

Optimal tidpunkt för gibberellinbehandling (GA_{4/7}) i granfröplantager

Optimal time for GA_{4/7} treatment in Norway spruce seed orchards



Skottlängdsmätning i klonarkiv KA56, Sävar. Foto: Ulfstand Wennström, Skogforsk

Summary

When treating Norway spruce (*Picea abies*) with the flower-inducing hormone gibberellin (GA4/7) timing of treatment is important. Earlier recommendations have been difficult to apply at an operational scale in seed orchards, because the recommendation is that the plants should be treated when the shoots have reached a certain proportion of the current year's shoot elongation. This is difficult to estimate, and only later can it be seen if the treatment was correctly timed.

In this report two models describing shoot development based on temperature sum are described. One model is based on temperature sum from the beginning of the vegetation period and the other on a temperature sum that starts accumulating when the spruce plants start to sprout. The second model is more accurate, as it considers both the local climate and the Norway spruce material at the locality. Based on the model's temperature sums, the most appropriate times to start and stop treatment have been calculated.

The models are based on records of shoot elongation and classification, and temperature records in two clonal archives (in Skåne in southern and Västerbotten in northern Sweden) in 2017-19 and corresponding registrations in a seed orchard in Dalarna in central Sweden in 2019.

Förord

Denna rapport redovisar ett projekt inom forskningsprogrammet Mer Granfrö som finansieras gemensamt av Föreningen skogsträdsförädling och de stora plantageägarna (Holmen, SCA, StoraEnso, Sveaskog och Södra skogsägarna). Målet med projektet var att ta fram en lättanvänd metod för att bestämma när på försommaren behandling med det blomningsstimulerande hormonet gibberellin ska utföras.

Fältarbetet utfördes med stor noggrannhet och energi av Mats Eriksson, Skogforsk, i Maltesholm, av personal vid Skogforsk i Sävar och av Lars Ryss och Lena Wiklund i Solleröplantagen.

Uppsala i september 2020

Curt Almqvist

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Inledning.....	6
Syfte	7
Material och metoder	7
Studiematerial.....	7
Registreringar i fält.....	7
Temperatursummor	7
Förberedande bearbetning	8
Statistisk analys	8
Resultat	9
Praktisk användning av funktionerna vid staminjektion av GA ₄ /7	13
Diskussion	14
Referenser.....	18

Sammanfattning

Tidpunkten för behandling av gran med det blomningsstimulerande hormonet gibberellin (GA_{4/7}) är viktig för att god effekt ska uppnås. Tidigare använda riktlinjer har varit svåra att använda då åtgärden ska utföras i operationell skala i fröplantager av gran. Dessa riktlinjer har utgått från att behandling ska ske då skottsträckningen nått en viss andel av den slutliga skottlängden för året, vilket är svårbedömt och gör att man endast i efterhand kan avgöra om man prickade rätt eller inte.

I denna rapport redovisas två funktioner som beskriver hur skottutvecklingen utvecklas med temperatursumma som huvudsaklig förklarande variabel. En modell som baserar sig på temperatursumman från vegetationsperiodens början och en som baserar sig på temperatursumman från att skottsträckningen hos granarna börjar. Då den senare funktionen tar hänsyn till materialets fenologi, så ger den ett resultat som är bättre anpassat till både lokal och material. Baserat på dessa funktioner har gränser framtagits på vid vilken temperatursumma det är lämpligt att börja en behandling och när man bör vara klar med sin behandling.

Funktionerna baserar sig på registrering av skottsträckning, skottsträckningsklassificering och temperaturregistrering i två klonarkiv (i Skåne och Västerbotten) åren 2017 – 19 samt motsvarande registreringar i en fröplantage i Dalarna 2019.

Inledning

Trädens start av tillväxt på våren markerar starten på vegetationsperioden. När den infaller varierar mellan år, till största delen beroende på temperaturutvecklingen. I skogliga sammanhang används ofta temperatursumma för att beskriva denna utveckling (Morén & Perttu 1994). För att beskriva skottsträckningen hos gran (*Picea abies*) används ofta skottsträckningsklasser beskrivna av Langlet (1960) modifierade/förtydligade av Krutzsch (1973) eller varianter därav (se t.ex. Hannerz 1999; Slaney m.fl. 2007). Dessa klassificeringar är bra för att rangordna material, till exempel med avseende på tillväxtstart, men i andra sammanhang kan det vara bättre att ha ett mått som beskriver hur långt skottet sträckt i förhållande till dess slutlängd. Denna typ av mått har använts för att bestämma lämplig tidpunkt för att stimulera blomning hos gran (Dunberg 1979).

Knopputvecklingen hos gran startar med initiering av knoppskal vid samma tidpunkt på våren då knoppsträckningen börjar (Owens & Blake 1987; Hejnowicz & Obarska 1996). Differentiering som leder till bildandet av vegetativa eller reproduktiva knoppar inträffar under en period av ungefär två veckor, efter att knoppskalen bildats och i slutet av den snabba skottsträckningen (Dunberg 1979; Bonnet-Masimbert 1987; Owens & Blake 1987; Pharis m.fl. 1987; Ross & Pharis 1987; Odén m.fl. 1990; Ho 1991; Högberg & Eriksson 1994; Jonsen m.fl. 1994; Fogal m.fl. 1996; Brockerhoff & Ho 1997). Baserat på detta har följande rekommendation för staminjektion med gibberellin ($GA_{4/7}$) använts vid blomningsstimulering i försök och i skogsträdsförädlingen: Behandling med gibberellin ska ske då de ledande skotten i de övre grenvarven sträckt mellan 70–90 procent av sin slutliga skottlängd. Då skottsträckningen vid behandlingstillfället i denna rekommendation sätts i relation till den slutliga skottlängden så vet man inte förrän i efterhand om behandlingen utfördes vid rätt tillfälle eller inte. För att klara detta krävs stor erfarenhet av att följa skottutveckling hos gran med antaganden om hur föregående och innevarande års klimat påverkar den slutliga skottlängden samt att man relativt intensivt följer trädens skottutveckling vilket är arbetskrävande. Det fungerar dock hyfsat vid experiment och/eller i förädlingsarbetet med begränsade material vars fenologiska utveckling följs intensivt. Det är dock en mycket opraktisk och svåränvänd rekommendation att använda i den operativa plantageskötseln. Skottutvecklingen på en lokal är dessutom inte bara beroende av temperaturutvecklingen på lokalen, utan även det genetiska materialet påverkar när skottutvecklingen startar beroende på hur senskjutande materialet är.

