

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Botanika



**Bc. Hana Veljačiková**

Vliv mikroklimatických podmínek na opylení *Vaccinium myrtillus*

Microclimatic conditions as determinant of *Vaccinium myrtillus* pollination

Diplomová práce

Školitel: RNDr. Zdeněk Janovský, Ph.D.

Praha, 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a informační zdroje. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 11. 8. 2022

Bc. Hana Veljačiková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému školiteli Zdeňkovi Janovskému za veškerou jeho pomoc a důsledné odborné vedení. Děkuji Elišce a Matějovi za pomoc při sběru dat a hlavně za zpestření některých dnů strávených na vřesovišti. Děkuji také všem, kteří mi byli oporou na cestě za poznáním borůvek. Díky za všechny držené palce a hlavně za pomoc ve finiši.

## Abstrakt

Klimatická změna ovlivňuje fenologii a rozšíření rostlin i živočichů a způsobuje nesoulad v interakcích opylovačů a kvetoucích rostlin. Výrazně se tyto změny projevují v extrémních podmínkách, jaké panují na horách nebo na začátku vegetační sezóny. Borůvka *Vaccinium myrtillus* je významný druh temperátu a boreálu, obývající, a často i dominující v takových prostředích, kde se klimatická změna již projevuje. V našich zeměpisných šířkách kvete v dubnu a květnu na úplném začátku vegetační sezóny. Bez návštěvy opylovače se z květu borůvky téměř nikdy nevytvoří plod. Díky zkoumání úspěšnosti dozrávání plodů lze pozorovat, jestli byl květ opylen, a tedy i jaká je kvalita opylení v daných podmínkách.

Pomocí pokusů na horském vřesovišti v CHKO Brdy jsem zjišťovala, jak se liší kvalita opylení v různých mikroklimatických podmínkách. Porovnávala jsem úspěšnost vytvoření plodů borůvky z označených květů a množství semen v plodech. Největší úspěšnost vytvoření plodů byla na konci období kvetení, kdy jsem zaznamenala vyšší počet opylovačů. Oproti tomu borůvky kvetly intenzivněji na začátku období kvetení. Přesto vzniklo z květů označených v té době méně plodů. Množství opylovačů bylo vyšší v pozdní fázi kvetení, na začátku jich bylo výrazně méně přestože borůvky kvetly intenzivněji. Pozorovala jsem korelaci mezi počtem čmeláků a dalších opylovačů a počtem semen v plodech. Vyšší počet semen byl v pozdějším období kvetení oproti časnému. Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště a pozorování počtu jejich semen ukázal signifikantní rozdíly mezi lokalitami na vřesovišti.

Experiment ukázal, že existuje vztah mezi množstvím opylovačů v prostředí a úspěšností vytvoření plodů borůvky a počtu semen v plodech. Jedním z vysvětlení je projevující se nesoulad v interakci borůvek a čmeláků, který vznikl v důsledku klimatické změny. Výrazně vyšší množství květů v brzkém jaře nebylo úspěšně opyleno, protože hmyz se objevil až na konci období kvetení.

**Klíčová slova:** *Vaccinium myrtillus*, polinační ekologie, limitace pylem, vřesoviště, interakce rostlin a opylovačů

## **Abstract**

Climate change affects phenology and distribution of plants and animals and causes a mismatch in plant-pollinator interactions. These changes are clearly manifested in extreme environments such as mountains or the beginning of the growing season. *Vaccinium myrtillus* is an important temperate and boreal species, inhabiting and often dominating such environments where changes due to global warming are already appearing. Flowers start to appear in April and May at the very beginning of the growing season. Without pollination, flower will almost never form a fruit. When comparing fruit set, it is possible to observe whether the flower has been pollinated and thus the quality of pollination in given conditions.

Using experiments on the mountain heath in the Brdy Protected Land Area, I found out how the quality of pollination differs in different microclimatic conditions. I compared fruit set of chosen flowers and seed set in their fruits. Flowers blooming at the end of the flowering season had the greatest success in fruit formation, when I recorded a greater number of pollinators in the experimental environment. *V. myrtillus* bloomed more intensively at the beginning of the flowering season. Even so, fewer fruits were produced from flowers at that time. Bumblebees abundance was correlated to fruit and seed set. Seed set was higher in later flowering season compared to the early one. Comparison of seed set from berries collected in the area showed significant difference between different localities.

Relationship between the number of pollinators in the environment and seed set and fruit set was confirmed. Emerging mismatch of plant-pollinator interactions due to climate change an explanation for that. Significantly higher number of flowers in early spring were not successfully pollinated because the insects did not appear until the end of the flowering period.

**Key words:** *Vaccinium myrtillus*, pollination ecology, pollen limitation, heathland, plant pollinator interactions

## Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Hlavní otázky diplomové práce .....	4
2	Metodika .....	5
2.1	Lokalita.....	5
2.2	Ekologie a rozšíření modelového druhu .....	6
2.3	Sběr dat.....	7
2.3.1	Úspěšnost vytvoření plodů a semínek.....	7
2.3.2	Počty květů okolo experimentálních ploch .....	10
2.3.3	Natáčení opylovačů na kamery .....	10
2.3.4	Mikroklimatická data.....	11
2.3.5	Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště .....	11
2.4	Statistická analýza .....	13
2.4.1	Úspěšnost vytvoření plodů a semen .....	13
2.4.2	Příprava proměnných vstupujících do analýzy .....	13
2.4.3	Čmeláci a opylovači.....	14
2.4.4	Mikroklimatické podmínky .....	14
2.4.5	Počet květů okolo experimentálních ploch .....	14
2.4.6	Úspěšnost vytvoření plodů.....	15
2.4.7	Úspěšnost vytvoření semen v plodech .....	15
2.4.8	Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště .....	16
3	Výsledky .....	17
3.1	Mikroklimatické podmínky .....	17
3.1.1	Denní průběh teploty .....	20
3.2	Čmeláci a opylovači .....	22
3.3	Počet květů okolo .....	24
3.4	Úspěšnost vytvoření plodů a semen .....	25
3.4.1	Plody.....	25
3.4.2	Semena v plodech .....	28
3.5	Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště .....	30
3.5.1	Výsledky kalibračního pokusu.....	30
3.5.2	Úspěšnost vytvoření semen na celé ploše vřesoviště .....	31
4	Diskuze.....	33
4.1	Úspěšnost vytvoření semen a plodů .....	33
4.2	Úspěšnost vytvoření plodů .....	33
4.3	Úspěšnost vytvoření semen a limitace pylem.....	35
4.4	Úspěšnost vytvoření semen na celé ploše vřesoviště.....	37
4.5	Intenzita kvetení .....	38
4.6	Mikroklimatické podmínky .....	38
4.7	Vliv opylovačů na reprodukční úspěšnost .....	39
4.8	Vliv prostředí na reprodukční úspěšnost .....	39
4.9	Přínos pro populační a polinační ekologii .....	40
5	Závěr .....	41
6	Bibliografie .....	42
7	Přílohy.....	46

## 1 Úvod

Klimatická změna ovlivňuje ekosystémy celého světa, protože mění fenologii rostlin i živočichů, mimo jiné načasování kvetení a aktivity opylovačů, což má důsledky pro fungování celých společenstev (Walther *et al.*, 2002; Parmesan and Yohe, 2003; Parmesan, 2006; Bartomeus *et al.*, 2011). V horách a na dalších extrémních stanovištích, kde některé klimatické faktory limitují přežívání a aktivitu organismů, je možné pozorovat důsledky klimatické změny pro opylování již nyní (Memmott *et al.*, 2007; Hegland *et al.*, 2009; Moquet *et al.*, 2017). Rostliny, které kvetou jen v krátkém úseku vegetační sezóny, brzy na jaře, jsou náchylnější k nedostatku opylovačů, protože opylování musí proběhnout právě jen v tomto krátkém čase. Negativní důsledky klimatické změny byly již pozorovány, jak u rostlin, tak u opylujícího hmyzu (Memmott *et al.*, 2007; Hegland *et al.*, 2009; Straka and Starzomski, 2014; Forrest, 2015). Změnu v interakcích mezi druhy, která přichází spolu s klimatickou změnou, je třeba zkoumat a porozumět jí, abychom mohli předpovídat, jak se fenologie rostlinných i živočišných druhů, a podoba společenstev v budoucnu změní. To bude zvláště důležité pro interakce mezi rostlinami a jejich opylovači, na které je navázána řada dalších druhů a interakcí. Úspěšné opylování je důležité pro zachování pestrosti společenstev a udržení jejich rovnováhy (Lurgi *et al.*, 2012; Millon *et al.*, 2014).

Interakce mezi opylovači a rostlinami jsou nedílnou součástí terestrických ekosystémů, podporují druhovou i genetickou diverzitu společenstev a umožňují koexistenci druhů (Costanza *et al.*, 1997; Kearns, Inouye and Waser, 1998). Pro rostliny znamená opylování přenos pohlavních buněk a šíření genetické informace. Mnoho druhů rostlin je limitováno dostupností pylu při vytváření semen a plodů. Jsou to především rostliny, které nemají schopnost samoopylení (*self-pollination*) nebo z nějakého cizosprašnost (*cross-pollination*) upřednostňují. Kvalita opylování v tom případě ovlivňuje přímo nejen populace rostlin, ale nepřímo také další trofické úrovně ekosystémů na nich závislé (Burd, 1994; Larson, 2000; Ashman *et al.*, 2004).

Nedostatečné opylení se projevuje nedostatkem pylu nebo jeho nedostatečnou genetickou rozdílností, a tedy nízkou kvalitou pylu. Nedostatek pylu, jeho malá dostupnost v prostředí, a tedy i na květech, je způsobena nízkou aktivitou nebo úplným nedostatkem opylovačů na stanovišti (Knight *et al.*, 2005). Pokud je pyl donesený na květy příliš příbuzný s danou

rostlinou, dochází u některých druhů ke snížení reprodukční úspěšnosti, z důvodu nízké genetické variability. V takovém případě k opylení buď vůbec nedojde, nebo je embryo poškozené a tedy neschopné vyklíčit (Ashman *et al.*, 2004; Knight *et al.*, 2005). Pokud je pyl donesený z okolních ramet stejné genety nebo je zdrojová populace příliš malá, dojde u druhů citlivých na inbreeding ke snížení reprodukční úspěšnosti pomocí semen.

Kvalita i množství přeneseného pylu závisí na druhu opylovače. Rozhodující je jeho morfologie a fenologie, tedy především, jak dobře se na jeho těle přenáší pyl, kolik času stráví na květech, vzdálenosti přeletů mezi květy a věrnost druhu opylované rostliny (Ne'eman *et al.*, 2006). Nízkou kvalitou opylení jsou ohrožená zvláště extrémní stanoviště, horské ekosystémy nebo lesní prostředí s ochuzeným spektrem opylovačů. Množství kvetoucích rostlin a jejich fenologie ovlivňuje skrz nektar a pyl dostupnost potravních zdrojů pro opylovače (Memmott *et al.*, 2007; Hegland *et al.*, 2009; Moquet *et al.*, 2017). Snížené množství květů a rozdílení načasování jejich kvetení má vliv na přežívání populací opylovačů, a tak i dlouhodobé následky na samotnou kvalitu opylování v dalších letech (Hegland *et al.*, 2009; Forrest, 2015).

Interakce mezi rostlinami a opylovači je citlivá na správné načasování. Pro hmyz i rostliny je výhodné, aby se období kvetení a vrchol aktivity opylovačů co nejvíce překrýval (Knight, 2003; Ashman *et al.*, 2004; Knight *et al.*, 2005). Počasí a mikroklimatické podmínky prostředí vymezují prostor pro aktivitu opylovačů (Corbet, 1990; Peat and Goulson, 2005; Vicens, 2020). Některé studie pozorují vztah mezi zvýšenou teplotou a kvalitou (Bartomeus *et al.*, 2011; Rafferty and Ives, 2011). Další popisují, že oteplení způsobuje dřívější zahájení jak kvetení, tak aktivity opylovačů (Fitter and Fitter, 2002; Bartomeus *et al.*, 2011). Vztah mezi teplotou a intenzitou opylování může být pozitivní lineární (Bartomeus *et al.*, 2011; Rafferty and Ives, 2011), ale časté jsou i případy, kdy byl netriviální a ne vždy pozitivní (Forrest *et al.*, 2011; Kudo & Ida, 2013; Mallinger *et al.*, 2016; Pyke *et al.*, 2016; Weaver & Mallinger, 2022).

Problém nastává ve chvíli, kdy je počátek aktivity opylovačů určen jinými faktory než kvetením rostlin. Na hmyz přezimující v zemi působí teplota půdy, naopak opylovači, kteří přezimují v korunách stromů jsou citliví spíše na teplotu vzduchu (Forrest, 2015). Rostliny jsou ovlivněny jak teplotou, tak prodlužující se fotoperiodou (Mizunaga & Kudo, 2017; Pato & Obeso, 2012; Selås, 2000). V temperátních a boreálních ekosystémech, a také v horách je

pro rostliny i hmyz přezimující v zemi určující, kdy roztaje sníh, a to skrze přístup ke světlu, možnost vnímání fotoperiody a ohřátí půdy (Mizunaga and Kudo, 2017).

