i södra Fennoskandia¹⁸ kan vara begränsade av tillgång till vatten. I studien undersöktes bland annat relationen mellan träd tillväxt hos *Pinus Sylvestris* L och temperatur samt nederbörd i ett område i sydöstra Sverige. Träd tillväxten hade hög korrelation med tidig sommarnederbörd, och låg korrelation med sommartemperaturer.

Då ringbreddsvariationen i Myrkarby och på Gotland är relativt likvärdig innan och efter år 1900 skulle det kunna antyda att träd tillväxten i områdena ännu inte hunnit påverkas avsevärt av den postindustriella erans mer varierande väderförhållanden. Medan det är svårt att urskilja några tydliga skillnader i nederbörd mellan perioderna, förekommer det tydliga indikationer på att klimatet blir allt varmare. Alexandersson (2002) menar på att Sveriges klimat blivit både blötare och varmare, och att det går att se tydliga nivåskillnader i nederbörd och temperatur före och efter omkring år 1925. Enligt SMHI (2009 d) kommer temperaturerna att öka i södra Sverige, med störst förväntad ökning under vinterhalvåret, medan nederbördsmängden kommer att öka i Nordsverige. Klimatmodeller indikerar att

¹⁸ **Fennoskandia** - Geografisk och geologisk enhet som omfattar Norge, Sverige, Finland, Kolahalvön och ryska Karelen. (*Nationalencyklopedin, u.å. j*)

nederbördsmängden i Fennoskandia främst kommer att öka under vintern, medan sommarhalvåret förväntas bli torrare (Seftigen et al., 2013). Tallarna på Gotland kan vara mer känsliga för nederbörd än tallarna i Myrkarby, med tanke på att det krävs mindre nederbörd för att producera samma trädringsbredd på Gotland som i Myrkarby (se figurerna 19-20). Dessutom återfinns både de smalaste och bredaste årsringarna, utifrån de trädringsparametrar som uppvisat högst korrelation med klimatvariablerna, på Gotland. Vidare har klimatdata överlag högre korrelation med Gotlandsprovernas trädringsbredd än Myrkarbyprovernas.

De redovisade temperatur- och nederbördsmönstren (se tabellerna 4-5 i resultatdelen) kan tyda på att nederbördsvariabiliteten vid platserna till stor del är lokal, medan temperaturvariabiliteten är regional. En indikation på att nederbördsvariabiliteten kan ha varit lokal i förindustriell tid är den relativt svaga kopplingen mellan de rekonstruerade värdena vid respektive lokal. Med utgångspunkt i de redovisade åren är det svårt att urskilja huruvida det är några specifika perioder som varit extra torra. Av Linderholms och Molins studie (2005) framgår att perioden mellan år 1806-1835 kan ha varit den längsta kontinuerliga torkan under de senaste 250-300 åren i östcentrala Sverige, med höga temperaturer och låg nederbörd under somrarna. En minskning i den genomsnittliga tillväxten hos *Pinus Sylvestris* L kunde påvisas under perioden. Studien menar vidare att en kombination av dendrokronologiska dokumentationer och historisk journalföring ger mer användbar information om dåtida torkor än endast det ena eller andra. Seftigen, Björklund, Cook och Linderholm (2015) identifierar 1600-talet som en period med ett högt antal utbredda nederbördsanomalier och torkor i Fennoskandia, medan det under 1900-talet inträffade förhållandevis få extrema hydroklimatologiska händelser.

Anledningen till varför meteorologiska data från KNMI har högre korrelation med ringbredden än data från SMHI, kan vara att KNMI:s CRU TS-data i varje punkt är baserade på ett medelvärde från flera stationer. Detta skulle kunna ge ett mer robust resultat än data från enstaka meteorologiska stationer. Därutöver saknas data för vissa år från SMHI, och är under flera år av sämre kvalitet. Något som kan ha påverkat datakvaliteten och därav korrelationen med ringbredd är skillnader mellan vilken höjd över havet som insamlingen skett på; data från Uppsala insamlades på 13 m.ö.h., medan data från Visby insamlades på 28

respektive 42 m.ö.h. Fördelen med SMHI:s data är att den sträcker sig över en längre tidsperiod än KNMI:s data.

I korrelationsanalyserna mellan temperatur och ringbredd förekommer en positiv korrelation under bland annat mars och oktober månad. Detta är en avvikelse från det i övrigt negativa sambandet mellan temperatur och ringbredd under sommaren, det vill säga att ringbredden minskar då temperaturen ökar. Anledningen kan vara att temperaturen behöver komma upp i ett visst antal grader för att träd tillväxten ska gynnas, innan det därefter vänder och gränsen för optimala förhållanden för träd tillväxt överskrids då temperaturen stiger ytterligare och avdunstningen ökar. Något att ha i åtanke är dock att trädringar inte är exakta termometrar. Trädringsbredd är beroende av en komplex samling variabler som påverkar tillväxten, vilket belyses i principen om aggregerad träd tillväxt (Speer, 2011). Med anledning av detta är inte heller en linjär regression helt pålitlig då den endast är en uppskattning av klimatologiska variationer i historien som inte tar hänsyn till eventuella störningar i klimatet. I framtida studier vore det intressant att undersöka hur en förskjuten och längre tillväxtsäsong påverkar träd tillväxten och dess korrelation med meteorologiska variabler.