Det behövs därför en mer lättarbetad metod som helst tar hänsyn till både lokalklimatet och det material som växer på lokalen. Målet med detta projekt var att utveckla en sådan metod. Metoden skulle bygga på ackumulerad temperatursumma ensamt eller i kombination med en startpunkt, som bestäms av det aktuella plantagematerialets knoppsprickning.

Syfte

Syftet med det här redovisade projektet var att utveckla en mer användarvänlig metod att fastställa när gibberellinbehandling i granfröplantager ska utföras.

Material och metoder

STUDIEMATERIAL

Som studiematerial för att följa skottutvecklingen användes två stycken klonmaterial med relativt stor geografisk spridning lokaliserade i Maltesholm i Skåne (Latitud 55.91) och i Sävar i Västerbotten (Latitud 63.89). I dessa följdes skottutvecklingen i tre år 2017 – 19. Då preliminära analyser visade på att det föreligger ett latitudberoende (dvs. att en viss uppnådd temperatursumma ger olika effekt vid olika latituder) lades ett klonmaterial i granplantagen i Sollerön (Latitud 60.90) till som en tredje lokal till 2019.

I Maltesholm bestod klonmaterialet av mellan 14–19 kloner de tre åren och med ett ursprung mellan latitud 49.58 – 64.88. De flesta klonerna ingick med två ympar (det var någon enstaka klon som hade 3 eller 4 ympar med). I Sävar bestod klonmaterialet av 20 kloner alla tre åren och med ett ursprung mellan latitud 61.62 – 66.82. De flesta klonerna ingick med två ympar (det var 1 – 2 kloner som hade 1 ymp med). I Sollerön bestod klonmaterialet av 20 kloner utvalda i hel- och halvsyskonfamiljer. Klonerna valdes som plantskoleurval på lokaler mellan latitud 56.90 – 63.90. Föräldrarna till familjerna hade ett ursprung mellan latitud 49.33 – 65.45 och alla kloner ingick med två rametrar.

REGISTRERINGAR I FÄLT

På varje ymp märktes två grenar i det översta grenvarvet ut och alla mätningar/registreringar gjordes på dessa grenars huvudskott. I Sävararkivet valdes grenar längre ner på träden p.g.a. trädstorleken.

Vid varje mättillfälle noterades skottutveckling enligt Krutzsch skala (Krutzsch 1973) och skottlängd på grenens huvudskott i mm för varje gren på alla ingående rameter. Klassningarna enligt Krutzsch skala gjordes upp till Klass 8 förutom i Sävar 2018 och 2019 då registrering av skottskjutningsklass gjordes upp till klass 5. Mätningarna av skottlängd pågick från det att knopparna började röra på sig och fortgick med en veckas intervall till dess skotten på den långsammast utvecklade klonens rameter var i stort sett färdigsträckta. Mätning av skottens slutlängd utfördes under sensommaren (augusti-september).

Temperatur mättes med två loggrar (HOBO U22-001 Water Temp Pro V2) monterade i strålskydd (RS-1) på 1.8 m höjd. Loggrarna placerades på två representativa ställen i anslutning till de kloner som ingår i studien. Mätintervall 10 minuter, vilket gav 144 registreringar per dygn.

TEMPERATURSUMMOR

Baserat på medelvärdena för de två loggrarna på respektive lokal beräknades medelvärden för respektive mättillfälle. Baserat på dessa beräknades dygnsmedeltemperatur som låg till grund för ackumulering av temperatursumma, TS_5, från vegetationsperiodens början (tidigaste start satt till 1 mars) med tröskelvärde + 5° C.

För varje gren bestämdes datum då den uppnått skottskjutningsklass 3 enligt Krutzsch skala. Om en grens knopp gått från till exempel 2 till 4 mellan två mätningar så antogs jämn utvecklingstakt och datum då klass 3 uppnåddes interpolerades fram.

Med start vid de datum då någon del av materialet uppnått klass 3 skapades en temperatursumma med ackumulerad temperatursumma från det att skottskjutningsklass 3 uppnåts, TS_K3, med tröskelvärde + 5° C.

FÖRBEREDANDE BEARBETNING

För varje mättillfälle beräknades varje grens uppnådda skottsträckning som andel av dess slutliga skottlängd. Då den statistiska analysen skulle utföras på logit-värden så skapades variabeln Justerad skottandel där de mätpunkter där skottandelen var 0.0 eller 1.0 åsattes värdena 0.001 och 0.998 vilken användes för beräkning av logit-värdet för respektive mätpunkt.

För varje mättillfälle åsattes varje gren också uppnådd TS_5 och TS_K3.

Kloner med tidig eller sen utveckling fick flera mätpunkter i början och/eller slutet av varje års mätserie där inte skottandelen ändrar sig mellan mättillfällena. Då dessa mätpunkter inte tillför någon information om skottutvecklingen så ströks dessa mätpunkter från det dataset som användes vid den statistiska analysen.

STATISTISK ANALYS

Till den statistiska analysen användes programmet SAS (version 9.4) procedur Mixed (Proc MIXED). Följande modell användes:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot TS_5 + \beta_2 \cdot (TS_5 \cdot LatLok)$$

där p är andel uppnådd skottlängd av slutlig skottlängd, TS_5 (eller TS_K3) och LatLok (lokalens latitud) är förklarande variabler, β_0 är intercept och β_1 och β_2 är lutningsparametrar. För att ta hänsyn till att data var tidsserier användes en autoregressiv modell.

Återtransformering av p gjordes genom:

$$p = \frac{\exp\{\beta_0 + \beta_1\chi_1 + \dots + \beta_m\chi_m\}}{(1 + \exp\{\beta_0 + \beta_1\chi_1 + \dots + \beta_m\chi_m\})}$$

Resultat

Den statistiska modellen som valdes fångar variationen i den beroende variabeln relativt bra även om det var stor spridning i materialet. Den modell som valdes hade temperatursumma (TS_5 eller TS_K3) och produkten av temperatursumma och lokalens latitud (LatLok) som förklarande variabler. Klonernas ursprungs latitud kunde inte tas med i modellen beroende på att de olika lokalerna hade olika uppsättningar kloner och att materialet i Sollerön härrör från korsningsfamiljer.

