

# Beskrivning av riskindex för granbarkborre för Heureka

Michelle Nordkvist, 2022

## Beskrivning av riskindex för granbarkborre i Heureka

### *Bakgrund*

Granbarkborre är en av de främsta skadegörarna på skog och kan orsaka stora negativa ekonomiska konsekvenser. Utbrott och påföljande skador av granbarkborre kan förväntas öka på grund av klimatförändringarna (Jönsson et al. 2009, Stadelmann et al. 2013, Marini et al. 2017). Mottagligheten för ett skogsbestånd för granbarkborreangrepp kan påverkas av faktorer som beståndets abiotiska egenskaper samt vilken typ av skötsel som bedrivs. För att kunna utforska hur olika typer av skogsskötsel och framtida klimatscenarier kan påverka risken för granbarkborre på beståndsnivå har vi utvecklat ett mottaglighetsindex för granbarkborre i Heureka.

### *Syfte och användning*

Syftet med riskindexet är att kunna beskriva den relativa risken/mottagligheten för ett bestånd att råka ut för granbarkborreangrepp baserat på beståndsegenskaper samt klimatvariabler. Riskindexet kan användas för att jämföra mottagligheten för ett bestånd, relativt bestånd med andra egenskaper, annan skötsel och i andra delar av landet (klimat) eller relativt samma bestånd under olika skötsel- och klimatscenarier. Det är alltså inte ett mått på den absolut risken. Ett av huvudsyftena är att testa hur risken/mottagligheten för granbarkborreangrepp ändras under olika klimatscenarier och med olika skötselåtgärder.

### *Författare*

Indexet har utvecklats av Michelle Nordkvist i samarbete med Jeannette Eggers, Maartje Klapwijk och Martin Schroeder.

### *Beskrivning av hur riskindexet är uppbyggt och vad det är baserat på*

För varje bestånd beräknas ett specifikt riskindex (RI) baserat på nio variabler (se tabell 1). Varje variabel har en viktning (dess relativa betydelse jämfört övriga variabler) och ett antal indikatorer (d.v.s. nivåer som variabeln kan anta). Varje indikator är associerad med ett poängtal som relaterar till hur risken ökar eller minskar med just den nivån på variabeln. Riskvärdet associerad med en specifik variabel beräknas genom att multiplicera viktningens värde med poängtalet för aktuellt indikatorvärde för ett enskilt bestånd. Sedan summeras alla riskvärden till ett riskindex. Ju högre index desto högre risk för granbarkborreangrepp. Detta riskbedömningssystem är baserat på ett risksystem kallat PAS (predisposition assessment system) vilket tidigare använts för att utvärdera risken för granbarkborre på beståndsnivå (Netherer & Nopp-Mayr 2005, Netherer 2003, Nopp 2001).

### *Begränsningar och osäkerhet*

Indexet är baserat på både på kunskap/information från empiriska studier (samt modeller och observationer) och expertkunskap (d.v.s. förväntade effekter baserat på kunskap om granbarkborren

och ekologisk teori). Eftersom antalet empiriska studier är begränsat så är osäkerheten i indexet stor, framförallt p.g.a de variabler vars riskvärde är baserat på expertkunskap och ekologisk teori. Variabler vars riskvärde är baserat på expertkunskap/teori har därför givits en lägre viktning. Detsamma gäller för variabler där empiriska studier har visat varierande resultat.

En ytterligare begränsning är att indexet bara hänsyn till bestånds- och klimatvariabler, inte till barkborrepopulationstryck eller liknande variabler. Därför ska det genererade riskindexet tolkas med försiktighet och användas för att bedöma risken för ett bestånd givet dess beståndsegenskaper och geografiska plats. Ett pågående utbrott av granbarkborre kommer förstås att öka risken för angrepp, men detta vägs alltså inte in i indexet.

Indexet är bara användbart på en relativ skala, det säger ingenting om den absoluta risken eller vilka konsekvenser som kan förväntas.