6.2 Metod

Materialet som använts i studien bedöms vara trovärdigt då detta består av publicerad litteratur, vetenskapliga artiklar samt data och information från myndigheter och uppslagsverk. Trots min frånvaro vid insamlingen av trädringsproverna, anses dessa vara tillförlitliga då de samlades in av erfarna dendrokronologer. Dock finns en risk att borren inte alltid nådde fram till mitten av träden, varför vissa prover kan sakna de innersta ringarna.

De metodval som gjorts kan ha påverkat resultatet på olika sätt. Temperatur- och nederbördsdata från SMHI inhämtades från stationer som befinner sig något längre bort från studieområdena, men som har äldre mätningar jämfört med de stationer som ligger närmast studieområdena. Äldre mätningar prioriterades alltså framför stationernas avstånd från provtagningsplatserna. Data från de närmaste stationerna består troligen av värden som är mer relevanta för respektive lokal än de äldre mätningarna. Data från Myrkarby från perioden

innan år 1860 användes inte i graferna över genomsnittlig temperatur och nederbörd (avsnitt 5.2) eftersom det inte fanns äldre data från Gotland att jämföra med. Att även inkludera ett torkindex i analyserna skulle ha kunnat generera mer korrekta resultat då ett sådant index ofta är en bättre indikator på torka än endast temperatur och nederbörd. Gränsdragningen mellan det för- och postindustriella klimatet vid år 1900 skulle eventuellt kunnat senareläggas ytterligare, och indelningen kan därmed anses vara inkorrekt. Vidare kunde material om hur de geologiska förhållandena vid platserna har påverkat hydroklimatet undersökts och diskuterats.

När det kommer till årsrings-mätningarna kunde fler gjorts för att således öka kvaliteten på korsdateringen och standardiseringen. Få antal mätningar kan vara en bidragande faktor till att varningsflaggor dyker upp i Cofecha. Ytterligare anledningar kan vara mätfel på grund av svårigheter att mäta framförallt höstveden då den stundvis är mycket smal, samt att signalen i träden periodvis är svag. Till följd av mätsvårigheter har ett fåtal prover inte 2018/-19 som slutår, och vissa har ett felaktigt startår då de innersta ringarna var ytterst smala och besvärliga att urskilja. En alternativ metod till mätning med hjälp av dataprogram skulle kunnat vara att arbeta i labb med data som samlats in på egen hand, dock var detta inte möjligt med anledning av COVID-19. I övrigt har standardmetoder för bearbetning och analys av trädringar använts.

7. Slutsatser

Utifrån de redovisade resultaten i denna studie har det gått att konstatera att den klimatvariabel som påverkar tallträdens växtlighet mest under sommarmånaderna i Bräntings haid, Hall-Hangvar och Myrkarby är nederbörd. Trädringsbredden har en positiv korrelation med nederbörd och en negativ korrelation med temperatur, vilket innebär att ringbredden expanderar då nederbörden ökar men krymper då temperaturen stiger. Detta eftersom högre temperaturer resulterar i högre avdunstning och därmed torrare miljöer och sämre tillväxt. Korrelationen mellan trädringsbredd och klimatdata är högst främst under maj, juni och juli, och främst i Bräntings Haid och Hall-Hangvar.

Ringbreddsvariationen i de tre naturreservaten är relativt likvärdig innan och efter år 1900 vilket skulle kunna antyda att trädutväxten i områdena ännu inte hunnit påverkas avsevärt av den postindustriella erans mer varierande väderförhållanden. Det är svårt att urskilja några tydliga skillnader i nederbörd mellan perioderna, medan det förekommer tydliga indikationer på att klimatet blir allt varmare. Det förekommer mönster som kan tyda på att nederbördsvariabiliteten vid platserna till stor del är lokal medan temperaturvariabiliteten är regional. Baserat på vad resultaten visar är det svårt att urskilja huruvida det är några specifika perioder som varit extra torra. Generellt sett är nederbördsmängden högre i Myrkarby än i reservaten på Gotland under sommaren, både utifrån KNMI:s och SMHI:s data. Den genomsnittliga temperaturen är väldigt lik vid de tre reservaten utifrån KNMI:s data, dock är det något varmare i Myrkarby enligt SMHI. Tallarna på Gotland kan vara mer känsliga för nederbörd än tallarna i Myrkarby.