Modellparametrar för de valda funktionerna presenteras i tabell 1, och diagram för de tre studielokalerna med datapunkter inlagda presenteras i figur 1 - 3.

Tabell 1. Parameterskattningar för parametrar ingående i de valda modellerna (p -värden inom parentes). A, modell med temperatursumma TS_5 och LatLok. B, modell med TS_K3 och LatLok.

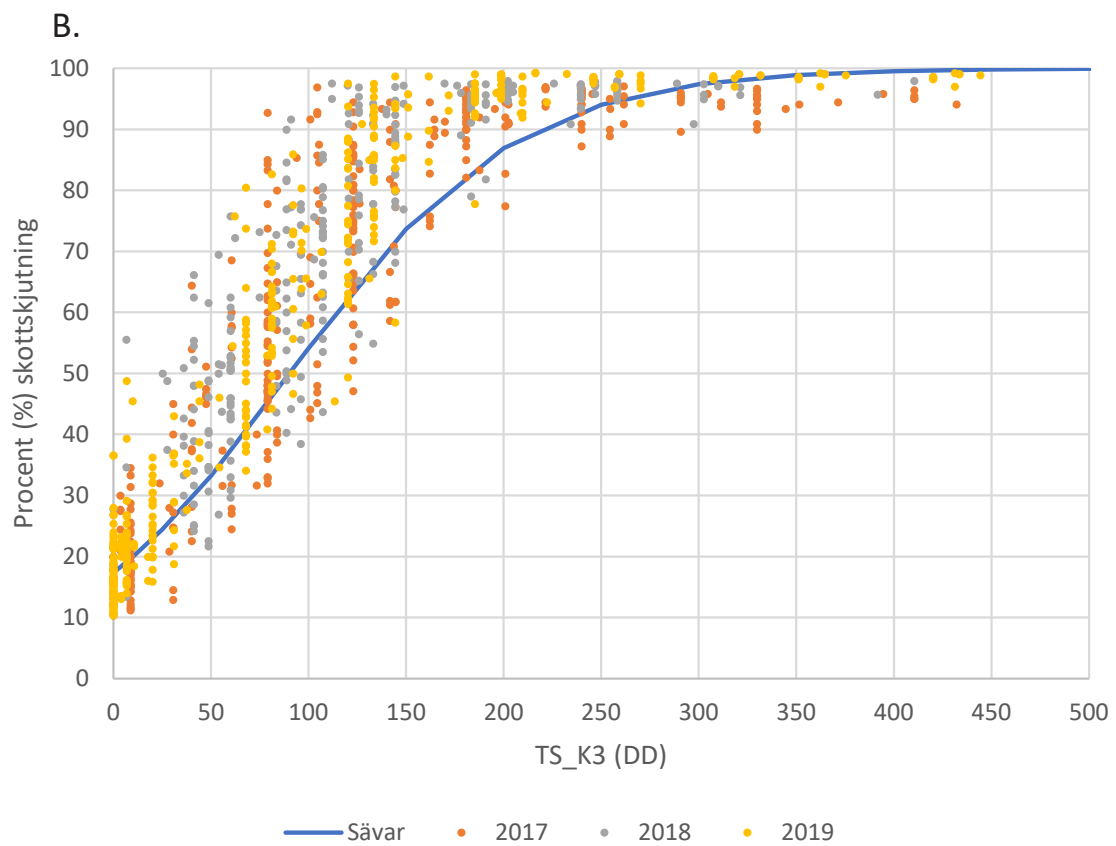
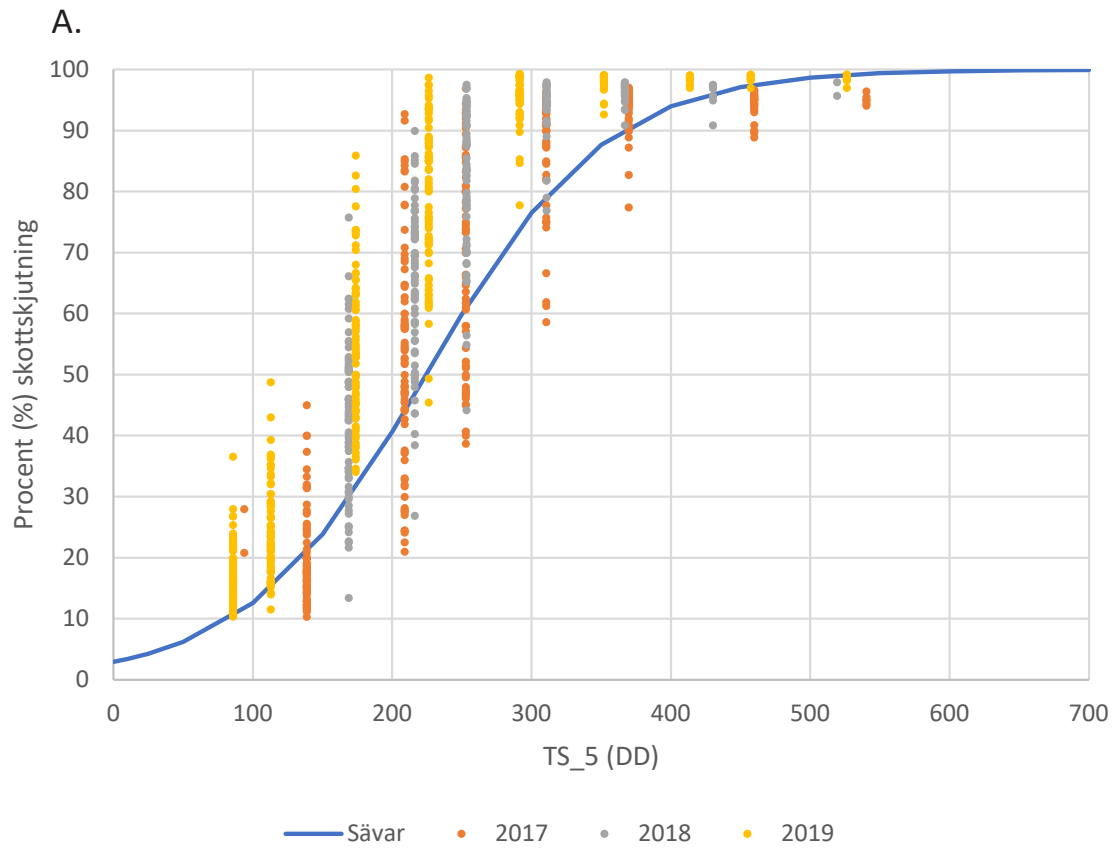
A. Modell med TS_5 och LatLok