## Tabellen

Tabell 1. Tabell med variablerna som antas påverka ett bestånds mottaglighet för granbarkborreangrepp och som därför ingår i risksindexet. Kolumnerna innehåller följande information (från vänster till höger); Variabelnivå = beskriver om variabeln tillhör ståndortsegenskaper (så som markfuktighet) eller trädskiktsegenskaper, kategori = beskriver vilken typ av variabel det är, variabel = de variabler som ingår i risk indexet, relativ viktning = variabelns viktningensvärde, d.v.s. dess vikt i relation till de andra variablerna, indikatorer = tröskelvärden eller värden som indikerar en förändring i risk, relativt värde = variabelns påverkan för ett visst indikatorvärde, motivering = anledning till att en variabel har inkluderats eller till valda indikatorvärden. Referenser = studier som underbygger motiveringarna.

Variabelnivå	Kategori	Variabel	Relativ viktning	Indikatorer	Relativt värde	Motivering	Referenser
<i>Område</i>							
	Klimat	Temperatur (Temperatursumma)	1.0	< 745 (< 1 generation) ≥745, < 870 (1 generation under gynnsamma förhållanden) ≥870, < 1370 (1 generation) ≥ 1370, < 1610 (2 generations under gynnsamma förhållanden) ≥ 1610 (2 generationer)	Initial funktion* 0.25 0.5 0.75 1	En viss temperatursumma måste uppnås för en generation. I solbelysta delar av ett bestånd uppnås temperatursumman tidigare I solbelysta delar av ett bestånd uppnås temperatursumman tidigare En viss temperatursumma måste uppnås för två generationer	Jönsson et al. 2009, Marini et al. 2012, Romashkin et al. 2020
	Markegenskaper	Markfuktighet	0.7	Torr	1		

				Frisk	1		Netherer et al. 2015, Matthews et al. 2018
				Frisk-fuktig	0.8	Torkstressade träd har visats vara mer mottagliga för attack. Studier har också visat att träd på medelfuktiga marker kan drabbas hårdare av torkstress under torka p.g.a. sämre anpassning	Netherer et al. 2019
				Fuktig	0.5		
				Blöt	0.2		
	Predisposition to	Storm damage	0.3	Yes	1	Stormfällda träd används som substrat för barkborrar, men vid små stormar hinns stormfällena ofta plockas ut innan granbarkborrarna hunnit anlända	
				No	0		
<i>Tree layer</i>	Species composition	Volume of spruce	1.0	> 200m <sup>3</sup> /ha	1		Kärvemo et al. 2016, Netherer & Nopp-Mayr 2005, Netherer 2003
				150-200	0.8		
				100-150	0.6	Granbarkborrar är specialister på gran, och mängden gran är därför avgörande faktor för risken för angrepp. Indikatorvärdena är baserade på empiriska data från Kärvemo et al. 2016.	
				50-100	0.4		
				25-50	0.2		
				>0 - 25	0.1		
				0	0		
		Volume of birch	0.2	> 40	-1		

			30-40	-0.8	Högre volym björk kan eventuellt ha en negativ effekt på granbarkborreangrepp. Detta av två anledningar; 1) mixade bestånd har högre motståndskraft mot torka, 2) volatiles från björk kan avskräcka granbarkborrar. Dock har varierande effekter av björkinblandning visats (jämför Kärverno 2014 och 2016) och därmed har variabeln viktats lågt.	Kärverno et al. 2014, Kärverno et al. 2016, Pardos et al. 2021
			20-30	-0.6		
			10-20	-0.4		
			> 0, 10	-0.2		
			0	0		
Struktur	Täthet (slutenhet)	0.4	≤ 0.4	0.4		
			> 0.4, ≤ 0.6	0.2	Öppna bestånd ger fler gynnsamma mikroklimat för barkborrar (mer solexponering) och därmed högre risk. Väldigt täta bestånd leder till lägre trädvitalitet och därmed högre risk. Medeltäta bestånd har lägre risk i jämförelse med både täta och öppna.	Nopp 2001
			> 0.6, ≤ 0.8	0.1		
			> 0.8	0.3		
	Diameter (gran)					

			$\geq 20$	Initial funktion*	Om diametern är för liten kan granen inte kolonieras av barkborrar.	Kärvemo et al. 2014
			<20 cm	Initial funktion*		
Skötsel	Åldersstruktur	0.5	Jämnårigt	1.0		
			Övervägande jämnårigt	0.9	Åldersskiktade bestånd borde ha en negativ effekt på granbarkborreangrepp på grund av det positiva sambandet mellan angrepp och trädålder	Ide föreslagen av Klapwijk et al. 2016
			Åldersskiktat	0.5		

## *Ingående beskrivning av alla variabler*

Nedan följer en beskrivning av alla variabler och hur de antas påverka risken för granbarkborreangrepp.