Baserat på de utförda korrelationsanalyserna gick det att dra slutsatser kring vilka trädringsparametrar som uppvisar högst korrelation med klimatvariablerna. Med utgångspunkt både i de separata och aggregerade somarmedelvärdena, går det att uttyda att data från KNMI överlag har högst korrelation med trädringsbredd. Nederbördsdata har högst korrelation med Myrkarbyprovernas totala ringbredd och Gotlandsprovernas höstvedsbredd. Temperaturdata har högst korrelation med Myrkarbyprovernas vårvedsbredd och Gotlandsprovernas totala ringbredd.

8. Referenslista

8.1 Datakällor & programvaror

Cybis. (2019). CooRecorder; CDendro (Version 9.4). [Programvaror].

<http://www.cybis.se/forfun/dendro/>

Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. (2013). Cofecha (Version 6.06P).

[Programvara]. <https://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring-laboratory/resources/software>

Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. (2014). Arstan (Version 44h3).

[Programvara]. <https://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring-laboratory/resources/software>

KNMI Climate Explorer. (1901-2018). [Månatlig nederbörd Myrkarby, CRU TS 4.03; 59.882348° N, 16.938686° E].

[https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=\\$id&field=cru4_pre&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=59.882348&lon1=16.938686&masktype=all&minfac=30](https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=$id&field=cru4_pre&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=59.882348&lon1=16.938686&masktype=all&minfac=30)

KNMI Climate Explorer. (1901-2018). [Månatlig temperatur Myrkarby, CRU TS 4.03; 59.8831° N, 16.9371° E].

[https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=\\$id&field=cru4_tmp&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=59.8831&lon1=16.9371&masktype=all&minfac=30](https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=$id&field=cru4_tmp&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=59.8831&lon1=16.9371&masktype=all&minfac=30)

KNMI Climate Explorer. (1901-2018). [Månatlig nederbörd Bräntings haid & Hall-Hangvar, CRU TS 4.03; 57.8783° N, 18.6489° E].

[https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=\\$id&field=cru4_pre&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=57.8783&lon1=18.6489&masktype=all&minfac=30](https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=$id&field=cru4_pre&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=57.8783&lon1=18.6489&masktype=all&minfac=30)

KNMI Climate Explorer. (1901-2018). [Månatlig temperatur Bräntings haid & Hall-Hangvar, CRU TS 4.03; 57.8783° N, 18.6489° E].

[https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=\\$id&field=cru4_tmp&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=57.8783&lon1=18.6489&masktype=all&minfac=30](https://climexp.knmi.nl/get_index.cgi?email=$id&field=cru4_tmp&gridpoints=false&intertype=nearest&lat1=57.8783&lon1=18.6489&masktype=all&minfac=30)

SMHI. (1722-1986). Uppsala (stationsnr 97520). [Månatlig temperatur, 13 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=97520>

SMHI. (1985-2020). Uppsala Aut (stationsnr 97510). [Månatlig temperatur, 13 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=97510>

SMHI. (1723-2020). Uppsala (stationsnr 97520). [Månatlig nederbörd, 13 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitationMonthlySum,stations=all,stationid=97520>

SMHI. (1859-1986). Visby (stationsnr 78390). [Månatlig temperatur, 28 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=78390>

SMHI. (1945-2020). Visby Flygplats (stationsnr 78400). [Månatlig temperatur, 42 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=78400>

SMHI. (1859-2020). Visby D (stationsnr 78390). [Månatlig nederbörd, 42.31 m.ö.h.].

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitationMonthlySum,stations=all,stationid=78390>

8.2 Tryck

Fritts, H.C. (1976). *Tree Rings and Climate*. London, New York, San Francisco: Academic Press.

Houston Durrant, T., de Rigo, D. & Caudullo, G. (2016). "Pinus sylvestris in Europe: distribution, habitat, usage and threats". In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.). *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publ. Off. EU.

Knox, P.L. & Marston, S.A. (2016). *Human Geography: Places and Regions in Global Context*. 7th edition, global edition. Harlow: Pearson.

Lagerström, T. (u.å.). *Sveriges zonkarta för vedartade växter*. Riksförbundet Svensk Trädgård, nr. 41.

Speer, J.H. (2011). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. The University of Arizona Press.

Stokes, M.A. & Smiley, T.L. (1968). *An Introduction to Tree-Ring Dating*. The University of Arizona Press.

8.3 Vetenskapliga artiklar och rapporter

Alexandersson, H. (2002). *Temperatur och nederbörd i Sverige 1860-2001*. SMHI Meteorologi, nr. 104.

Linderholm, H.W. & Molin, T. (2005). *Early nineteenth century drought in east central Sweden inferred from dendrochronological and historical archives*. *Climate Research*, vol. 29, p. 63-72.