Variabel	Estimat	StdErr (medelfel)	DFF	t-värde	Pr > t
Intercept	3.5011	0.1090	824	-32.12	< 0.0001
TS_5	-0.02164	0.002784	1603	-7.77	< 0.0001
TS_5 * LatLok	0.000583	0.000046	1603	12.55	< 0.0001

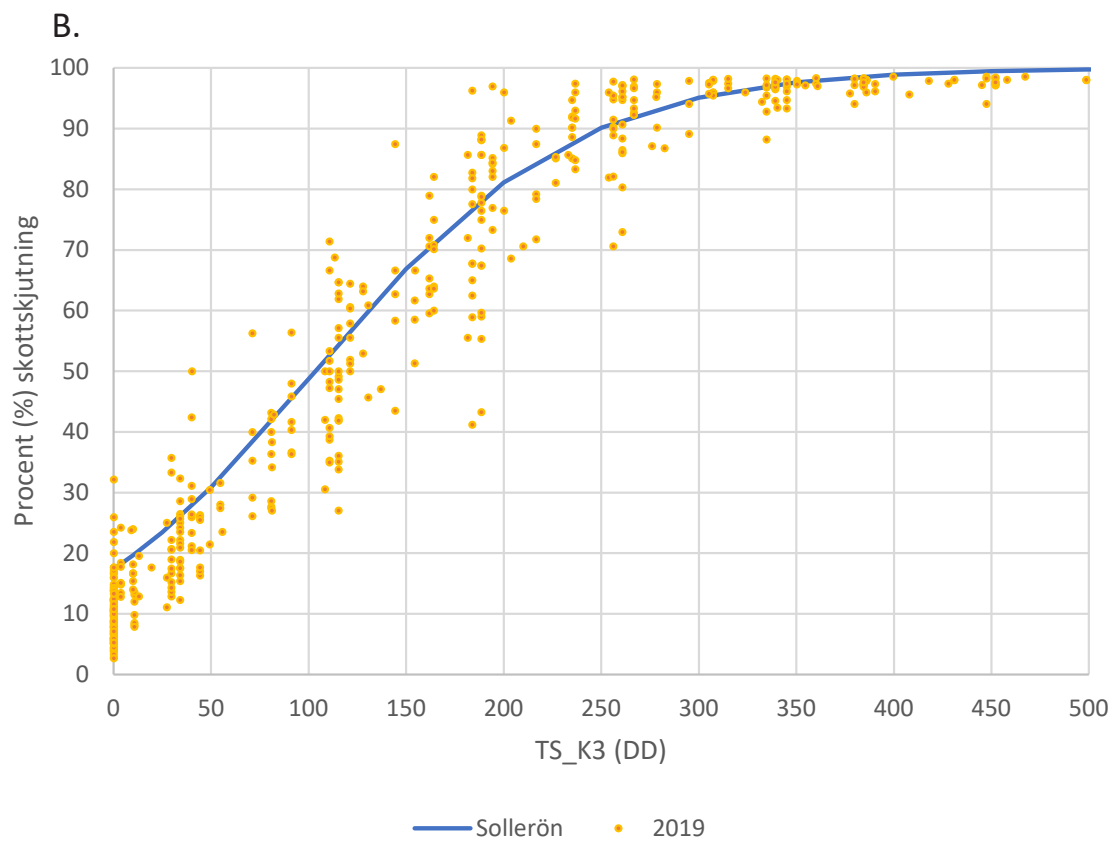
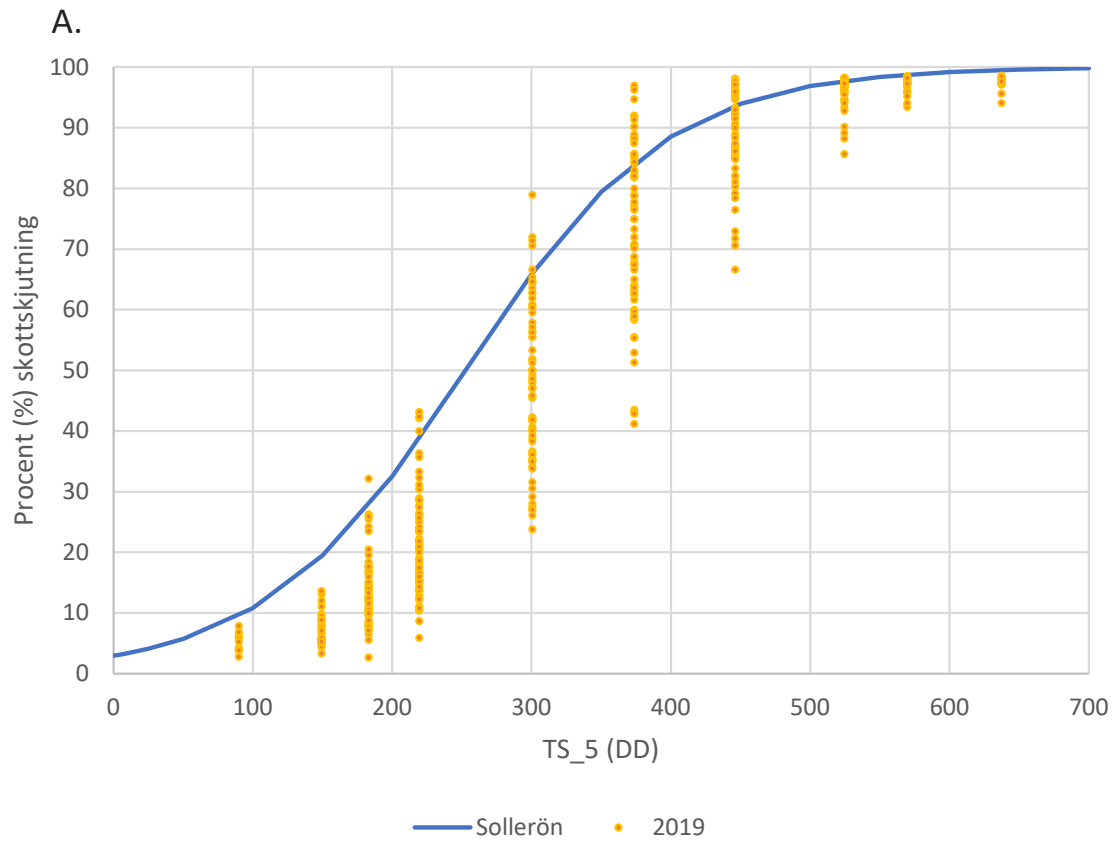
B. Modell med TS_K3 och LatLok