Výskyt opylovačů v prostoru i v čase se v důsledku globálního oteplování mění a to zvláště v horských ekosystémech nebo v severních oblastech (Hickling *et al.*, 2006; Kelly and Goulden, 2008; Grytnes *et al.*, 2014). Nesoulad mezi aktivitou opylovačů a kvetením rostlin může mít dalekosáhlé důsledky. Zvláště kritické je riziko nedostatku potravních zdrojů pro přezimující královny na začátku sezóny brzy z jara, které pak ovlivní velikost populace opylovačů v letních měsících (Heinrich, 1975; Price and Waser, 1979; Hegland *et al.*, 2009; Kudo, Hirao and Kawai, 2011).

Brusnice borůvka, *Vaccinium myrtillus* L. (dále též jen borůvka), je výtečným modelovým druhem pro zkoumání ekologie opylování časně kvetoucích druhů rostlin v horských a severských ekosystémech. V horách a v lesích je borůvka často prvním a jediným zdrojem potravy pro opylovače na jaře. Plody jsou důležitým potravním zdrojem pro mnoho obratlovců i bezobratlých a mají nezanedbatelný hospodářský význam (Jacquemart, 1993; Selås, 2000; Stenset *et al.*, 2016). Borůvka rovněž v místě růstu ovlivňuje chemické složení půdy a dostupnost živin, tvoří rozsáhlé porosty a často úplně dominuje (Ritchie, 1956; Nilsson and Wardle, 2005).

Přestože kvete na začátku sezóny, tedy v potenciálně extrémních podmínkách pro opylení, bez návštěvy opylovače se z květu téměř nikdy nevytvoří plod, a proto úspěšnost tvorby plodů odráží intenzitu opylení (Guillaume and Jacquemart, 1999; Nuortila *et al.*, 2006). Druh je náchylný k inbrední depresi a nemá téměř žádné bariéry proti samoopylení. Pokud je přinesený pyl geneticky příliš příbuzný, například pokud pochází z blízkého okolí, tedy často ramet stejné genety, vytvoří sice borůvka plod avšak se sníženým počtem semen (Jacquemart, 1997; Nuortila *et al.*, 2006; Albert, Raspé and Jacquemart, 2008). Zranitelná produkce semen však může být kompenzována výrazným klonálním růstem, který i v takových případech umožňuje zachování a růst populace.

Borůvku opylují především čmeláci, ale složení opylovačů se mění v závislosti na nadmořské výšce a oblasti (Jacquemart, 1993; Moquet *et al.*, 2017). Čmeláci, samotářské včely a pestřenky jsou považováni za nejefektivnější opylovače borůvek (Jacquemart, 1993, Moquet *et al.*, 2017). Jejich aktivita v horských a boreálních ekosystémech je ale často omezována silným větrem, nízkými teplotami a deštěm (Totland, 1994; Bergman, Molau and

Holmgren, 1996). Počasí daného roku tak výrazně určuje, kolik dní vegetační sezóny jsou opylovači aktivní (Aizen, 2001; Knight, 2003).

Ve své diplomové práci se zabývám pozorováním vlivu mikroklimatických podmínek na opylování borůvky na horském vřesovišti. Pozorovala jsem výskyt a fenologii opylovačů a srovnávala jsem mikroklimatické podmínky jednotlivých prostředí, kde borůvka roste, abych je vztáhla k limitaci borůvky dostupností pylu a úspěšnosti tvorby plodů. Zjišťovala jsem, jestli se liší kvalita opylení v časně fázi kvetení oproti vrcholné až pozdní fázi kvetení, a porovnávala jsem úspěšnost opylení mezi lesem a svahy horského vřesoviště s různou expozicí. Pomocí sčítání semen v plodech jsem pozorovala, ve kterém období kvetení a na které lokalitě kvetení je borůvka náchylná k inbrední depresi, což jsem dále ověřovala skrz hmotnost plodů sebraných na celé ploše vřesoviště. Experiment rozšiřuje poznání o polinační ekologii druhu *Vaccinium myrtillus* a přináší i obecné poznatky ze zatím nepřilíš prozkoumané oblasti vztahu mikroklimatu a opylování.

### **1.1 Hlavní otázky diplomové práce**

1) Liší se jednotlivá stanoviště s výskytem borůvky svými mikroklimatickými podmínkami?

Liší se tato stanoviště kvalitou opylení borůvky?

2) Jak se projevuje načasování kvetení na reprodukční úspěšnosti? Jak se mění dostupnost opylovačů během jara?

3) Jsou výsledky modelu z pokusu na vybraných typových stanovištích zobecnitelné v rámci celé plochy vřesoviště?

## 2 Metodika

Data jsem sbírala během vegetační sezóny let 2019 a 2020. V prvním roce experimentu jsem provedla průzkum lokality, vybrala a vyznačila jsem v terénu experimentální plochy, provedla sběr dat prvního roku a data, podle kterých jsem nastavila design hlavního experimentu ve druhém roce. Následující rok jsem sběr dat rozšířila o další experimentální plochy, zopakovala jsem sběr borůvek z prvního roku a sebrala jsem jich větší množství. Přidala jsem pozorování dalších prediktorů, zejména mikroklimatická data a natáčení výskytu opylovačů na kamery. Ve druhém roce jsem rozšířila sběr borůvek na celou plochu vřesoviště, abych porovнала hodnoty pro celé území.

### 2.1 Lokalita

Pozorování a sběr dat jsem provedla na vřesovišti v CHKO Brdy v okolí vrcholu kopce Houpák (792 m n. m., 49.7253425N, 13.8679236E, WGS 1984) v oblasti Jordán, dopadové plochy střel původního vojenského prostoru. Houpák je součástí hlavního hřebene Brd, kde nejvyšším vrcholem je blízký Tok s 865 m n. m. CHKO Brdy zde byla založena v roce 2016 po zrušení vojenského újezdu. Jedním z předmětů ochrany jsou horská vřesoviště unikátního rozsahu, která vznikla díky dlouholeté vojenské činnosti, odlesnění, střelbě a pravidelným požárům.

Vřesoviště na kopci Houpák je jedno z nejrozsáhlejších v CHKO Brdy. Od 90. let minulého století byla vojenská činnost postupně omezována a po zřízení CHKO nahrazena managementem s cílem uchránit vzniklé vřesoviště před zarůstáním. Vegetace vřesoviště odpovídá sekundárnímu horskému vřesovišti (*Genisto germanicae-Callunetum*), převažují zde druhy *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Avenella Flexuosa*, *Vaccinium vitis-idaea* (vlastní pozorování, Chytrý et al., 2010). Okolní les je především smrková kultura (*Picea abies*) s příměsí buků (*Fagus sylvatica*), bříz (*Betula pendula*) a jeřábů (*Sorbus aucuparia*). Vegetace vřesoviště není homogenní, ale tvoří mozaiku s ostrovy, kde dominuje vřes nebo borůvka, brusinka či trávy. Místy je půdní horizont úplně stržený a odkrývá štěrk, kameny a menší skalní výchozy, tu a tam zůstaly po dopadu střel kamenité krátery.

Kopec Houpák jsem vybrala pro jeho unikátní geomorfologii. Na jižní, severní a západní straně jsou prudké svahy pokryté vřesovištěm a sbíhají se téměř rovnoměrně k vrcholu, tvořícímu jakousi homoli. Z jihovýchodní strany je svah mírný a směrem na jih pokračuje

v pozvolný hřeben. V této části a dále na východ je svah pokryt lesem, kde se rovněž vyskytuje borůvka. Očekávala jsem různé mikroklimatické podmínky na jižním, severním a západním svahu kopce a porovnávala jsem odlišné prostředí vřesoviště a lesa.

## 2.2 Ekologie a rozšíření modelového druhu

Borůvka je nízký keřík z čeledi vřesovcovitých (*Ericaceae*) rostoucí v lesním podrostu nebo na otevřených plochách vřesovišť, okrajů rašelinišť, lesních pasek a v horách nad hranicí lesa. Objevuje se převážně na kyselejších oligotrofních půdách. Při dostatku vlhkosti a malém zastínění dosahuje nejvyšší produktivity. Je rozšířena na severní polokouli v Evropě a Asii. Má drobné světle zelené listy, které na podzim opadají. Květy jsou oboupohlavní. Zůstávají otevřené asi jeden týden, mají tvar zvonu s úzkým hrdlem, bílou až růžovou barvu a jsou bohaté na pyl a nektar (Nestby *et al.*, 2011). Pro uvolnění pylu z prašníků je nutné rozechvět květ pod určitou frekvencí, což dokážou jen některé druhy opylovačů z řádu Hymenoptera (Jacquemart, 1993). Nejčastějšími opylovači jsou čmeláci různých druhů (50 až 84 %), kteří na květech sbírají nektar i pyl. Většina z nich jsou přezimující královny (Jacquemart, 1993; Nestby *et al.*, 2011; Moquet *et al.*, 2015). Přelet čmeláků z jednoho květu na druhý je obvykle kratší než 40 cm (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Albert, Raspé and Jacquemart, 2008). Na květech byly dále v menší míře pozorovány včely medonosné (*Apis mellifera*) a pestřenky (Syrphidae). Jedinci *Formica* spp. tvoří až 30 % pozorovaných opylovačů, nejsou ale srovnatelně efektivní, protože květy často ničí, aby získali nektar (Jacquemart, 1993; Nestby *et al.*, 2011).

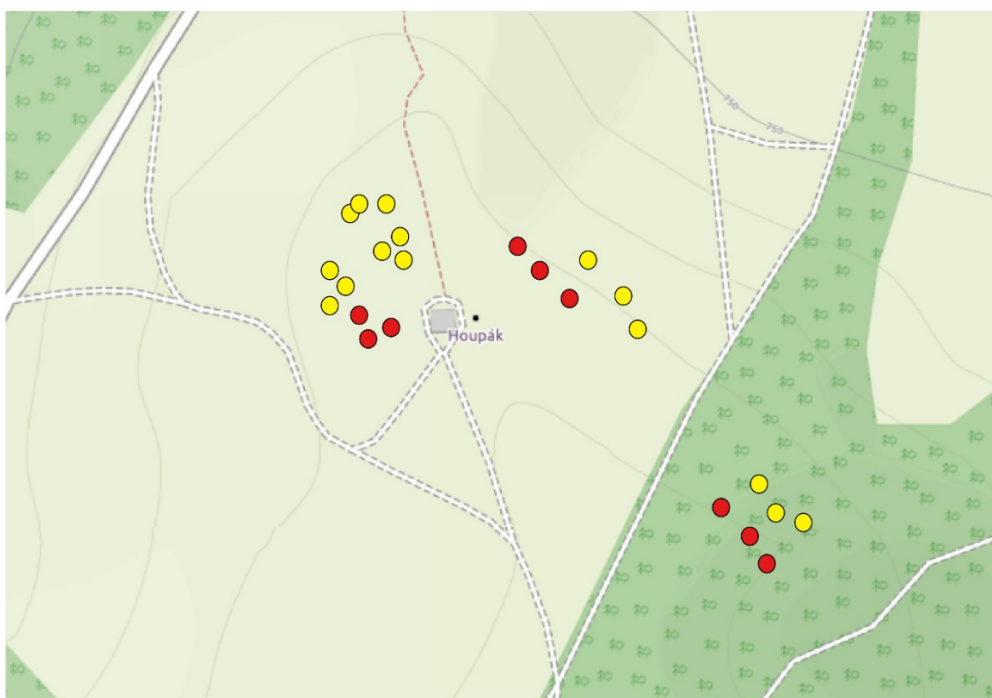
Kromě generativního rozmnožování se borůvka intenzivně rozšiřuje také vegetativně, pomocí kořenových oddenků, které v blízkosti mateřské rostliny vytvářejí další ramety. Porost tak může být tvořen několika málo klony (Hegland *et al.*, 2009; Nestby *et al.*, 2011). Důsledkem výrazné klonality je častý přesun pylu mezi květy stejné genety (Albert, Raspé and Jacquemart, 2008). V takovém případě může být reprodukční úspěšnost borůvky limitována kvalitou pylu. Při opylení z příbuzných okolních keříků dojde ke snížení počtu semen v plodech, protože druh je citlivý na inbreeding. Při umělém doopylení nepřibuzným pylem vzniklo v plodech výrazně více semen než při opylení vlastním pylem. Navíc bylo při opylení vlastním pylem v plodech více abortovaných embryí (Guillaume and Jacquemart, 1999; Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Albert, Raspé and Jacquemart, 2008).

Borůvka nemá žádný mechanismus omezující samoopylení a samooplození. Při zamezení přístupu opylovačů vzniklo méně než 1 % plodů (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Albert, Raspé and Jacquemart, 2008). Byl pozorovaný stejný počet vyvinutých plodů, pokud byl květ opylen příbuzným a nepříbuzným pylem (Raspé, Guillaume and Jacquemart, 2004; Nuortila *et al.*, 2006). Váha plodu pozitivně koreluje s celkovou váhou a počtem semen (Ranwala and Naylor, 2004).