### Temperatursumma

Temperatur påverkar granbarkborrar direkt eftersom deras utveckling (från larv/ägg till vuxen) är temperaturberoende. För att färdigställa en hel livscykel krävs att en viss temperatursumma har uppnåtts. Om temperaturen är hög nog kan två generationer hinna utvecklas under en säsong. Ökade sommartemperaturer kan förväntas öka sannolikheten för mer än en generation av granbarkborrar (Jönsson et al. 2007, Jönsson et al. 2009, Stadelmann et al. 2013, Marini et al. 2017). Temperatursumma är tillgänglig i Heureka (klimatmodulen) och används i riskindexet. Tröskelvärden för generationsutveckling är satta baserat på Jönsson et al. 2009 och Romashkin et al. 2020.

### Markfuktighet

Markfuktigheten kan indirekt påverka barkborrarna genom effekter på trädens hälsa, främst vid torka. Det har antagits att torra marker skulle innebära högre risk p.g.a. högre vattenstress (Marini et al. 2012, Netherer et al. 2015) men nya rön har föreslagit att träd som växer på mer medelfuktiga marker kan vara med sårbara för torka (p.g.a. sämre anpassning) (Matthews et al. 2018, Netherer et al. 2019), och därmed skulle bestånd på frisk och frisk-fuktig mark löpa högre risk. Markfuktighetsklass är tillgänglig i Heureka och varje klass har fått ett riskvärde. Baserat på vad som är beskrivet ovan så har torra, friska och friska-fuktiga marker högre risk än fuktiga och blöta marker.

### Storm

Förekomsten av stormar ökar sannolikheten för barkborreangrepp eftersom att det skapar ett överskott av substrat (d.v.s. stormfällda träd) (se exempelvis Marini et al. 2013). Vid mindre stormar finns det oftast tillräckligt med tid att plocka ut stormfällda träd innan barkborreangrepp kan ske. Därför antas storm öka risken men variabeln har getts en relativt låg viktning med hänsyn till osäkerheten kring stormröjning. Stormförekomsten kan hämtas från Heurekas stormmodul och är implementerad i riskindexet som en binär variabel (storm ja =1, storm nej = 0). Om det har varit en storm de senaste fem åren så ökar risken.

### Volym gran

Volymen gran är en av de viktigaste faktorerna för granbarkborreangrepp och såldes risk (Stadelmann et al. 2013, Kärverno et al. 2016). Granbarkborrar är specialister på gran, och om det inte finns någon gran alls i ett bestånd blir risken således 0. Därefter ökar risken med ökande volym gran upp till ett tröskelvärde (Kärverno et al. 2016). Volymen gran finns tillgänglig för bestånd i Heureka. Om volymen är noll blir hela riskindexet noll (oavsett övriga variabler), detta är inkluderat som en "initial funktion" för riskindexet. Om volymen är större en noll så finns tröskelvärden vid vilka riskvärdet ökar.



## Volym björk

I riskindexet antas att förekomsten av björk minskar risken för barkborreangrepp. Detta är baserat på empiriska studier som visat att ökande volym björk minskar angreppen (Kärvemo et al. 2016) och på studier i labb som visat att kemiska signaler från björk kan hindra barkborrar från att lokalisera t.ex. infekterade träd (Zhang & Schlyter 2004). Dessutom visar flertalet studier att mixade bestånd är mer motståndskraftiga mot specialistskadegörare (Jactel & Borckerhoff 2007, Jactel et al. 2009) (baserat både på 'the resource concentration hypothesis' (Root 1973) och 'the enemies hypothesis' (Russell 1989)), och mot torka (Pardos et al. 2021). Emellertid så har studier också visat att björkförekomst kan öka risken (Kärvemo et al. 2014). Därmed ökar osäkerheten för denna variabel och den har därför viktats lågt.