Variabel	Estimat	StdErr (medelfel)	DFF	t-värde	Pr > t
Intercept	-1.5607	0.06808	824	-22.93	< 0.0001
TS_K3	-0.02887	0.003291	1603	-8.77	< 0.0001
TS_K3 * LatLok	0.000722	0.000055	1603	13.16	< 0.0001

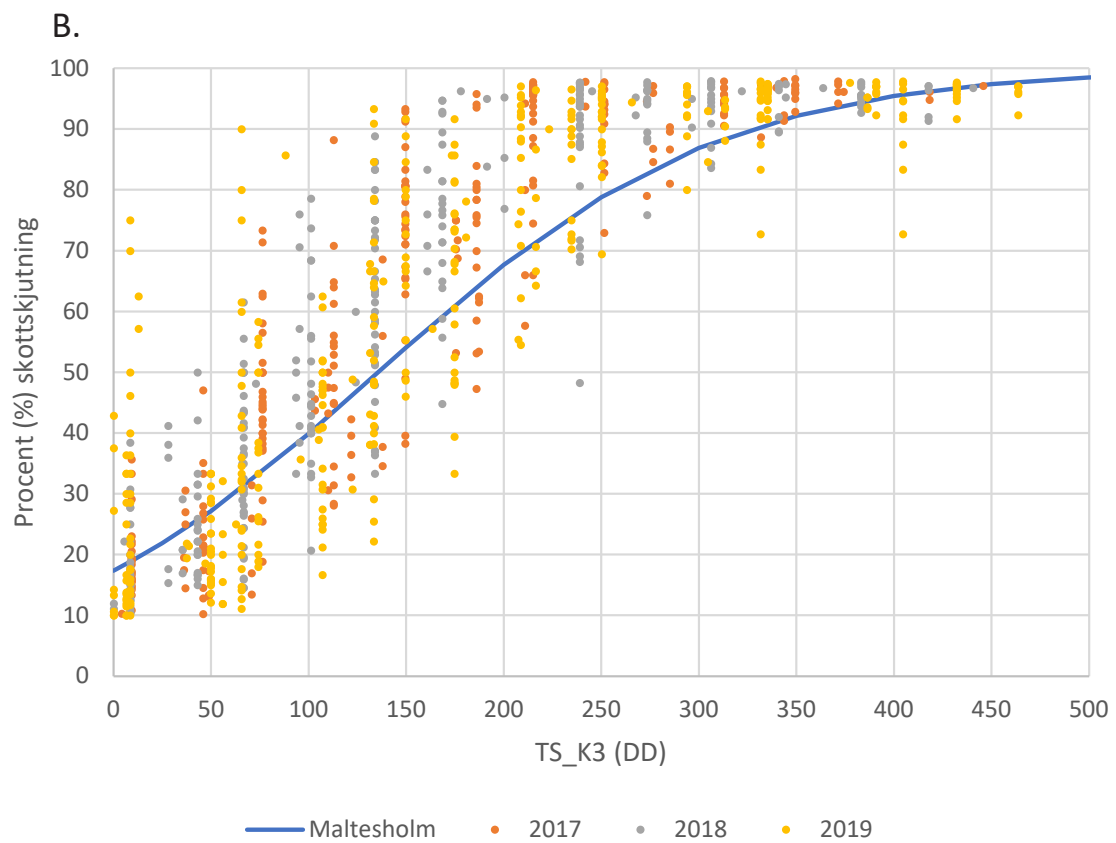
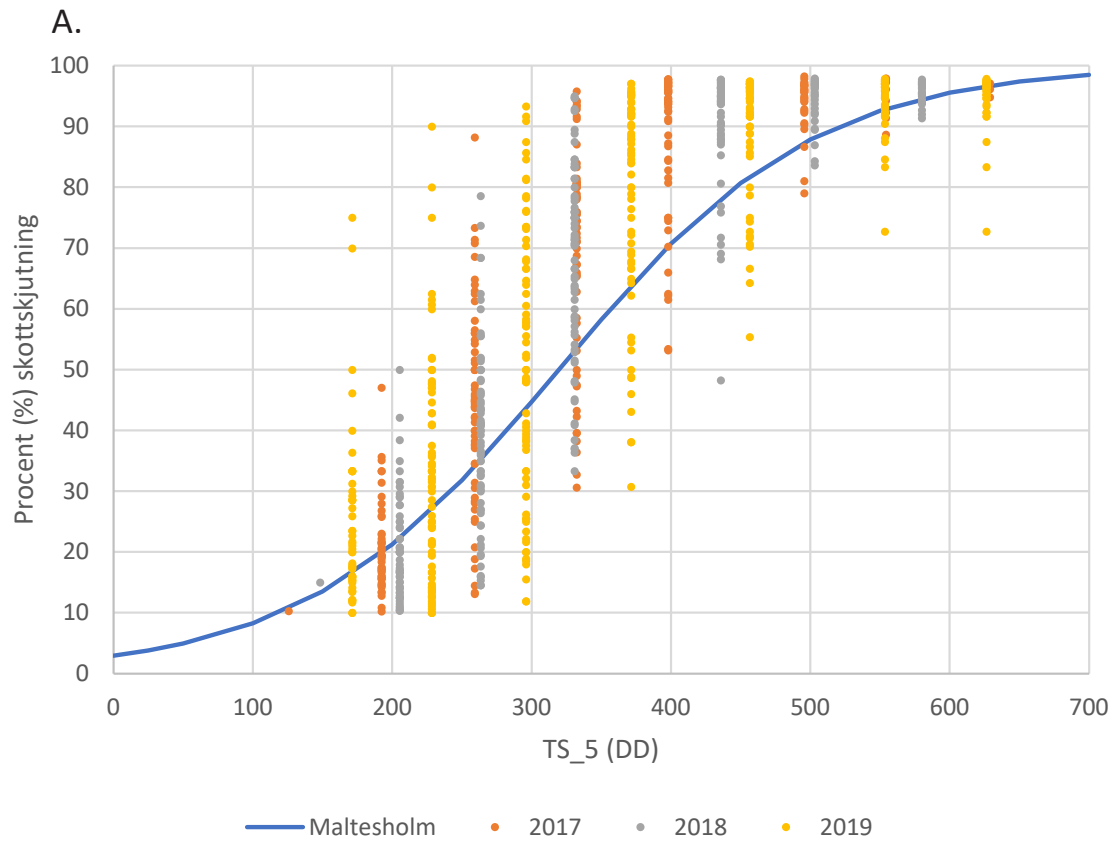
Figur 1. Diagram med återtransformerad funktion enligt A och B i tabell 1 för lokal Sävar.