## 2.3 Sběr dat

### 2.3.1 Úspěšnost vytvoření plodů a semenek

Na vřesovišti kopce Houpák jsem vybrala a vyznačila čtvercové experimentální plochy velké 1 m<sup>2</sup> (dále také čtverce). Plocha všech čtverců byla souvisle porostlá borůvčím. V prvním roce jsem vyznačila devět ploch, tři na severním svahu, tři na jižním a tři v lese na východní straně kopce. Ve druhém roce jsem přidala další plochy, dohromady bylo 24 ploch, šest na jižním, severním a západním svahu a šest v lese (obr. 1, obr. 2).



**Obrázek 1** - Rozmístění experimentálních ploch na vřesovišti a v lese. Červené body značí čtverce vyznačené v roce 2019, žluté body čtverce vyznačené v roce 2020.



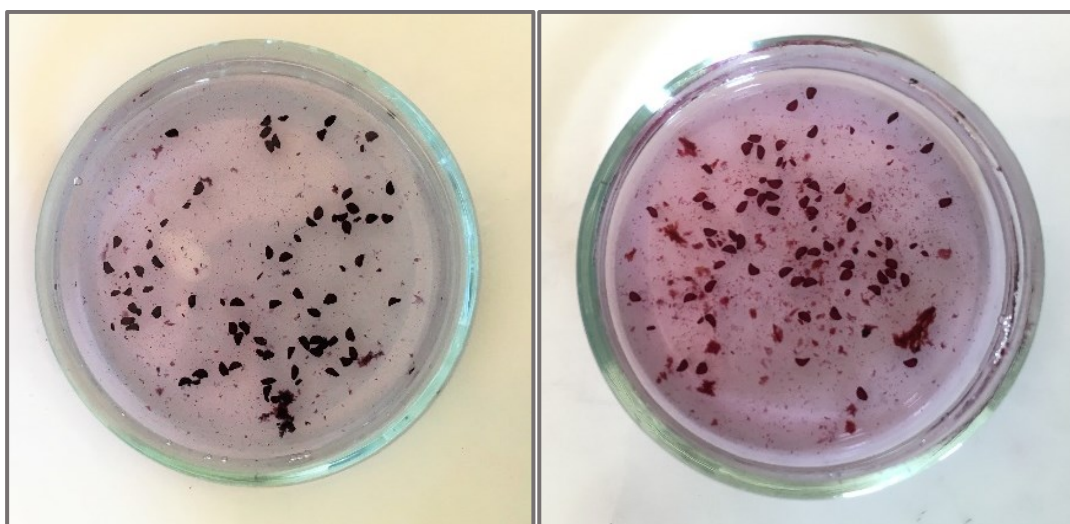
**Obrázek 2** - Snímky lokalit pořízené v okolí čtverců. Od shora sever, západ, jih, les.

Na experimentálních plochách jsem v době kvetení označila vždy 20 květů na začátku období kvetení (konec dubna) a 20 květů asi o tři týdny později na konci období kvetení. Květy jsem značila pověšením céčka (obr. 3), na větvičku, kde byl pouze jeden květ. V době, kdy plody začaly dozrávat jsem je z označených větviček sebrala. Kde plod chyběl, jsem zaznamenala neúspěšné vytvoření plodu. Céčka se barevně lišila pro časnou a pozdní fázi kvetení. Značení květů a sběr plodů proběhl na všech čtvercích v prvním i druhém roce pokusu. Ve druhém roce byl v pozdní fázi kvetení na některých místech nedostatek květů pro označení všech 20. V některých případech jsem označila květy mimo čtverec a někde jsem počet značených květů snížila a počet jsem o to zvýšila na jiné ploše na stejné lokalitě (podrobněji v příloze 1 a 2).



**Obrázek 3** - Fotografie značení květů borůvek céčky.

Sebrané plody jsem následně rozkrojila a sečetla jsem počet jejich semen. Semena jsou dostatečně velká a jsou okem rozlišitelná (obr. 4).



**Obrázek 4** – Dvě fotografie semínek borůvky ve vodě. Na snímcích jsou semínka vždy z jednoho plodu.

### 2.3.2 Počty květů okolo experimentálních ploch

Abych určila, jak se liší hojnost květů a intenzita kvetení borůvek v časně a pozdní fázi kvetení, počítala jsem květy okolo experimentálních ploch. Čtverec z dřevěných latěk, velikosti 50×50 cm, jsem náhodně umístila v okolí do dvou metrů od experimentální plochy, vždy na místa, kde byl souvislý porost borůvčí. V oblasti určené čtvercem jsem spočítala všechny otevřené květy borůvek. Kolem každé experimentální plochy jsem takto sečetla květy po čtyřech čtvercích jak v časně, tak v pozdní fázi kvetení. Květy jsem sčítala pouze ve druhém roce pokusu.

### 2.3.3 Natáčení opylovačů na kamery

Pro porovnání aktivity opylovačů v časně a pozdní fázi kvetení a na jednotlivých plochách s předpokládanými mikroklimatickými odlišnostmi jsem natáčela květy borůvek na kamery po dobu 4 dnů v každé fázi kvetení roku 2020. K dispozici jsem měla 8 kamer a ty jsem vždy brzy ráno rozmístila k vybraným experimentálním plochám a namířila jsem je na květy. Záběry neobsáhly celý čtverec, ale jen jeho část asi 25×25 cm, aby byly dostatečně detailní a bylo možné opylovače určit. Vybírala jsem v rámci čtverce místo s co největší koncentrací květů. Na konci května nebyly v některých čtvercích žádné květy. V takovém případě jsem natáčela na keříku poblíž, který ještě květy měl. Kamery byly nastavené na časosběrný mód, jeden záběr za sekundu. Každý den bylo možné natáčet různě dlouhou dobu, obvykle 6-8 hodin. Délka záznamů mezi záznamy z jednotlivých ploch se v jednom dni nelišila o víc než hodinu.

Ze záběrů jsem zaznamenala počet čmeláků, počet jiných opylovačů a zdali se na květech vyskytovali mravenci. Čmeláci byli na záběrech snadno identifikovatelní, u much a samotářských včel byla bližší identifikace mnohdy náročná či přímo nemožná. Ze 193 zaznamenaných opylovačů bylo 83 % čmeláků, zbytek byli ostatní opylovači, z nichž jeden byl motýl (*Lepidoptera*).

Pro model úspěšnosti vytvoření plodů a semen jsem z výskytů vytvořila geometrický průměr výskytu čmeláků pro každou lokalitu v časném a pozdním období. Před průměrováním jsem z datového souboru vyloučila první a poslední den měření v časně fázi kvetení, protože v nich nebyl stejný počet kamer, na které se natáčelo. Protože data byla výrazně pozitivně šikmá, použila jsem geometrický průměr.

### 2.3.4 Mikroklimatická data

Pro zjištění rozdílů mezi lokalitami jsem na experimentálních plochách měřila rychlost větru, množství dopadajícího světla, teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Sběr mikroklimatických dat proběhl ve druhém roce spolu s natáčením opylovačů.

Rychlost větru na experimentálních plochách jsem měřila pomocí dvou anemometrů, které měří maximální rychlost větru a průměrnou rychlost větru za určité období. Anemometry jsem rozmístila do blízkosti experimentálních ploch vždy brzy ráno spolu s kamerami a odečítala jsem z nich přibližně každou hodinu průměrné a maximální hodnoty.

Použila dva luxmetry typu Minikin RTHi/QTHi (výrobce EMS Brno), které měří relativní vlhkost vzduchu v procentech, teplotu ve °C a množství dopadajícího světla v  $\mu\text{mol/s/m}^2$ . Ty jsem rozmístila vždy spolu s anemometry. Dále jsem použila 4 luxmetry Minikin RTi/QTi od stejného výrobce, které měřily teplotu ve °C a množství dopadajícího světla ve  $\mu\text{mol/s/m}^2$ . Ty jsem rozmístila k dalším plochám spolu s dalšími kamerami. Při měření byly luxmetry umístěny přibližně půl metru nad povrchem.

### 2.3.5 Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště

Pro srovnání úspěšnosti vytvoření semen na celé ploše vřesoviště jsem nejdříve určila vztah mezi počtem semen v plodu a jeho hmotností v suchém stavu. V roce 2019 jsem v rámci vřesoviště sesbírala náhodně 150 plodů. V laboratoři jsem je sušila v sušárně 13 hodin při 70°C. Mezi sběrem a vážením byly plody uchovány zmrazené. Na váze s přesností tisíciny gramu jsem vysušené plody jednotlivě zvažila, uložila je po jedné do zkumavek a přidala jsem vodu. Z rozmočených plodů jsem extrahovala semínka a sečetla je. Ze získaných dat jsem sestavila kalibrační křivku vztahu mezi počtem semen v plodu a jeho hmotností. Na základě síly tohoto vztahu jsem určila, že pro správné určení úspěšnosti vytvoření semen bude potřeba sebrat 20 plodů na každém bodě vřesoviště a odhad počtu semen v nich zprůměrovat pro každý bod pro dosažení spolehlivého odhadu.

V červnu roku 2020 jsem na 110 bodech sesbírala vždy 20 plodů. Body byly určeny podle vlastností terénu tak, aby odpovídaly rozsahu podmínek (expozice, sklon) v experimentálních plochách z první části pokusu. Pro určení vlastností terénu jsem použila digitální model terénu ZABAGED® - Výškopis - DMR 5G (získáno z [geoportal.cuzk.cz](http://geoportal.cuzk.cz)). V rámci takto vymezeného

území jsem následně náhodně generovala GPS souřadnice. Vzniklo 110 bodů s GPS souřadnicemi, 50 odpovídalo severním plochám ležícím v mírném svahu, 10 odpovídalo severním plochám ležícím v prudkém svahu, 17 odpovídalo jižním plochám, 33 odpovídalo západním plochám, což odráží četnost těchto podmínek v rámci vřesoviště (obr. 5).



**Obrázek 5** – Rozmístění 110 bodů v rámci celého vřesoviště.

Sebrané plody jsem cca 6 měsíců uchovala zmražené. Následně jsem v laboratoři plody 13 hodin sušila s maximální teplotou 70 °C a potom jsem je po jednom zvažila na váze s přesností deseti tisíciny gramu. Celkově jsem sebrala a zvažila 2216 plodů a výsledky jsem převedla na odhad počtu semen a průměrem jsem spočítala hodnoty pro odhad počtu semen pro borůvky rostoucí na jednotlivých bodech na vřesovišti. Na některých místech jsem sebrala maximálně o tři plody víc. Dvě pozorování byla ztracena při skladování vzorků.

## 2.4 Statistická analýza

Všechna data jsem analyzovala v prostředí R verze 4.1.0 ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)).

### 2.4.1 Úspěšnost vytvoření plodů a semen

Hledala jsem souvislost mezi úspěšností vytvoření plodů a úspěšností vytvoření semen v závislosti na období kvetení borůvky a lokalitě jejího růstu, kde jsem očekávala rozdílné mikroklimatické podmínky a rozdílné množství opylovačů.

### 2.4.2 Příprava proměnných vstupujících do analýzy

Pro modelování úspěšnosti vytvořených plodů a semen jsem používala jako prediktory data o mikroklimatických podmínkách, data o množství květů okolo čtverců a data o množství opylovačů.

Data o množství květů okolo čtverců jsem připravila tak, že jsem ze čtyř sečtených ploch okolo jednoho čtverce vytvořila průměr květů pro každý čtverec v dané fázi kvetení. Vztah mezi aritmetickým průměrem květů a geometrickým průměrem květů byl lineární se sklonem 1,08, a bylo tedy dostačující použít aritmetický průměr. Vytvořila jsem také lineární model srovnávající počet květů okolo čtverců. Pro potřeby modelu jsem závislou proměnnou *počet květů* logaritmičtě transformovala. Model byl  $\text{počet květů} \sim \text{lokalita} * \text{ fáze kvetení}$ . Předpoklady modelu jsem ověřila pomocí diagnostických grafů.

Data o větru jsem analyzovala tak, že jsem z naměřených maximálních hodnot rychlosti větru (v metrech za sekundu) a průměrných hodnot rychlosti větru vytvořila vážený průměr pro každý den měření na dané lokalitě. Hodnota, podle které jsem průměrovala, byla délka měřeného úseku.

Z dat o množství světla, teplotě a vlhkosti z luxmetrů jsem vytvořila prediktor, který obsahoval 5 třicetiminutových úseků pro každý den (10.30-11.00, 11.30-12.00, 12.30-13.00, 13.30-14.00, 14.30-15.00), na kterých jsem provedla průměr daných veličin. Vzniklo tak 5 průměrů pro každou lokalitu pro daný den, které znázorňují mikroklimatické podmínky osvit, teploty a vlhkosti pro dané lokality.

Data o výskytu opylovačů nebylo třeba před použitím v modelech upravit.