## Beståndstäthet

Tätheten och krontäcket i ett bestånd kan påverka barkborrar via två olika processer: 1) ett öppnare bestånd släpper igenom mer solljus vilket leder till gynnsammare mikroklimat (d.v.s. högre temperatur) för barkborrar och högre risk för angrepp och 2) ett tätare bestånd påverkar trädens hälsa negativt och gör dem därmed mer mottagliga för angrepp (Nopp 2001, Netherer & Nopp-Mayr 2005). Därmed så blir öppna och täta bestånd mer sårbara än mellantäta bestånd. För beståndstäthet används måttet slutenhet, vilket beräknas med hjälp av grundyta och medelhöjd (se [https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/21\\_ris\\_fin.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/21_ris_fin.pdf), sid 145-146).

## Medeldiameter

Granbarkborrar koloniserar sällan granar under en viss minimidiameter. Om diametern är för liten så klarar sig inte larverna. Minimidiameter för risksindexet är satt till 20 cm (Kärvemo et al. 2014). Det finns inga studier på om risken förändras med ökande diameter och därför finns bara ett undre tröskelvärde. Detta värde är implementerat som en "initial funktion", om medeldiametern för beståndet är < 20cm är risken 0 (oavsett övriga variabler).

## Åldersstruktur

Likåldriga bestånd tros löpa högre risk än fleråldriga bestånd (föreslaget av Klapwijk et al. 2016), detta på grund av den positiva relationen mellan angreppsrisk och trädålder (Wermelinger 2004, Netherer 2003). Eftersom detta är baserat på ekologisk teori snarare än empiriska data är viktningen av denna variabel relativt låg.

## *Motivering till viktning av variablerna*

Viktningen är baserad på två faktorer: 1) variabelns påverkan på granbarkborreangrepp (alltså de viktigaste variablerna har högre viktning) och 2) variabelns osäkerhet, de variabler med mest empiriska data är viktade högre. Nedan följer en tabell med viktningens värden och en kort motivering.

Tabell 2. Tabell över motivering av viktningen av variablerna. Kolumnerna innehåller följande information (från vänster till höger): Variabel = variabelns namn, viktningsvärde = variabelns viktningsvärde i riskindexet, motivering = en kort motivering om varför variabeln fått en hög eller låg viktning.

Variabel	Viktningsvärde	Motivering
Volym gran	1	Hög påverkan och låg osäkerhet
Volym björk	0.2	Hög osäkerhet
Markfuktighet	0.7	Ganska hög påverkan
Temperatursumma	1	Hög påverkan och låg osäkerhet
Täthet	0.4	Ganska låg påverkan
Åldersstruktur	0.5	Relativt hög osäkerhet, baserat på ekologisk teori ej på empiriska data
Storm	0.3	Hög påverkan p.g.a. fallna träd = substrat, men vid små stormar hinner man oftast få undan de fallna träden, därmed är viktningen relativt låg
Torka	0.8	Hög påverkan
Diameter	- (om diametern är < 20cm så sätts RI = 0)	Hög påverkan och låg osäkerhet

### Beräkningsgången (beskrivning av beräkningen av risksindexet)

Nedan beskrivs beräkningsgången för riskindexet per bestånd.

#### Beräkningsgången i punktform

1. Volymen gran hämtas för det aktuella beståndet
2. Om volymen gran i är noll så blir riskindexet noll

$$\text{If } (Volym_{gran} = 0) \{RI = 0\}$$

3. Temperatursumman hämtas för det aktuella beståndet
4. Om temperatursumman är < 745 blir riskindexet noll

$$\text{If } (temperatursumma < 745) \{RI = 0\}$$

5. Om den grundtyevägda medeldiametern för gran är  $< 20$  cm blir riskindexet noll

$$\text{If (diameter} < 20) \{RI = 0\}$$

6. Om volymen gran är större än noll, temperatursumman  $\geq 745$  och medeldiametern  $> 20$  cm så hämtas eller beräknas indikatorvärdena för variablerna för det aktuella beståndet

- Volym gran
- Volym björk
- Markfuktighet
- Temperatursumma
- Täthet (slutenhet) – beräknas med hjälp av grundyta och medelhöjd (se RIS sid 145-146)
- Åldersstruktur
- Storm – från Stormmodul

7. Därefter beräknas poängtalet för respektive variabel. För varje variabel finns tabeller med indikatornivåer och motsvarande poängtal.