Figur 2. Diagram med återtransformerad funktion enligt A och B i tabell 1 för lokal Sollerön.



Figur 3. Diagram med återtransformerad funktion enligt A och B i tabell 1 för lokal Maltesholm.



PRAKTISK ANVÄNDNING AV FUNKTIONERNA VID STAMINJEKTION AV GA_{4/7}

Funktionerna är framtagna för att underlätta behandling med GA_{4/7} genom staminjektioner med syfte att öka blominitieringen i granplantager. I tabell 2 presenteras gränser för temperatursumma TS₅ och TS_{K3} för olika latituder i Sverige.

De gränser som beskrivs är:

- Tidig start, som definieras som den temperatursumma (TS₅ eller TS_{K3}) då 65 procent av skottsträckningen uppnåtts.
- Optimal start, som definieras som den temperatursumma då 75 procent av skottsträckningen uppnåtts.
- Optimalt slut, som definieras som den temperatursumma då 85 procent av skottsträckningen uppnåtts.
- Sent slut, som definieras som den temperatursumma då 90 procent av skottsträckningen uppnåtts.

När klonerna i en plantage uppnått stadie K₃ i Krutzsch skala varierar mellan klonerna. Det kan både variera mellan olika rameter av samma klon och inom en klon tex. på olika sidor som fått olika mycket solbestrålning. Ur praktisk synpunkt är det svårt att behandla varje klon individuellt. Därför rekommenderas att man bestämmer tidpunkt för hela plantagen då hälften av klonerna eller plantageträden i plantagen uppnått K₃.

Tabell 2. Gränser för temperatursumma, TS₅ och TS_{K3}, för tidig och optimal start samt optimalt och sent slut av GA_{4/7}-behandling genom staminjektion i granplantager med olika lokalisering i Sverige. Tidig start är då 65 procent av total skottlängd förväntas vara uppnådd. Optimal start, optimalt slut och senaste slut är då 75, 85 och 90 procent av total skottlängd förväntas var uppnådd, respektive.

TS ₅ vid:					TS _{K3} vid:				
Lat	Tidig start	Optimal start	Optimalt slut	Sent slut	Lat	Tidig start	Optimal start	Optimalt slut	Sent slut
56	374	418	476	518	56	189	230	285	325
57	355	397	452	492	57	177	216	268	306
58	338	378	430	468	58	168	204	253	289
59	323	361	410	447	59	159	194	240	274
60	309	345	392	427	60	151	184	228	260
61	296	330	376	409	61	144	175	217	248
62	284	317	361	393	62	137	167	207	236
63	273	305	347	378	63	131	160	198	226
64	263	293	334	364	64	126	153	190	217
65	253	283	322	351	65	121	147	182	208
66	245	273	311	338	66	116	142	175	200

Diskussion

De i denna undersökning använda materialen i klonarkiven i Maltesholm och Sävar valdes för att få en bra spridning i härkomst på bägge lokalerna. Även den tillkommande lokalen som är en operativ TreO-plantage har stor variation i härkomst för de ingående klonerna. Syftet med den här utförda analysen av insamlade data var att skapa funktioner som beskriver hur skottsträckningen generellt kan förklaras med ackumulerad temperatursumma. De framtagna funktionerna fyller detta syfte väl även om spridningen mellan enskilda kloner runt funktionen är stor.

De två framtagna funktionerna för TS_5 och TS_K3 har båda sina för- och nackdelar ur användningssynpunkt. TS_5 kan användas utan att starten på aktuellt års skottskjutning behöver följas på plats i plantagen. Då man inte tar någon hänsyn till det material som plantagen består av så är det osäkrare hur väl funktionens resultat stämmer för den aktuella plantagen. Den ger dock en grov vägledning till när GA-behandlingen bör göras. TS_K3 kräver att plantagens start av skottskjutning följs på plats så att ett startdatum för TS_K3 kan bestämmas. Detta bestäms till det datum då hälften av plantagens kloner nått klass K3, dvs. skottskjutningsklass 3 enligt Krutzsch (1973). Detta är mer arbetskrävande men tar hänsyn till det material som plantagen innehåller och tar även hänsyn till klonernas reaktion på den aktuella vårens temperaturvariationer som leder fram till att skottskjutningen startar.

Hur stor är då variationen mellan år då temperatursumma för de olika tidpunkterna uppnås (tidig start och optimal start respektive optimalt och sent slut)? Baserat på data från SMHIs Luftwebb (<http://luftwebb.smhi.se/>, denna tjänst stängdes tyvärr ned i juni 2020) har dessa datum beräknats för TS_5 för fyra plantager med lokalisering i olika delar av landet för perioden 2000-2018 (tabell 3). Tidsfönstren är relativt lika långa i de olika plantagerna. Tidsfönstret från "Tidig start till Sent slut" varierar i längd mellan 9 och 21 dagar med ett medel på 12 – 14 dagar. Fönstret från "Optimal start till Optimalt slut" varierar i längd mellan 4 och 8 dagar med ett medel på 5 – 6 dagar.