### 2.4.3 Čmeláci a opylovači

Pro zjištění závislosti výskytu čmeláků jsem vytvořila kvasipoissonovský lineární model (GLM, více o jeho použití v kapitole 2.4.6) se dvěma prediktory: fáze kvetení (časná, pozdní) a lokalita (jih, sever, západ, les). Model byl zadán takto: *počet čmeláků ~ fáze kvetení \* lokalita*. Pro zjišťování závislosti výskytu všech opylovačů, tedy součtu čmeláků a ostatních pozorovaných opylovačů, jsem vytvořila model se stejnými prediktory, tedy: *součet všech opylovačů ~ fáze kvetení \* lokalita*.

### 2.4.4 Mikroklimatické podmínky

Pro zjištění průměrné teploty během dne jsem vytvořila lineární model závislosti teploty na fázi kvetení (časná, pozdní) a lokalitě (jih, sever, západ, les). Model byl zadán jako *průměrná teplota ~ fáze kvetení \* lokalita*. Proměnné nebylo potřeba nijak transformovat. Předpoklady modelu jsem ověřila pomocí diagnostických grafů.

Stejným způsobem jsem vytvořila model pro zjištění závislosti množství dopadajícího světla a relativní vlhkosti vzduchu. Model pro světlo byl: *množství světla ~ fáze kvetení \* lokalita*. Model pro relativní vlhkost vzduchu byl: *vlhkost ~ fáze kvetení \* lokalita*. Proměnné jsem netransformovala.

Rozdíly mezi průměrnou rychlostí větru jsem zjišťovala pomocí lineárního modelu, který byl zadáno takto: *průměrná rychlost větru ~ fáze kvetení \* lokalita*. Ověření normálního rozdělení závislé proměnné ukázalo, že použití lineárního modelu není vhodné. Ve výsledcích uvádím proto pouze krabicový graf průměrné rychlosti větru v závislosti na lokalitě a fázi kvetení.

### 2.4.5 Počet květů okolo experimentálních ploch

Závislost počtu květů okolo experimentálních ploch na fázi kvetení a lokalitě jsem zjišťovala pomocí lineárního modelu. Model byl zadán takto: *počet květů okolo ~ fáze kvetení \* lokalita*. Závislou proměnnou počet květů jsem logaritmicky transformovala.

### 2.4.6 Úspěšnost vytvoření plodů

Do modelu pro analýzu úspěšnosti vytvoření plodů jsem použila data sebraná v obou letech. Použila jsem zobecněný lineární model (dále jen GLM) binomické rodiny s kanonickou spojovací funkcí logit ( $y = \log(x/(1-x))$ ). V případech, kdy residuální deviance výrazně převyšovala residuální stupeň volnosti (podíl vyšší než 1,1), tedy když byl detekován nadměrný rozptyl (*overdispersion*), jsem místo binomického modelu použila kvasibinomický a místo  $\chi^2$ -testového kritéria F-testové kritérium (Crawley, 2007). Model měl tři prediktory: rok sběru dat (první a druhý), fáze kvetení (časná, pozdní) a lokalita (jih, sever, les). Pro jeho závislou proměnnou jsem vytvořila veličinu úspěšnost, která je podílem počtu vytvořených plodů a označených dohledaných květů ve sledovaném čtverci. Před vytvořením modelu jsem z dat odstranila měření ze dvou čtverců v časně fázi kvetení z prvního roku, ve kterých se mi v období sběru plodů nepovedlo najít dost značek. Model měl podobu  $úspěšnost \sim rok * fáze kvetení * lokalita$ .

Závislost úspěšnosti vytvoření plodů na množství opylovačů a počtu květů okolo jsem zjišťovala pouze pro druhý rok, protože v prvním roce jsem jmenované prediktory nesledovala. Použila jsem kvasibinomický lineární model (GLM), který měl tuto podobu:  $úspěšnost vytvoření plodů \sim průměr čmeláků * průměr ostatních opylovačů * průměr květů$ . Všechny proměnné jsem logaritmicky transformovala.

Tento model jsem srovnala s výsledky modelu pro druhý rok, který sledoval úspěšnost vytvoření plodů v závislosti na fázi kvetení a lokalitě. Kvasibinomický GLM byl zadán takto:  $úspěšnost vytvoření plodů \sim fáze kvetení * lokalita$ . Pro srovnání jsem použila Likelihood-ratio test.

### 2.4.7 Úspěšnost vytvoření semen v plodech

Pro analýzu úspěšnosti vytvoření plodů jsem použila data sebraná v obou letech. Zjišťovala jsem závislost počtu semen v plodech, které byly před tím sebrány pro analýzu úspěšnosti vytvoření plodů. Lineární model měl tři prediktory: rok sběru dat (první a druhý), fázi kvetení (časná, pozdní) a lokalitu (sever, jih, západ, les). Počet semen jsem logaritmicky transformovala. Počet plodů, ze kterých byla semena sečtena, jsem v modelu použila jako váhu. Model byl zadán takto:  $počet semen \sim rok + lokalita + odběr * 2, váha = plody$ .

Pro analýzu úspěšnosti vytvoření plodů na množství pozorovaných čmeláků, ostatních opylovačů a květů okolo experimentálních ploch jsem použila data pouze ze druhého roku, protože v prvním roce nebyly jmenované prediktory sledovány. Model měl dva prediktory: počet květů okolo a průměr počtu čmeláků. Proměnnou průměr počtu ostatních opylovačů jsem nepoužila, protože se v modelech úspěšnosti tvorby plodů efekt čmeláků ukázal výrazně významnější. Všechny tři proměnné jsem logaritmičtě transformovala a počty plodů, ze kterých byla semena sečtena, jsem použila jako váhu. Lineární model byl zadán takto: *počet semen ~ průměr opylovačů \* počet květů, váha = plody*. Předpoklady obou modelů jsem ověřila pomocí diagnostických grafů.

#### 2.4.8 Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště

Pro model kalibračního pokusu, kde jsem hledala závislost počtu semen v plodu na jeho hmotnosti v suchém stavu, jsem použila lineární model. Nejlépe vztah vysvětlit lineární model se dvěma prediktory hmotnosti semen s kvadratickým a kubickým členem a logaritmičtě transformovanou závislou proměnnou. První prediktor hmotnosti semen byl zlogaritmován. Model byl zadán takto: *počet semen ~ hmotnost semen \* hmotnost semen*. Předpoklady modelu jsem ověřila pomocí diagnostických grafů.

Kalibraci jsem zpětně ověřila tak, že jsem porovnála rozptyl počtu semen v plodech v kalibračním datovém souboru 150 měření, s odhadovanými počty semen v plodech v hlavním datovém souboru. Rozdíl mezi rozptylem obou datových souborů nebyl významný.

Použila jsem zobecněnou metodu nejmenších čtverců (GLS), abych ověřila korelaci dat v prostoru, a abych mohla použít vhodnou korelační prostorovou strukturu. Porovnála jsem korelační struktury sférickou, exponenciální, gaussovskou a kruhovou a AIC a BIC jejich modelů. Nejvhodnější model se ukázal ten bez prostorové korelační struktury.

Lineární model s prediktorem lokalita (jih, sever, západ) a byl zadán takto: *predikovaný počet semen v plodu \* lokalita*. Pomocí diagnostických grafů jsem ověřila předpoklady modelu. Proměnné nebylo potřeba transformovat.

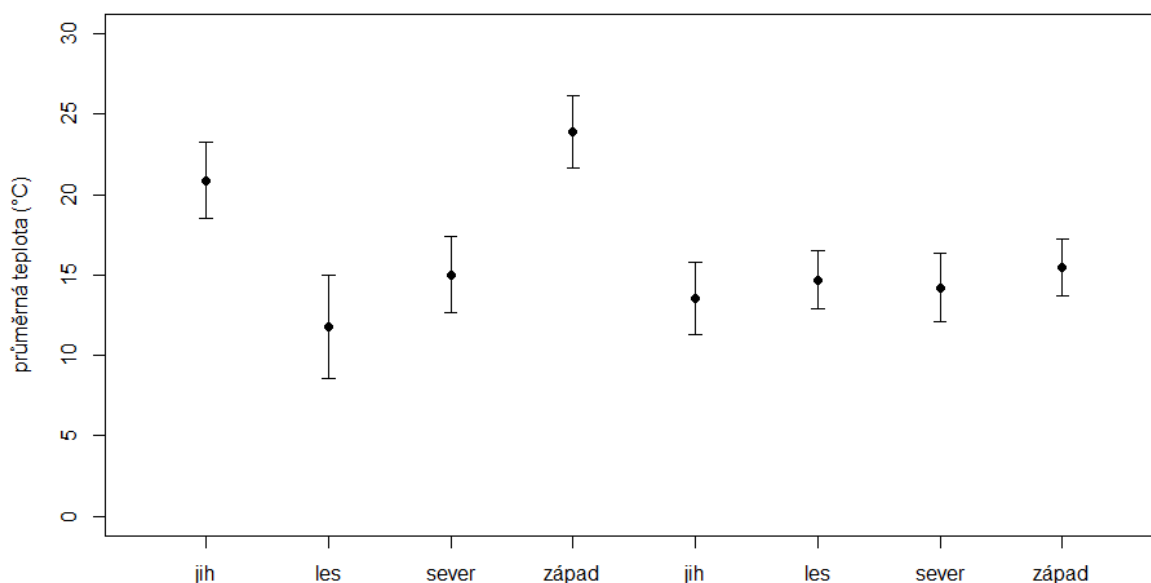
### 3 Výsledky

#### 3.1 Mikroklimatické podmínky

Lineární model závislosti teploty ukázal signifikantní význam fáze kvetení, lokality i jejich interakce a vysvětlil 50 % variability (tabulka 1, graf 1).

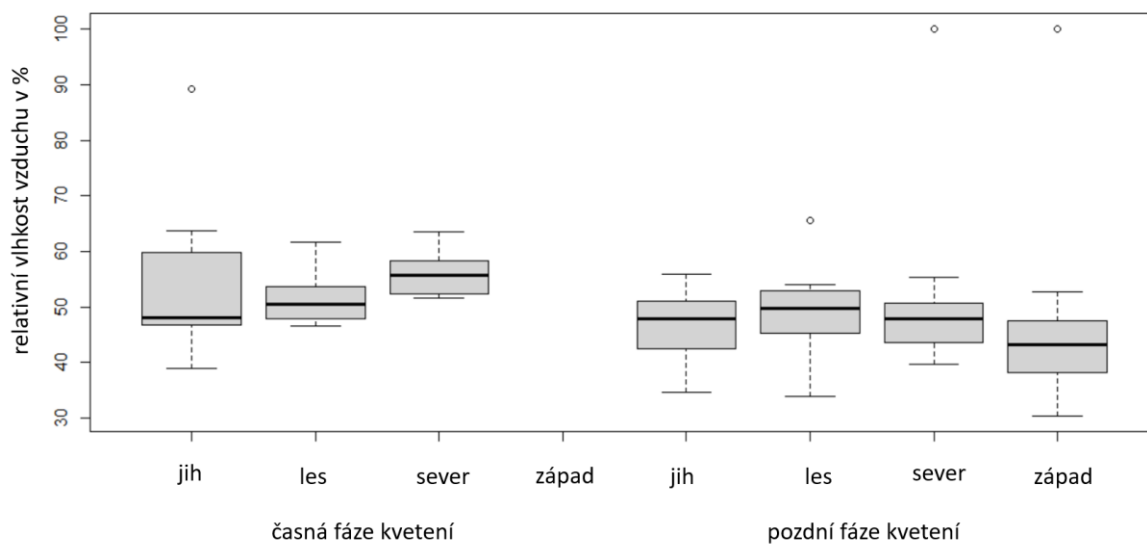
**Tabulka 1** - Výsledky lineárního modelu závislosti teploty na fázi kvetení, lokalitě a jejich interakci. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů.

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
fáze	1	355.22	0.17	<0.001
lokality	3	295.28	0.14	<0.001
Fáze × lokality	3	401.39	0.19	<0.001
Reziduály	77	984.16	0.48	



**Graf 1** – Předpovídání hodnoty průměrných teplot v závislosti na fázi kvetení a lokalitě na základě modelu uvedeného v tabulce 1. Chybové úsečky označují 95% konfidenční intervaly průměrů pro jednotlivé kombinace fáze a lokality (obdobně také pro grafy dále).

Lineární model závislosti relativní vlhkosti vzduchu neukázal signifikantní význam fáze kvetení, lokality ani jejich interakce. Krabicový graf ukazuje relativní vlhkost vzduchu ve vztahu s fází kvetení a lokalitou (graf 2).