- a. **Volym gran:** risken antas öka med volym gran, volym i kubikmeter per hektar.

Indikator (m <sup>3</sup> /ha)	Poängtal
$\geq 200$	1
$\geq 150, < 200$	0.8
$\geq 100, < 150$	0.6
$\geq 50, < 100$	0.4
$\geq 25, < 50$	0.2
$> 0, < 25$	0.1

$$Poängtal_{volym\ gran} = Indikatornivå_{volym\ gran}$$

- b. **Volym björk:** risken antas minska med volym björk

Indikator	Poängtal
$\geq 40$	-1
$\geq 30, < 40$	-0.8
$\geq 20, < 30$	-0.6
$\geq 10, < 20$	-0.4
$> 0, < 10$	-0.2

0	0
---	---

$$Po\ddot{a}ngtal_{volym\ bj\ddot{o}rk} = Indikatorniv\ddot{a}_{volym\ bj\ddot{o}rk}$$

- c. **Markfuktighet:** antas p\ddot{a}verka risken, bl\ddot{o}t mark l\dd{a}gst risk, mellanfuktig till torr \dd{o}kar risken.

Indikator	Po\ddot{a}ngtal
Torr	1
Frisk	1
Frisk-fuktig	0.8
Fuktig	0.5
Bl\dd{o}t	0.2

$$Po\ddot{a}ngtal_{Markfuktighet} = Indikatorniv\ddot{a}_{Markfuktighet}$$

- d. **Temperatursumma\*:** Temperatur p\dd{a}verkar utveckling, h\dd{o}gre temperatur kan leda till fler generationer

Indikator	Po\ddot{a}ngtal
$\geq 745, < 870$	0.25
$\geq 870, < 1370$	0.5
$\geq 1370, < 1610$	0.75
$\geq 1610$	1

$$Po\ddot{a}ngtal_{Temperatursumma} = Indikatorniv\ddot{a}_{Temperatursumma}$$

\*Temperatursumman f\dd{o}r\dd{a}ndras i olika klimatscenarier och d\dd{a}rmed blir risken h\dd{o}gre i ett framtida varmare klimat.

- e. **T\dd{a}thet:** slutenhet (ber\dd{a}kna enligt RIS  
([https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/21\\_ris\\_fin.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/21_ris_fin.pdf)) – sid 145-146)

Indikator	Po\ddot{a}ngtal
$\leq 0.4$	0.4
$> 0.4, \leq 0.6$	0.2

> 0.6, ≤ 0.8	0.1
> 0.8	0.3

$$Poängtal_{Täthet} = Indikatornivå_{Täthet}$$

f. **Åldersstruktur:** Likåldriga bestånd har högre risk

Indikator	Poängtal
Likåldrig	1
Tämligen likåldrig	0.9
Fleråldrig	0.6

$$Poängtal_{Åldersstruktur} = Indikatornivå_{Åldersstruktur}$$

g. Storm: om det varit storm de senaste 5 åren så ökar risken (data hämtas från stormmodulen)

Indikator	Poängtal
Ja	1
Nej	0

$$Poängtal_{Storm} = Indikatornivå_{Storm}$$

Därefter multipliceras poängtalet för varje enskild variabel med viktningsvärdet för variabeln

Variabel	Viktningsvärde
Volym gran	1
Volym björk	0.2
Markfuktighet	0.7
Temperatursumma	1
Täthet	0.4
Åldersstruktur	0.5
Storm	0.3

$$Värde_{variabel\ i} = Viktningsvärde_{variabel\ i} \times Poängtal_{variabel\ i}$$