Tidigaste datum för alla tidpunkter uppnåddes 2018 (förutom för FP-517 Multrå då tidigaste "Sent GA-slut" uppnåddes en dag tidigare 2002), och inföll i slutet av maj eller början av juni. Senaste starttidpunkter ligger drygt 3 veckor senare.

Tabell 3. Datum då temperatursumman TS_5 uppnått tröskelvärdena för Tidig start, Optimal start, Optimalt slut och Sent slut för gibberellinbehandling i fyra fröplantager, FP-518 TreO G7 Söregärde, FP-504 Ålbrunna, FP-517 Multrå G3 och FP-130 Domsjöänget åren 2000 – 2018. Tidigaste respektive senaste datum då en tröskel uppnåtts har markerats med gul respektive blå färg. Tröskelvärden för TS_5 för respektive tidpunkt i plantagerna anges ovanför respektive kolumn. Baseras på temperaturdata från <http://luftwebb.smhi.se/>

FP-518 TreO G7 Söregärde					FP-504 Ålbrunna				
TS5	359	401	457	497	TS5	316	352	401	437
År	Tidig GA-start	Optimal GA-start	Optimalt GA-slut	Sent GA-slut	År	Tidig GA-start	Optimal GA-start	Optimalt GA-slut	Sent GA-slut
2000	06-05	06-10	06-15	06-20	2000	06-01	06-07	06-12	06-16
2001	06-17	06-21	06-26	06-29	2001	06-13	06-16	06-21	06-25
2002	06-07	06-11	06-16	06-24	2002	06-02	06-04	06-08	06-11
2003	06-11	06-14	06-20	06-25	2003	06-06	06-09	06-14	06-18
2004	06-13	06-19	06-26	06-29	2004	06-07	06-12	06-18	06-22
2005	06-17	06-21	06-25	06-28	2005	06-14	06-17	06-21	06-24
2006	06-15	06-18	06-23	06-26	2006	06-11	06-13	06-17	06-19
2007	06-03	06-07	06-11	06-13	2007	06-02	06-05	06-09	06-11
2008	06-09	06-12	06-19	06-23	2008	06-03	06-06	06-09	06-13
2009	06-13	06-18	06-24	06-27	2009	06-02	06-11	06-18	06-22
2010	06-21	06-25	06-29	07-02	2010	06-09	06-13	06-19	06-23
2011	06-04	06-07	06-12	06-16	2011	06-30	06-02	06-06	06-09
2012	06-13	06-18	06-23	06-28	2012	06-08	06-12	06-18	06-23
2013	06-11	06-15	06-20	06-23	2013	06-02	06-05	06-10	06-15
2014	06-06	06-09	06-14	06-18	2014	06-05	06-08	06-12	06-15
2015	06-12	06-15	06-22	06-27	2015	06-11	06-14	06-20	06-24
2016	06-07	06-12	06-18	06-21	2016	06-03	06-07	06-14	06-18
2017	06-11	06-15	06-19	06-23	2017	06-10	06-14	06-18	06-20
2018	05-29	06-02	06-06	06-09	2018	05-25	05-28	05-31	06-03

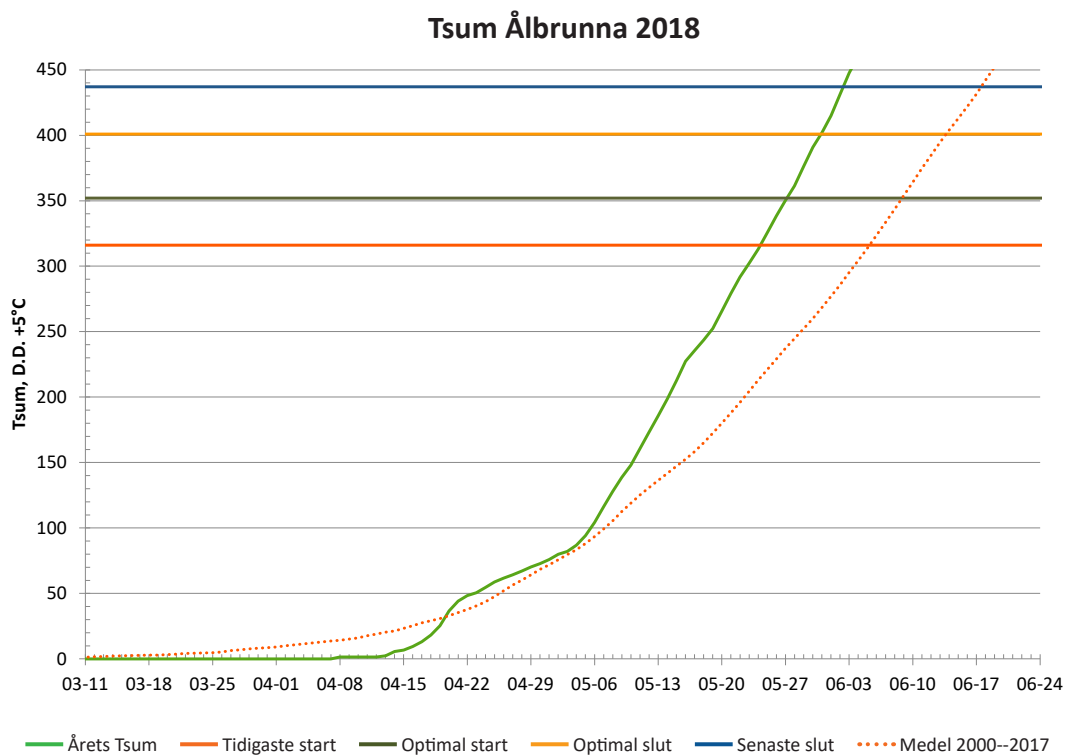
Forts. tabell 3.