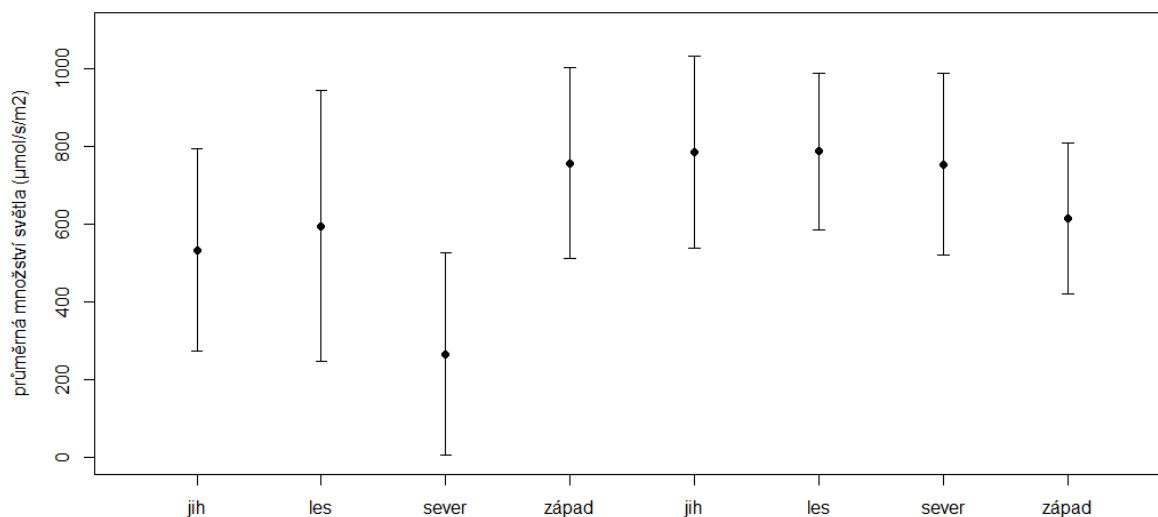


**Graf 2** – Krabicový graf relativní vlhkosti vzduchu v procentech na lokalitách jih, les, sever a západ v časně a pozdní fázi kvetení. Prázdná hodnota značí, že v lokalitě západ neproběhlo měření v časně fázi kvetení.

Lineární model závislosti množství dopadajícího světla ukázal signifikantní význam fáze kvetení. Rozdíl mezi lokalitami se nepotvrdil a interakce fáze kvetení a lokality vyšla marginálně signifikantní. Celkově model vysvětlil 1,3 % variability (tabulka 2, graf 3).

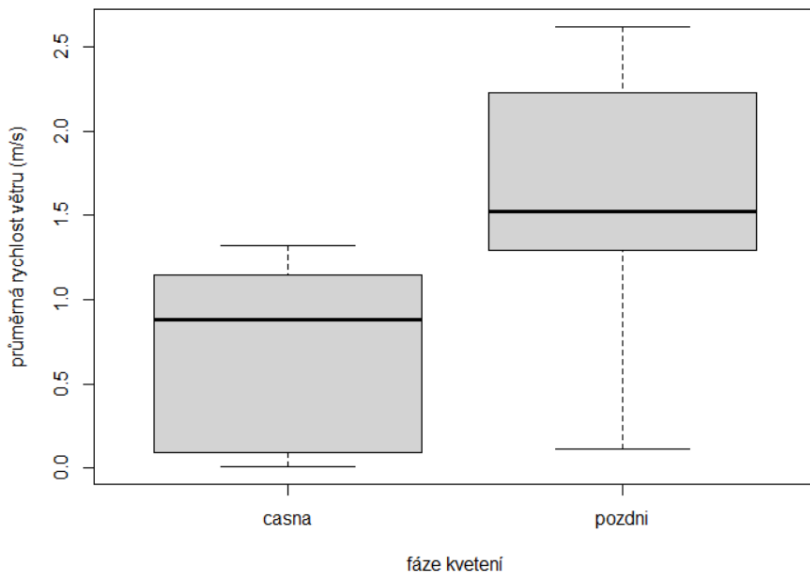
**Tabulka 2** - Výsledky lineárního modelu závislosti množství světla na fázi kvetení, lokalitě a jejich interakci. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
fáze	1	355.22	0.05	0.0324
lokalita	3	295.28	×	n.s.
Fáze × lokalita	3	401.39	0.08	0.0681
Reziduály	77	984.16	84.3	



**Graf 3** – Předpovídané hodnoty průměrného množství dopadajícího světla v závislosti na fázi kvetení a lokalitě na základě modelu uvedeného v tabulce 2. První čtyři hodnoty předpovídají časnou fázi kvetení, zbytek pozdní fázi kvetení.

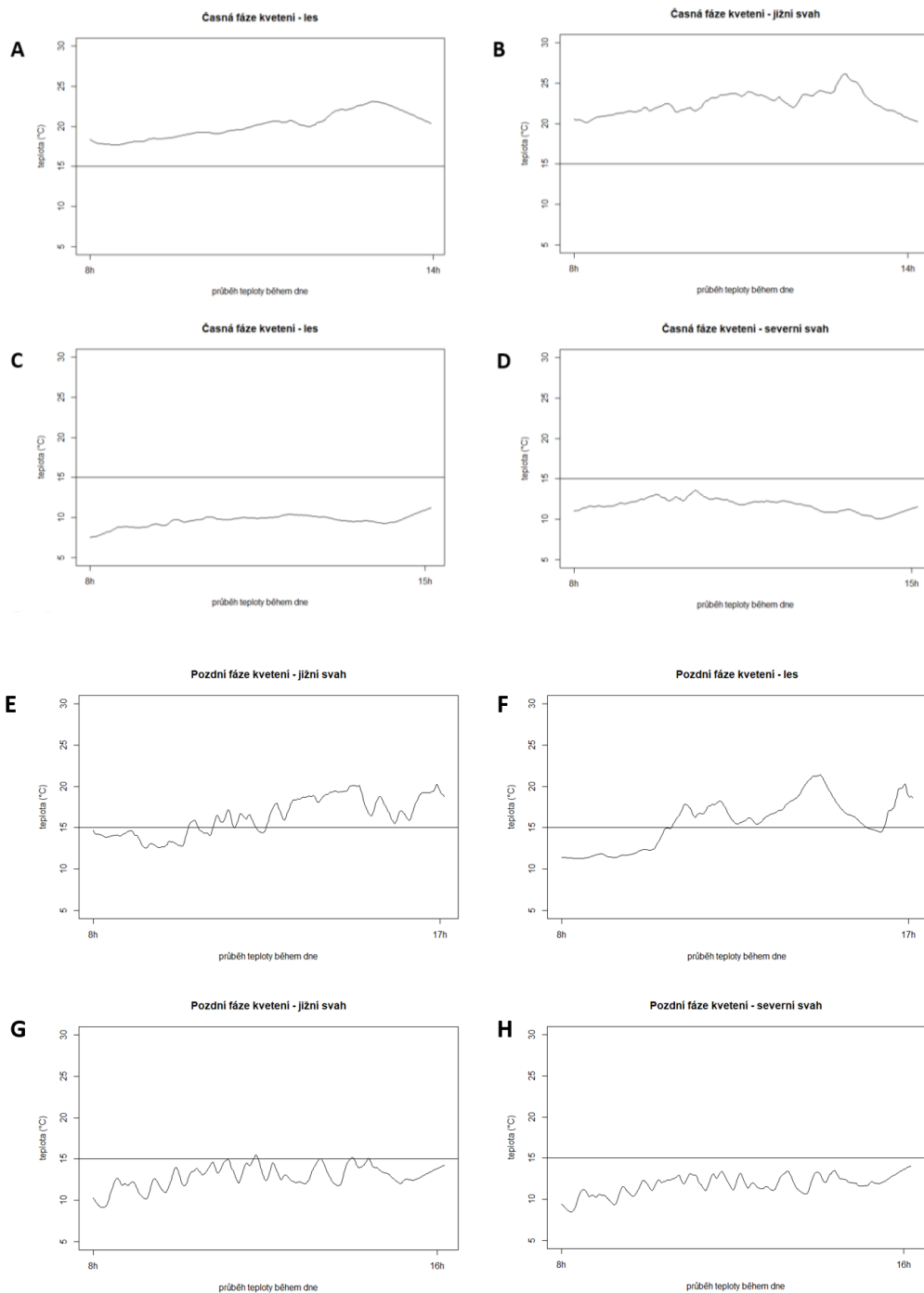
Graf 4 ukazuje srovnání průměrné rychlosti větru naměřené na všech lokalitách v časně a pozdní fázi kvetení.



**Graf 4** – Krabicový graf zobrazující průměrnou rychlost větru v závislosti na časně a pozdní fázi kvetení. casna = časná fáze kvetení; pozdni = pozdní fáze kvetení

### 3.1.1 Denní průběh teploty

Průběhy denní teploty vzduchu, které byly naměřeny při natáčení opylovačů na kamery v časně a pozdní fázi kvetení. Pro jeden den jsou vybrány vždy dvě lokality, na kterých měřily luxmetry typu Minikin RTHi/QTHi (graf 5).



**Graf 5** - Průběhy denních teplot vzduchu ve °C. Na ose x je zaznačen čas začátku a konce měření v hodinách. Čára představuje 15 °C. A = časná fáze kvetení v lese; B = časná fáze kvetení na jižním svahu; C = časná fáze kvetení v lese; D = časná fáze kvetení na severním svahu; E = pozdní fáze kvetení na jižním svahu; F = pozdní fáze kvetení v lese; G = pozdní fáze kvetení na jižním svahu; H = pozdní fáze kvetení na severním svahu. A, B = první den; C, D = druhý den; E, F = třetí den; G, H = čtvrtý den.

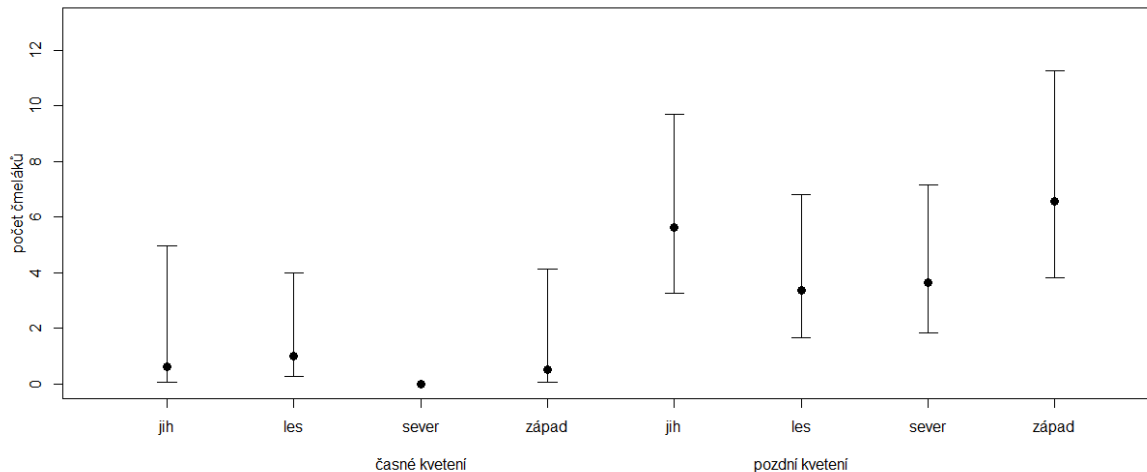
### 3.2 Čmeláci a opylovači

Minimální počet jak pozorovaných čmeláků, tak pozorovaných ostatních opylovačů byl nula. Maximálně jsem na kamery zachytila v jednom dni na jedné ploše (pozdní fáze kvetení, jižní svah) opylování 21 čmeláky. Maximum ostatních opylovačů bylo čtyři, a to v pozdní fázi kvetení v lese.

Množství zaznamenaných čmeláků rostlo s fází kvetení, ale nezávisle na lokalitě (tabulka 3, graf 6). V pozdní fázi kvetení jsem pozorovala vyšší počet čmeláků oproti časné fázi kvetení.

**Tabulka 3** - Výsledky kvasipoisovského GLM počet čmeláků ~ fáze kvetení \* lokalita. Nulová deviance modelu je 278,6 při 55 stupních volnosti. Reziduální deviance je 152,7 při 48 stupních volnosti. Disperzní parametr  $\Phi = 3.35$ . Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikanční výsledky

Prediktor	Df	Množství vysvětlené deviance	P-hodnota
Fáze kvetení	1	104.650	< 0.001
Lokalita	3	11.022	n.s.
Fáze × lokalita	3	10.203	n.s.