Värdena för variablerna summeras till ett riskhetsindex (RI)

$$\sum_{i=1}^{\text{antal variabler}} Värde_{variabel\ i}$$

## Referenslista

- Jactel H, Nicoll BC, Branco M, Gonzalez-Olabarria JR, Grodzki W, Långström B, Moreira F, Netherer S, Orazio C, Piou D, Santos H, Schelhaas MJ, Tojic K, Vodde F. 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annual Review of Forest Sciences* 66:701.
- Jactel H, Brockerhoff EG. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* 10:835-848.
- Jönsson AM, Harding S, Barring L, Ravn HP. 2007. Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 146:70-81.
- Jönsson AM, Appelberg G, Harding S, Barring L 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology* 15:486-499.
- Klapwijk MJ, Bylund H, Schroeder M, Björkman C. 2016. Forest management and natural biocontrol of insect pests. *Forestry* 0:1-10.
- Kärvemo S, Van Boeckel TP, Gilbert M, Gregoire J-C, Schroeder M. 2014. Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle – Importance of forest susceptibility and bark beetle pressure. *Forest Ecology and Management* 318:158-166.
- Kärvemo S, Johansson V, Schreder M, Ranius T. 2016. Local colonization-extinction dynamics of a tree-killing bark beetle during a large-scale outbreak. *Ecosphere* 7:e01257.
- Marini L, Ayres MP, Battisti A, Faccoli M. 2012. Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climate Change*: 10.1007/s10584-012-0463-z.
- Marini L, Lindelöw Å, Jönsson AM, Wulff S, Schroeder LM. 2013. Population dynamics of the spruce bark beetle: a long-term study. *Oikos* 122:1768-1776.
- Marini L, Ökland B, Jönsson AM, Bentz B, Carroll A, Forster B, Gregoire J-C, Hurling R, Nageleisen LM, Netherer S, Ravn HP, Weed A, Schroeder M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography* 40:1426-1435.
- Matthews B, Netherer S, Katzensteiner K, Pennerstorfer J, Blackwell E, Henschke P, Hietz P, Rosner S, Jansson P-E, Schume H, Schopf A. 2018. Transpiration deficits increase host susceptibility to bark beetle attack: experimental observations and practical outcomes for *Ips typographus* hazard assessment. *Agricultural and Forest Meteorology* 263:69-89.

- Netherer S. 2003. Modelling of bark beetle development and of site- and stand-related predisposition to *Ips typographus* (L.) (Coleoptera; Scolytidae) A contribution to risk assessment. PhD thesis.
- Netherer S, Nopp-Mayr U. 2005. Predisposition assessment system (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains n an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management* 207:99-107.
- Netherer S, Matthews B, Katzensteiner K, Blackwell E, Henschke P, Hietz P, Pennerstorfer J, Rosner S, Kikuta S, Schume H, Schopf A. 2015. Do water-limiting conditions predispose Norway spruce to bark beetle attack? *New Phytologist* 205:1128-1141.
- Netherer S, Panassiti B, Pennerstorfer J, Matthews B. 2019. Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Frontiers in Forests and Global Change* 2:39.
- Nopp U, Netherer S, Eckmuller O, Fuhrer E. 2001. Parameters for the Assessment of the Predisposition of Spruce-Dominated Forests to Various Disturbing Factors with Special Regard to the 8-toothed Spruce Bark Beetle (*Ips typographus* L.). In: *Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management at the Forest Management Unit Level*. Eds: Franc A, Laroussine O, Karjalainen T. EFI Proceedings No. 38, 2001.
- Pardos M, del Rio M, Pretzsch H, Jactel H, Bielak K, Bravo F, Brazaitis G, Defosse E, Engel M, Godvod K, Jacobs K, Jansone L, Jansons A, Morin X, Nothdurft A, Oreti L, Ponette Q, Pach M, Riofrio M, Ruiz-Peinado R, Tomao A, Uhl E, Calama R. 2021. The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe. *Forest Ecology and Management* 481: 118687.
- Romashkin I, Neuvonen S, Tikkanen O-P. 2020. Northward shift in temperature sum isoclines may favour *Ips typographus* outbreaks in European Russia. *Agricultural and Forest Entomology* 22:238-249.
- Root RB. 1973. Organizaion of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collatds (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43:95-124.
- Russell EP. 1989. Enemies hypothesis: A review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitiods. *Environmental Entomology* 18:590-599.
- Stadelmann G, Bugmann H, Wermelinger B, Meier F, Bigler C. 2013. A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestations by the European spruce bark beetle. *Ecography* 36:1208-1217.
- Wermelinger B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202: 67-82.
- Zhang Q-H, Schlyter F. 2004. Olfactory recognition and behavioural avoidance of angiosperm nonhost volatiles by conifer-inhabiting bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 6:1-19.