Rocha, E., Gunnarson, B.E., Holzkämper, S. (2020). *Reconstructing Summer Precipitation with MXD Data from Pinus sylvestris Growing in the Stockholm Archipelago*. *Atmosphere*, vol. 11, nr. 8.

Ruiz-Pérez, G. & Vico, G. (2020). *Effects of Temperature and Water Availability on Northern European Boreal Forests*. *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 3, nr. 34.

Seftigen, K., Linderholm, H.W., Drobyshev, I., Niklasson, M. (2013). *Reconstructed drought variability in southeastern Sweden since the 1650s*. *International Journal of Climatology*, vol. 33, p. 2449-2458.

Seftigen, K., Björklund, J., Cook, E.R., Linderholm, H.W. (2015). *A tree-ring field reconstruction of Fennoscandian summer hydroclimate variability for the last millennium*. *Climate Dynamics*, vol. 44, p. 3141-3154.

Zhang, R., Sun, C., Zhu, J., Zhang, R., Li, W. (2020). *Increased European heat waves in recent decades in response to shrinking Arctic sea ice and Eurasian snow cover*. *Climate and Atmospheric Science*, vol. 3, nr. 7.

8.4 Webbssidor

Länsstyrelsen Gotlands län. (u.å. a). *Bräntings haid*. Hämtat 2020-04-13 från <https://www.lansstyrelsen.se/gotland/besoksmal/naturreservat/brantings-haid.html>

Länsstyrelsen Gotlands län. (u.å. b). *Hall-Hangvar*. Hämtat 2020-04-13 från <https://www.lansstyrelsen.se/gotland/besoksmal/naturreservat/hall-hangvar.html>

Länsstyrelsen Uppsala län. (u.å.). *Myrkarbys naturreservat*. Hämtat 2020-04-09 från <https://www.lansstyrelsen.se/uppsala/besoksmal/naturreservat/myrkarbys-naturreservat.html>

Nationalencyklopedin. (u.å. a1). *Gotland - Natur - Terrängformer*. Hämtat 2020-11-17 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/gotland#natur/terrangformer>

Nationalencyklopedin. (u.å. a2). *Uppland - Natur - Terrängformer och berggrund*. Hämtat 2020-11-17 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/uppland#natur/terrangformer-berggrund>

SMHI. (2013). (Uppdaterad 2019). *Gotlands klimat*. Hämtat 2020-07-18 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-i-sveriges-landskap/gotlands-klimat-1.4887>

SMHI. (2009 a). (Uppdaterad 2019). *Upplands klimat*. Hämtat 2020-07-18 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/upplands-klimat-1.4918>

SMHI. (2009 b). (Uppdaterad 2017). *Nederbörd*. Hämtat 2020-10-16 från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/nederbord>

SMHI. (2009 c). (Uppdaterad 2017). *Temperatur*. Hämtat 2020-10-16 från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/temperatur>

SMHI. (2009 d). (Uppdaterad 2020). *Klimatförändringen är tydlig redan idag*. Hämtat 2020-10-04 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-forandras>

8.4.1 Ordförklaringar

Biologyonline. (u.å.). *Pioneer species*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.biologyonline.com/dictionary/pioneer-species>

Guteinfo. (u.å.). *Vätar på Gotland*. Hämtat 2020-10-26 från <https://www.guteinfo.com/?id=849>

Nationalencyklopedin. (u.å. a). *Fenotyp*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/fenotyp>

Nationalencyklopedin. (u.å. b). *Stress hos växter*. Hämtat 2020-10-26 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/stress#stress-hos-vaxter>

Nationalencyklopedin. (u.å. c). *Refugium*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/refugium>

Nationalencyklopedin. (u.å. d). *Korologi*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/korologi>

Nationalencyklopedin. (u.å. e). *Klyvöppning*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/klyvoppning>

Nationalencyklopedin. (u.å. f). *Hällmark*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/hallmark>

Nationalencyklopedin. (u.å. g). *Karstbildning*. Hämtat 2020-11-17 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/karstbildning>

Nationalencyklopedin. (u.å. h). *Rullstensås*. Hämtat 2020-11-17 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/rullstensas>

Nationalencyklopedin. (u.å. i). *Alvar*. Hämtat 2020-07-15 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/alvar>

Nationalencyklopedin. (u.å. j). *Fennoskandia*. Hämtat 2020-10-05 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/fennoskandia>

SMHI. (2016). (Uppdaterad 2018). *Torka*. Hämtat 2020-10-26 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/torka-1.111075>

Sverigesnationalparker. (u.å.). *Skyddad natur i Sverige*. Hämtat 2020-07-15 från

<https://www.sverigesnationalparker.se/om-sveriges-nationalparker/skyddad-natur-i-sverige/>