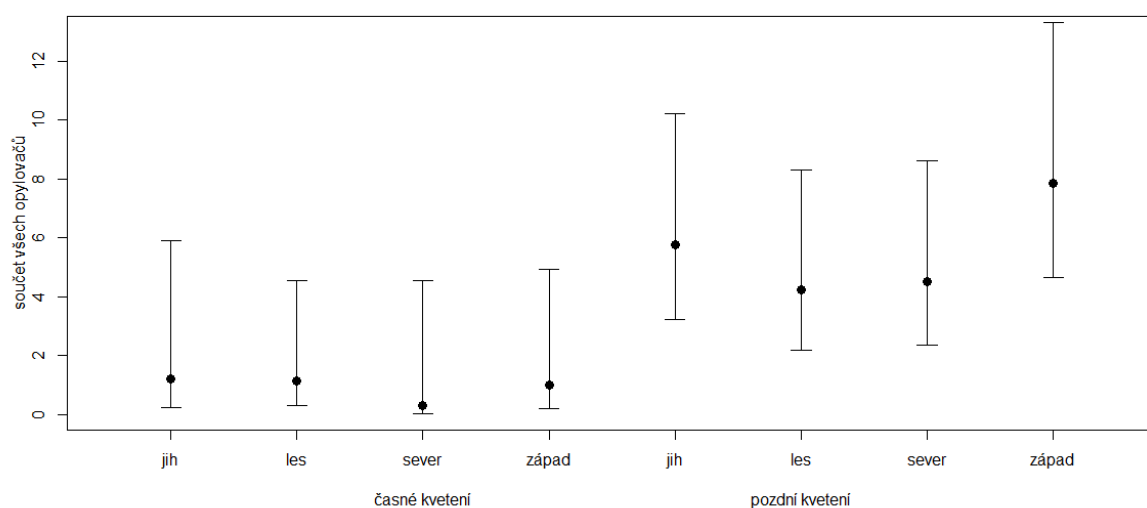


**Graf 6** - Předpovídané hodnoty počtu čmeláků v závislosti na fázi kvetení a lokalitě na základě modelu uvedeného v tabulce 3.

V lineárním modelu součtu všech opylovačů rostla jejich pozorovaná četnost s fází kvetení, ale nezávisela na lokalitě a jejich interakci (tabulka 4, graf 7).

**Tabulka 4** – Výsledky kvasipoisonovského GLM závislosti součtu ostatních opylovačů na fázi kvetení a lokalitě. Nulová deviance modelu je 297.5 na 55 stupňů volnosti. Reziduální deviance je 181.4 při 48 stupních volnosti. Disperzní parametr  $\Phi = 3.82$ . Df značí počet stupňů volnosti prediktorů.  
n.s. = nesignifikantní výsledky.

Prediktor	Df	Množství vysvětlené deviance	P-hodnota
Fáze kvetení	1	100.788	< 0.001
Lokalita	3	10.913	n.s.
Fáze × lokalita	3	4.366	n.s.



**Graf 7** - Predikovaný součet výskytu čmeláků a ostatních opylovačů v závislosti na fázi kvetení a lokalitě na základě modelu uvedeného v tabulce 4.

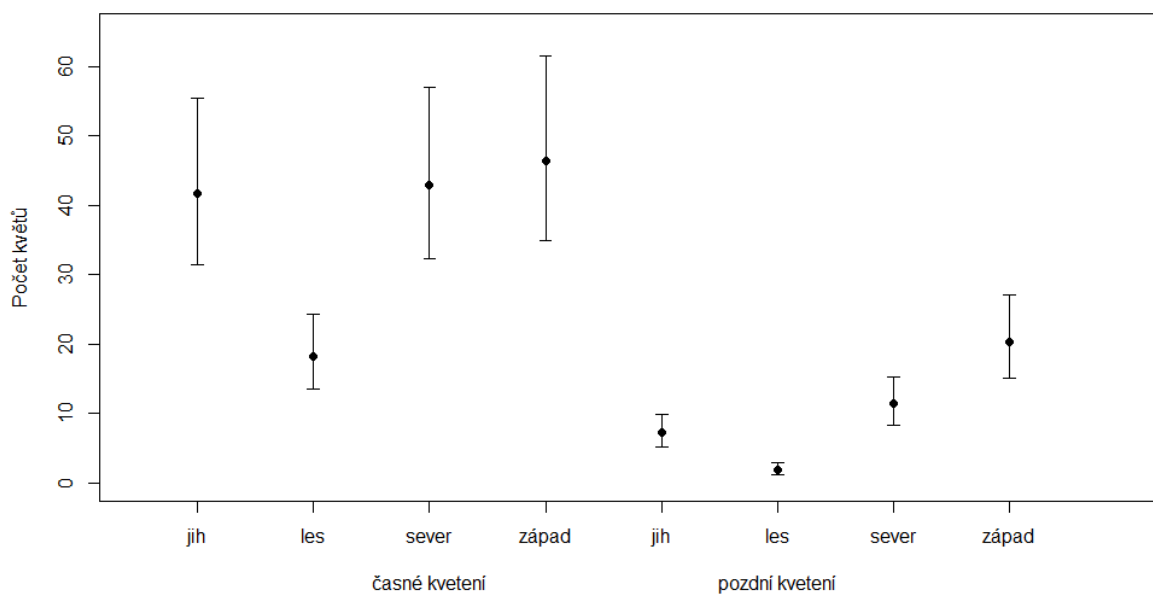
### 3.3 Počet květů okolo

Maximální počet květů byl 140 květů v jednu čtverci 50×50 cm, minimum bylo 0 květů. Průměr byl 28,29 květů, medián byl 20,00 květů.

Množství květů okolo klesal v závislosti na fázi kvetení, rozdíl mezi lokalitou a interakcí lokality a fáze kvetení byl také signifikantní (tabulka 5, graf 8). Celkově model vysvětlil 65 % variability, 38 % variability vysvětlila fáze kvetení, 22% lokalita, a 3% interakce fáze kvetení a lokality.

**Tabulka 5** - Výsledky lineárního modelu závislosti logaritmovaného počtu květů a fázi kvetení, lokalitě a jejich interakci. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů.

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
fáze	1	94.74	0.38	<0.001
lokalita	3	55.99	0.22	<0.001
Fáze × lokalita	3	8.16	0.03	<0.001
Residuály	184	87.11	0.47	



**Graf 8** - Počet květů v okolí experimentálních ploch v závislosti na lokalitě a fázi kvetení na základě modelu uvedeného v tabulce 5.

Průměr počtu květů okolo experimentálních ploch sloužil jako prediktor pro modelování úspěšností vytvoření plodů a semen. Maximální průměr byl 83 květů, minimální průměr byl 0 květů, průměr průměru byl 28,29 a medián byl 20,50, směrodatná odchylka byla 23,07.

### 3.4 Úspěšnost vytvoření plodů a semen

V prvním roce v každém z devíti čtverců jsem označila 40 květů, z toho 20 květů v časně fázi a 20 květů v pozdní fázi kvetení. Dohromady jsem označila 360 květů. Z 20 označených květů na čtverci jsem našla průměrně 13 značek (min = 2, max = 18). Průměrná úspěšnost vytvoření plodů z označených květů byla 0,4 (SE = 0,06) plodu na květ. Průměr počtu semen v plodu byl 13,8, minimum bylo 0 semen, maximum bylo 46, směrodatná odchylka byla 1,1.

Ve druhém roce jsem dohromady jsem označila 880 květů ve 24 čtvercích v pozdní a časně fázi kvetení. Z 815 dohledaných značek (95% průměrná úspěšnost dohledání značky) vzniklo z květů celkově 327 plodů. Data z jednoho čtverce v lese v první fázi chybí, protože značky nebyly dohledány vůbec. Průměrná úspěšnost vytvoření plodů z označených květů byla 0,4.

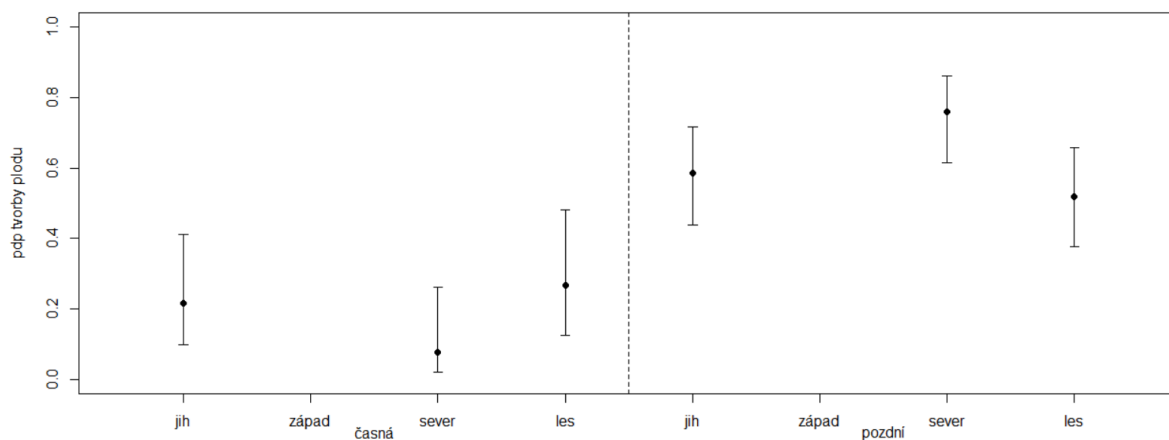
Z nalezených 327 plodů jsem ve 311 spočítala semena, zbytek plodů byl znehodnocen při skladování. Maximální počet semen v jednom plodu bylo 59 semínek. Průměrně bylo semínek 15,5, medián počtu semen byl 13, směrodatná odchylka byla 12,36.

#### 3.4.1 Plody

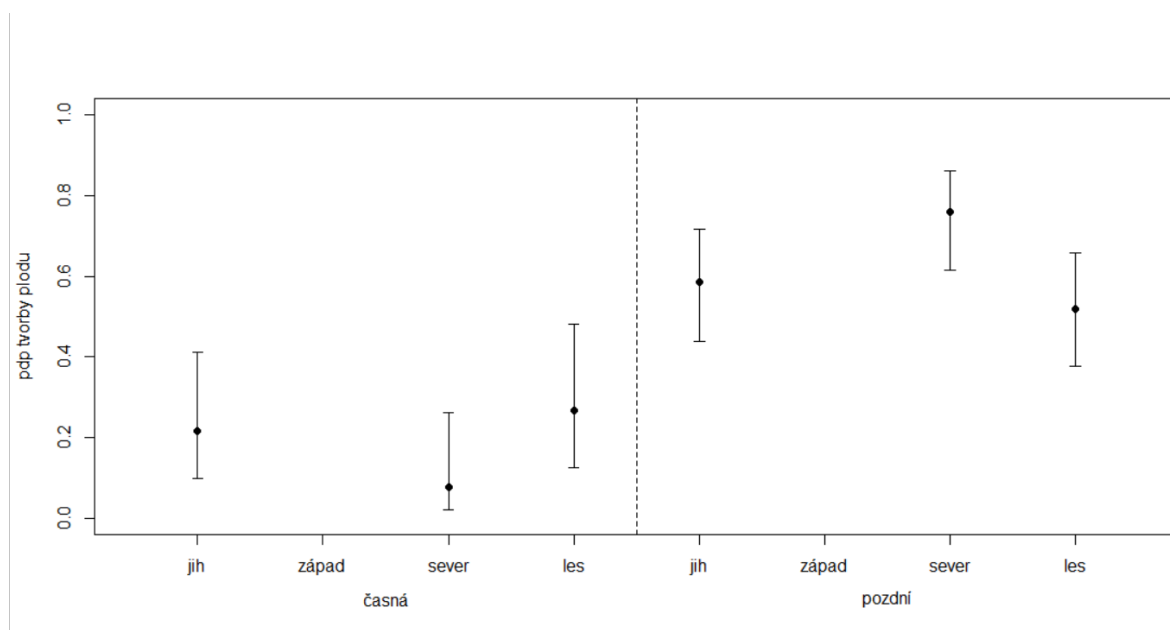
Kvasibinomické GLM poukázalo na signifikantní rozdíl mezi fázemi kvetení a lokality kvetení. Rok odběru se neukázal být významný, ale signifikantní vyšla interakce roku a fáze kvetení. V interakci byla také signifikantní fáze kvetení a lokalita (tabulka 6). Květy časně fáze kvetení měly nižší úspěšnost vytvoření plodů než květy v pozdní fázi (graf 9, graf 10).

**Tabulka 6** - Výsledky binomického lineárního modelu úspěšnost vytvoření plodů v závislosti na roce, fázi kvetení a lokalitě. Nulová deviance modelu je 660.4 při 59 stupních volnosti. Reziduální deviance je 89.55 při 48 stupních volnosti. Disperzní parametr kvasibinomické rodiny je 1.7. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Množství vysvětlené deviance	F hodnota	p-hodnota
Rok	1	1.48	0.85	n.s.
Fáze	1	490.81	282.4448	<0.001
Lokalita	3	25.56	5.0940	0.0038
Rok × fáze	1	25.04	14.4125	0.0004
Rok × lokalita	2	3.33	0.9569	n.s.
Fáze × lokalita	3	23.64	4.5342	0.007



**Graf 9** – Pravděpodobnost tvorby plodů z květů v prvním roce v závislosti na lokalitě a fázi kvetení na základě modelu uvedeného v tabulce 6. Prerušovaná čára značí předěl mezi časnou a pozdní fází kvetení.