FP-517 Multrä G3				
TSS	271	303	345	375
År	Tidig GA-start	Optimal GA-start	Optimalt GA-slut	Sent GA-slut
2000	06-25	06-29	07-02	07-06
2001	06-28	06-30	07-04	07-07
2002	06-09	06-12	06-17	06-20
2003	06-26	06-29	07-03	07-06
2004	06-28	07-02	07-07	07-11
2005	07-01	07-04	07-07	07-09
2006	06-22	06-26	06-30	07-03
2007	06-19	06-23	06-28	07-02
2008	06-19	06-23	06-30	07-03
2009	06-24	06-27	06-30	07-02
2010	06-26	06-30	07-03	07-05
2011	06-15	06-20	06-25	06-28
2012	07-01	07-05	07-08	07-12
2013	06-14	06-18	06-23	06-25
2014	06-16	06-25	07-02	07-05
2015	07-03	07-06	07-12	07-15
2016	06-21	06-24	06-28	07-01
2017	06-28	07-01	07-07	07-10
2018	06-08	06-12	06-17	06-21

FP-130 Domsjöänget				
TSS	270	302	344	374
År	Tidig GA-start	Optimal GA-start	Optimalt GA-slut	Sent GA-slut
2000	06-25	06-29	07-02	07-05
2001	06-26	06-29	07-02	07-05
2002	06-10	06-12	06-17	06-19
2003	06-26	06-29	07-03	07-05
2004	06-26	06-29	07-04	07-08
2005	06-27	07-01	07-05	07-07
2006	06-22	06-26	06-30	07-02
2007	06-18	06-22	06-27	06-30
2008	06-17	06-21	06-26	06-30
2009	06-22	06-25	06-28	06-30
2010	06-22	06-26	07-01	07-03
2011	06-14	06-18	06-23	06-26
2012	06-27	07-01	07-05	07-07
2013	06-10	06-15	06-19	06-23
2014	06-17	06-24	07-01	07-04
2015	06-29	07-02	07-05	07-09
2016	06-18	06-22	06-26	06-29
2017	06-26	06-30	07-04	07-08
2018	06-06	06-11	06-16	06-20

För att använda funktionerna behövs tillgång till aktuella temperaturdata (medeltemperatur per dygn) som kan användas för beräkning av temperatursummor. Bäst är naturligtvis en mätstation i plantagen men beroende på plantagens lokalisering mm. så kan det finnas närliggande mätstationer som kan användas. Finns bra tillförlitlig mätstation i närheten av plantagen så kan dessa data användas som de är eller så registreras temperaturen i plantagen under en period och med dessa data kan en regressionsfunktion för justering av mätstationens data till plantagelokalsdata skapas.

Ett exempel på hur man kan följa temperatursummans utveckling och få en bra känsla för hur långt det är kvar till start- respektive sluttidpunkterna för behandlingsfönstret visas i figur 4.



Figur 4. Utveckling av temperatursumman (TS_5) 2018 och i medeltal för åren 2000 – 2017 för plantage FP-504 Ålbrunna. Tidigaste respektive senaste tidpunkter för GA-behandling är markerade i diagrammet med linjer. Baseras på temperaturdata från <http://luftwebb.smhi.se/>.

Referenser

- Bonnet-Masimbert, M. 1987. Floral Induction in Conifers: a Review of Available Techniques. *Forest Ecol. Manag.* 19: 135-146.
- Brockhoff, E. G. & Ho, R. H. 1997. Effects of gibberellin A 4/7 stem injection on seed cone production in mature black spruce. *Can. J. For. Res.* 27: 1325-1328.
- Dunberg A. 1979. Flower induction in Norway spruce. In: Proceedings of the IUFRO joint meeting on Norway spruce provenances and Norway spruce breeding in Bucharest 1979. p. 139-157.
- Fogal, W. H., Jobin, G., Schooley, H.O., Coleman, S.J. & Wolynetz, M.S. 1996. Stem incorporation of gibberellins to promote sexual development of white spruce, Norway spruce and jack pine. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 186-195.
- Hannerz, M. 1999. Evaluation of temperature models for predicting bud burst in Norway spruce. *Can. J. For. Res.* 29:9-19.
- Hejnowicz A. & Obarska E. 1995. Structure and development of vegetative buds from lower crown of *Picea abies*. *Annals of Forest Science* 52(5): 433-477.
<https://doi.org/10.1051/forest:19950504>.
- Ho, R. H. 1991. Timing of gibberellin A4/7 application for cone production in potted black spruce grafts. *Can. J. Forest Res.* 21: 1137-1140.
- Högberg, K. A. & Eriksson, U. 1994. Effects of root pruning and stem injections with gibberellin A 4/7 on flowering and cone harvest in three *Picea abies* seed orchards. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9: 323-328
- Johnsen, O., Haug, G., DÆhlen, O. G., Gronstad, B. S. & Rognstad, A. T. 1994. Effects of heat treatment, Timing of heat treatment, and gibberellin A4/7 on flowering in potted *Picea abies* grafts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 333-340.
- Krutzsch, P. 1973. Norway spruce development of buds. Internal Report. IUFRO S2.02.11. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, 5 p.
- Langlet, O. 1960. Mellaneuropeiska granprovenienser i svenskt skogsbruk. K. Skogs- o. LantbrukAkad. Tidskr. 99:259-329. Summary in German.
- Morén, A-S. & Perttu, K.L. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194. 19 pp.
- Odén, P-C., Moritz, T. & Olofsson, K. 1990. Gibberelliner och blomning hos barrträd. Skogsfakta, Biologi och skogsskötsel nr 73. SLU.
- Owens J.N. & Blake M.D. 1987. Forest tree seed production. Information report P1-X-S. Canadian Forest Service, Petawawa National Forest Institute. 161 p.
- Pharis, R. P., Webbwe, J.E. & Ross, S.D. 1987. The promotion of flowering in forest trees by gibberellin A4/7 and cultural treatments: A review of the possible mechanisms. *Forest Ecol. Manag.* 19: 65-84.

Ross, S. D. & Pharis, R. P. 1987. Control of sex expression in conifers. *Plant growth regulation* 6(1-2): 37-60.

Slaney, M., Wallin, G., Medhurst, J. & Linder, S. 2007. Impact of elevated carbon dioxide concentration and temperature on bud burst and shoot growth of boreal Norway spruce. *Tree Phys.* 27, 301-312.