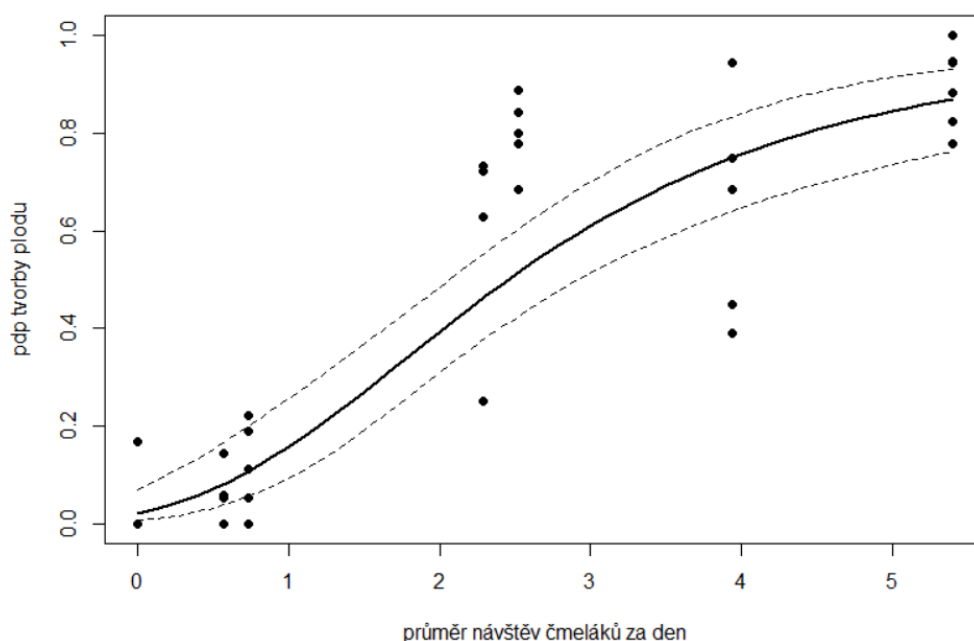
**Graf 10** – Pravděpodobnost tvorby plodů z květů ve druhém roce v závislosti na lokalitě a fázi kvetení na základě modelu uvedeného v tabulce 6. Prerušovaná čára značí předěl mezi časnou a pozdní fází kvetení.

Abych zjistila, jestli rozdíly mezi fázemi a lokalitami jsou vysvětlitelné dostupností opylovačů a zdrojů pylu, vytvořila jsem alternativní model pouze pro rok 2, který hledá závislost úspěšnosti tvorby plodů s opylovači a květy.

Kvasibinomický lineární model závislosti úspěšnosti tvorby plodů ukázal signifikantní rozdíl mezi počtem čmeláků, počtem ostatních opylovačů. Prediktor průměrný počet květů se ukázal být významný pouze v interakci (tabulka 7, graf 11).

**Tabulka 7** – Výsledky kvasibinomického lineárního modelu úspěšnost vytvoření plodů na čmelácích, ostatních opylovačích a květech okolo. Nulová deviance 597.9 při 42 stupních volnosti. Residuální deviance je 79.6 při 37 stupních volnosti. Disperzní parametr kvasibinomické rodiny je 2.8. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Množství vysvětlené deviance	koeficienty	F-hodnota	p-hodnota
Čmeláci	1	480.44	- 4.1	174.0921	<0.001
Ostatní opylovači	1	21.23	1.9	96.36	0.0087
Květy okolo	1	1.84	×	0.6826	n.s.
Čmeláci × květy okolo	1	0.04	×	0.0263	n.s.
Opylovači × květy okolo	1	14.82	- 1.3	5.2083	0.0262



**Graf 11** - Úspěšnost vytvoření plodů z květů v závislosti na počtu čmeláků, počtu ostatních opylovačů a počtu květů okolo čtverců na základě minimálního adekvátního modelu, který vychází z modelu v tabulce 7. Plná čára značí predikované hodnoty, přerušovaná značí 95% konfidenční interval predikovaných hodnot.

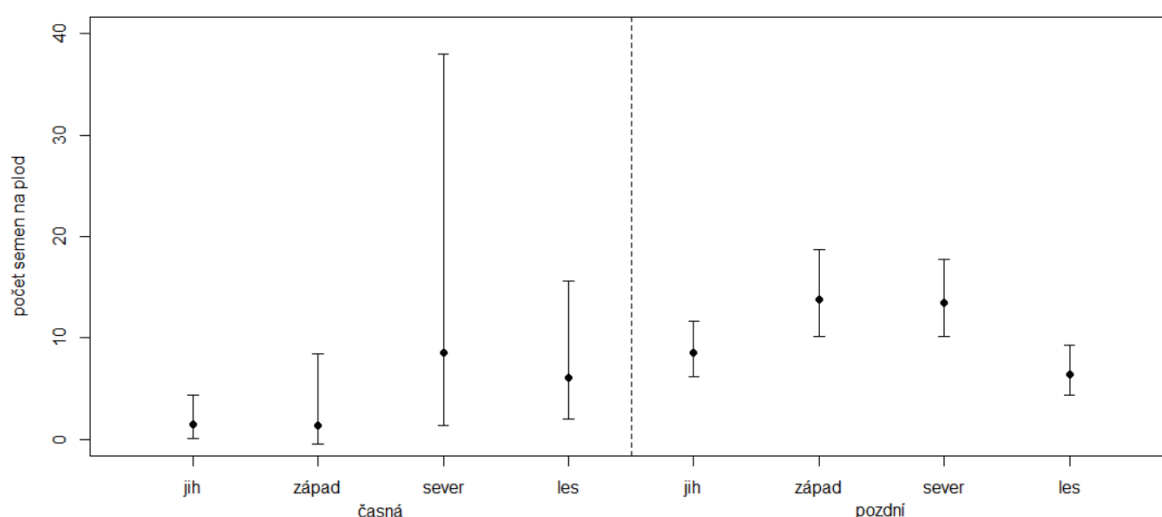
Výsledek modelu úspěšnosti tvorby plodů v závislosti na čmelácích a květech okolo (tabulka 7) jsem srovnala s modelem úspěšnosti tvorby plodů v závislosti na fázi kvetení a lokalitě druhého roku. Protože jsou výsledky modelu srovnatelné s modelem pro oba roky, neuvádím ho. *Likelihood-ratio* test srovnání dvou modelů ukázal rozdíl v residuální devianci 11.646 a rozdíl v residuálních stupních volnosti 1 s p-hodnotou 0.05269. Modely se od sebe ve vysvětlené variabilitě téměř neliší.

### 3.4.2 Semena v plodech

Lineární model množství semen v plodech v závislosti na roku, lokalitě a fázi kvetení byl signifikantní pro prediktor lokalita a fáze kvetení, stejně jako byla signifikantní jejich interakce. Model celkově vysvětlil 53,7 % variability (tabulka 8, graf 12).

**Tabulka 8** - Výsledky lineárního modelu závislosti množství semen na roku, lokalitě, fázi kvetení a jejich interakci. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
Rok	1	0.916	×	n.s.
Lokalita	3	36.142	25.5	0.0017
Fáze	1	22.968	16.2	0.0015
Rok × lokalita	2	0.786	×	n.s.
Rok × fáze	1	2.338	×	n.s.
Lokalita × fáze	3	17.129	12.0	0.0459
Reziduály	32	61.299	43.2	×

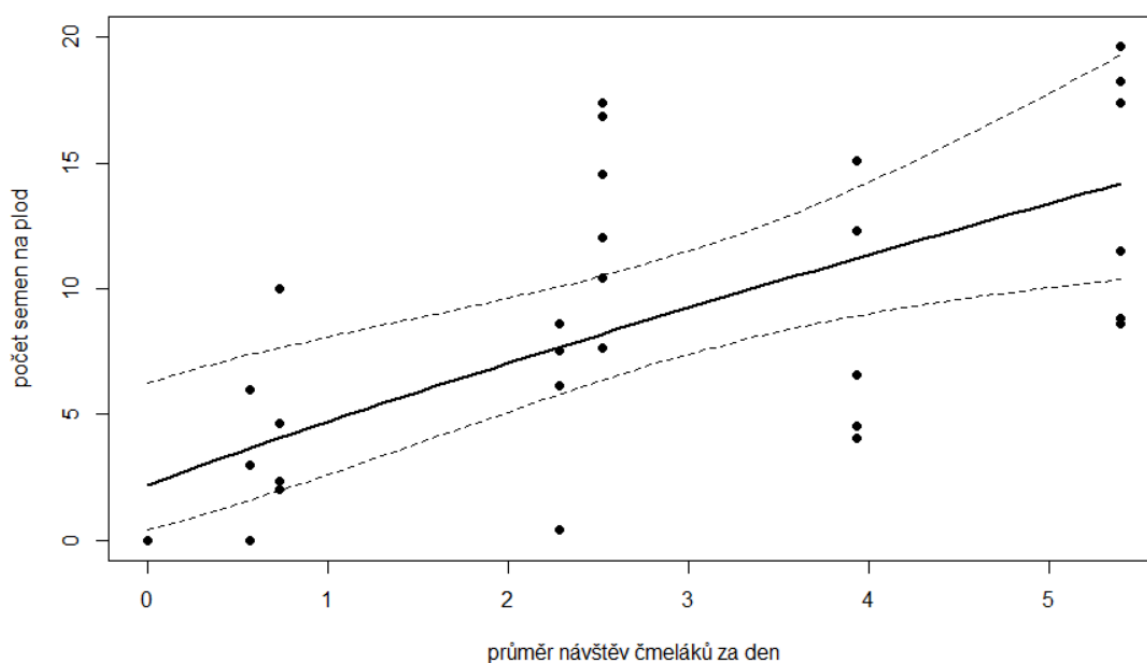


**Graf 12** - Predikované hodnoty počtu semen v závislosti na lokalitě, fázi kvetení a jejich interakci na základě modelu v tabulce 8. Prerušovaná čára značí předěl mezi časnou a pozdní fází kvetení.

Lineární model závislosti počtu semen v plodech na výskytu čmeláků a počtu květů okolo s ohledem na počet plodů nalezených ve čtverci. Všechny proměnné byly logaritmicky transformovány (tabulka 9, graf 13).

**Tabulka 9** - Výsledky lineárního modelu závislosti počtu semen na čmelácích, květech okolo a jejich interakci. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	Koef.	p-hodnota
Čmeláci	1	28.994	28.99	-1.24	0.00422
Květy okolo	1	0.517	0.51	-0.81	n.s.
Čmeláci × květy okolo	1	5.064	5.06	0.64	n.s.
Residuály	25	2.9259	2.92	×	×



**Graf 13** - Počet semen v plodu v závislosti na počtu čmeláků, počtu květů okolo a jejich interakci na základně modelu v tabulce 9. Plná čára značí predikované hodnoty, přerušovaná značí 95% konfidenční interval predikovaných hodnot.

Výsledky modelu počtu semen v závislosti na čmelácích a květech okolo (tabulka 9) jsem srovnala s modelem počtu semen v závislosti na fázi kvetení a lokalitě ve druhém roce. Protože jsou výsledky modelu srovnatelné s modelem pro oba roky, pro přehlednost jej zde neuvádím. Modely se lišily o 5 residuálních stupňů volnosti 28.78 sumu čtverců s p-hodnotou 0.087. Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště

### 3.5 Sběr borůvek na celé ploše vřesoviště

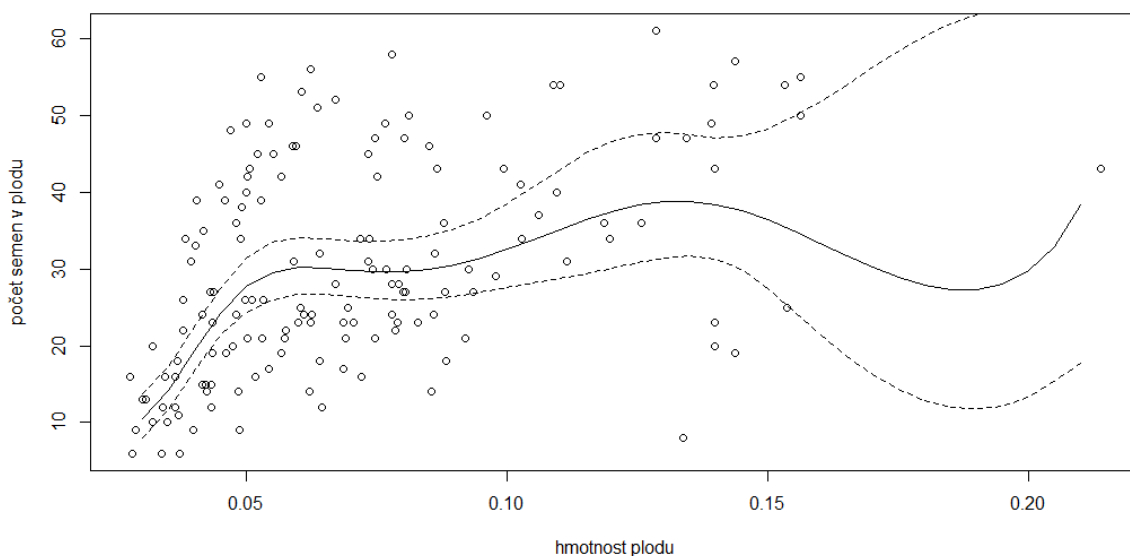
#### 3.5.1 Výsledky kalibračního pokusu

150 zvážených borůvek, sebraných náhodně na vřesovišti, mělo průměrnou hmotnost 0,072 gramu, medián byl 0,047 gramu, maximum 0,213 gramu a minimum 0,027 gramu. U všech 150 jsem spočítala semínka, maximální počet semen byl 61, minimum bylo 6 semen, průměr byl 30,17, medián byl 27, směrodatná odchylka 18,8.

Lineární model závislosti počtu semen a hmotnosti s kubickým a kvadratickým členem ukázal signifikantní korelaci mezi proměnnými a vysvětlil 33 % variability (tabulka 10, graf 14).

**Tabulka 10** - Výsledky lineárního modelu závislosti počtu semen na hmotnosti plodů. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů. n.s. = nesignifikantní výsledky

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
Hmotnost plodu	3	13.9431	0.33	<0.001
Hmotnost plodu	3	0.5959	×	n.s.
Reziduály	1	26.6516	×	n.s.



**Graf 14** - Odhad predikovaného počtu semen v plodech v závislosti na hmotnosti plodu podle modelu v tabulce 10.

### 3.5.2 Úspěšnost vytvoření semen na celé ploše vřesoviště

Ve druhém roce jsem sebrala dohromady 2215 borůvek na celkem 108 bodech náhodně vygenerovaných z modelu terénu.

Hledání optimální funkce popisující prostorovou autokorelaci v rámci modelu GLS ukázalo, že hodnoty závislé proměnné nejsou významně prostorově autokorelovány (tabulka 11).

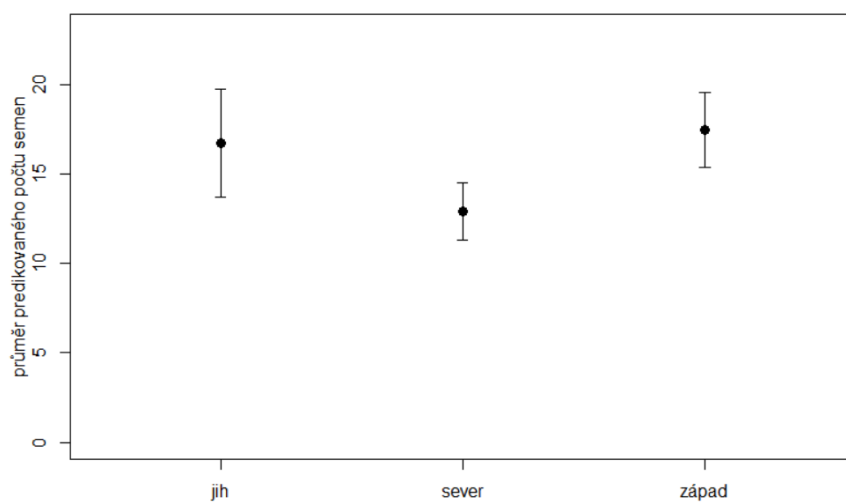
**Tabulka 11** - Porovnání AIC a BIC koeficientů modelů s různou korelační strukturou. Model byly zadány jako průměr predikovaného počtu semen v závislosti na lokalitě. Df značí stupně volnosti. AIC = Informační kritérium Akaike, BIC = bayesovské Schwarzovo informační kritérium

Typ modelu	Df	AIC	BIC
Bez korelační struktury	4	688.40	698.97
Sférická korelační struktura	6	690.49	706.35
Exponenciální korelační struktura	6	690.54	706.41
Gaussovská korelační struktura	6	690.51	706.38
Kruhová korelační struktura	6	691.33	707.20

Lineární model závislosti predikovaného průměru počtu semen na lokalitě ukázal signifikantní vliv lokality (tabulka 12, graf 15).

**Tabulka 12** - Výsledky lineárního modelu závislosti predikovaného průměru počtu semen na lokalitě. Df značí počet stupňů volnosti prediktorů.

Prediktor	Df	Suma čtverců	R <sup>2</sup>	p-hodnota
Lokalita	2	501.4	250.7	0.00165
Reziduály	104	3825.8	36.7	×



**Graf 15** - Průměr predikovaného počtu semen v závislosti na lokalitě sběru plodů na základě modelu v tabulce 12.

## 4 Diskuze

### 4.1 Úspěšnost vytvoření semen a plodů

Při opylování na začátku sezóny může být limitující výskyt a aktivita opylovačů (Thomson, 2010; Kameyama and Kudo, 2015). Na začátku kvetení borůvku opylují převážně jen čmeláci královny, postupem času se kolonie čmeláků rozrůstá a opylovačů je k dispozici více. Kudo et al. (2011) tak například vysvětluje postupně se zvyšující reprodukční úspěšnost druhu *Rhododendron aureum*, který kvete v horách v průběhu celého jara a má podobnou polinační ekologii jako *Vaccinium myrtillus*. Stejný vývoj reprodukční úspěšnosti byl pozorován také u dalších druhů rostlin alpského pásma, kde je opylování ovlivněno podobnými mikroklimatickými podmínkami, jaké panují na horském vřesovišti v Brdech (Kudo, 2016).

Reprodukční úspěch rostlin, tedy tvorba semen a plodů, může být limitován živinami nebo přístupem ke světlu. Borůvka je zdroji limitována při tvorbě květů (Selås, 2000; Nestby et al., 2011; Pato and Obeso, 2012). Množství vytvořených květů následně určuje maximální množství plodů, a může tedy ovlivnit i reprodukční úspěšnost druhu. Naopak proces tvorby plodů z květu není dostupností zdrojů limitován. Zásadním faktorem je opylení květu (Jacquemart, 1997; Guillaume and Jacquemart, 1999; Raspé, Guillaume and Jacquemart, 2004). Protože zkoumám efektivitu opylování na již vytvořených květech, mohu porovnávat úspěšnost vytvoření plodů a počet jejich semen nezávisle na sledování dostupnosti živin a prospívání jednotlivých rostlin.

### 4.2 Úspěšnost vytvoření plodů

V obou letech pokusu dozrálo z květů označených v časně fázi kvetení výrazně méně plodů než v pozdní fázi. Projevil se také signifikantní rozdíl mezi lokalitami, stejně tak jako interakce lokality a fáze kvetení. Rok sběru dat měl signifikantní vliv pouze v interakci s fází kvetení, jinak významný rozdíl mezi roky nebyl.

Důvodem rozdílu množství plodů v časně a pozdní fázi kvetení může být limitace dostupností pylu. Aktivitu opylovačů brzy z jara často blokuje špatné počasí. V průběhu sezóny se počasí postupně zlepšuje a umožňuje tak opylovačům častěji aktivovat (Aizen, 2001;

Knight *et al.*, 2005; Thomson, 2010; Kudo, Hirao and Kawai, 2011). Borůvka obvykle vůbec nevytvoří plody, pokud květy nenavštíví opylovač. Nastává to například, když opylovači za špatných povětrnostních podmínek vůbec nelétají (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Albert, Raspé and Jacquemart, 2008). Rozdíl mezi lokalitami byl pro úspěšnost opylování významný stejně jako rozdíl v období kvetení. První by mohlo být vysvětleno rozdílnými mikroklimatickými podmínkami stanovišť, druhé zlepšujícím se počasím. Oboje totiž působí na aktivitu opylovačů.

Měření mikroklimatických podmínek ve druhém roce ukázalo teplotní rozdíly mezi fázemi kvetení i lokalitami. Aktivita opylovačů je ovlivněna teplotou a nízká teplota tím může opylování limitovat (Corbet, 1990; McCall and Primack, 1992). Výsledky modelu mikroklimatických podmínek sice ukazují, že průměrné teploty byly nižší v pozdní fázi kvetení, tedy v době, kdy byla úspěšnost tvorby plodů vyšší. Model ale srovnává jen tři dny v časně fázi kvetení a tři dny v pozdní fázi kvetení a jeho interpretace v této souvislosti je velmi omezena množstvím dat. Porovnání vývoje aktivity opylovačů v závislosti na teplotě by bylo možné jen při sledování mikroklimatických podmínek více dnů nebo ideálně celého období kvetení. Je také možné, že teplota nemusela efektivitu opylování výrazně ovlivnit, zvláště pokud se nesnížila na hranici hodnot, které blokují aktivitu opylovačů. Některé studie navíc popisují složitější vztahy efektivitu opylování a teploty (Forrest *et al.*, 2011; Kudo and Ida, 2013; Mallinger, Gibbs and Gratton, 2016; Pyke *et al.*, 2016; Weaver and Mallinger, 2022). V prvním roce pokusu byla v lese, v časně fázi kvetení, větší úspěšnost vytvoření plodů než v pozdní fázi. Mohlo to být způsobeno tím, že les chrání opylovače před extrémě počasí na začátku sezóny, ale později v sezóně opylovači preferují světlejší a teplejší otevřenou plochu vřesoviště. Ve druhém roce se rozdíl mezi lesem a otevřenou plochou neprojevil. Rozdíl mezi roky se ukázal být signifikantní pouze v interakci s fází kvetení. Může to být způsobeno tím, že se jarní počasí mezi roky liší, a tím také jinak ovlivňuje začátek sezóny kvetení i nárůst aktivity opylovačů.

V pozdní fázi kvetení ve druhém roce pokusu jsem zaznamenala výrazně vyšší počty opylovačů. Úspěšnost vytvoření plodů pozitivně korelovala jak s narůstajícím počtem čmeláků, tak i s množstvím ostatních opylovačů v prostředí. Borůvka je ve své reprodukční úspěšnosti limitována dostupností opylovačů, což se ukázalo jak v pokusech s ručním doopylením plodů (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Raspé, Guillaume and Jacquemart, 2004), tak v pokusech, které v terénu srovnávaly množství opylovačů a úspěšnost vytvoření plodů (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Nuortila *et al.*, 2006; Cayuela, Ruiz-Arriaga and Ozers, 2011). Množství

opylovačů v prostředí je kromě mikroklimatu ovlivněno také růstem populace v čase. Během jara se populace opylovačů postupně zvětšují, což platí zvláště pro eusociální hmyz (Hegland *et al.*, 2009). Když vyloučíme limitující mikroklimatické podmínky, je možné, že za zvýšením počtu čmeláků stojí právě růst jejich populací. Mikroklima v takovém případě určuje, kdy se první opylující hmyz probouzí ze zimního spánku (Forrest, 2015; Mizunaga and Kudo, 2017).

Brzy z jara kvetly borůvky velice intenzivně, přestože se v prostředí nevyskytovaly téměř žádní opylovači. Později kvetly výrazně méně, ale úspěšnost vytvoření plodů byla vyšší. Stejně jako čmeláků i dalších opylovačů bylo později výrazně více. V modelu úspěšnosti vytvoření plodů (tabulka 7) nevyšel efekt počtu květů jako významný. Úspěšnost tvorby plodů borůvky není v tomto případě limitována počtem nasazených květů, ale opět to poukazuje na význam efektivity opylování.

Často diskutovanou příčinou nízkého reprodukčního úspěchu druhů kvetoucích časně z jara je mrznutí květů, případně plodů (Inouye, 2008; Nestby, Percival and Martinussen, 2011; Wheeler *et al.*, 2014). U borůvky může docházet k mrznutí květů, ale negativní efekt mrazu na růst a zrání bobulí není znám (Jacquemart, 1993). Přes zimu je borůvka chráněna sněhem, ale po roztátí sněhové pokrývky jsou případnému mrazu vystavené pupeny květů. Zničení pupenů vede ke snížení množství květů (Nestby, Percival and Martinussen, 2011). Ve svém pokusu takové poškození neberu v potaz, protože hledám úspěšnost dozrávání plodů z již úspěšně vytvořených květů. Mrazové poškození by se projevilo v případě, že zmrzly již vytvořené a označené květy.

### 4.3 Úspěšnost vytvoření semen a limitace pylem

Počet semen v plodech byl ovlivněn jak fází kvetení, tak lokalitou, významná se ukázala i jejich interakce. Efekt roku sběru dat nebyl signifikantní, a to ani v interakci. Více semen vzniklo v pozdní fázi kvetení.

Plody borůvky mohou mít snížený počet semen z důvodu inbrední deprese, pokud je embryo oplozeno příliš příbuzným pylem (Guillaume and Jacquemart, 1999; Nuortila, Tuomi and Laine, 2002). Pozorovala jsem zásadní rozdíly v počtu semen v plodech, což ukazuje, že se alespoň u některých květů projevila inbrední deprese nebo na květ nebylo doneseno dostatečné množství pylu pro oplození všech embryí. V jednotlivých plodech jsem pozorovala rozdílné množství životaschopných a abortovaných semen. Pokud se v plodu vytvoří

abortovaná semena, znamená to, že tvorba semen nebyla limitována dostupností pylu, ale jeho kvalitou. Příčinou snížení reprodukční úspěšnosti je v tom případě inbrední deprese. Pokud ale bude plod obsahovat málo semen abortovaných i životaschopných, znamená to, že je tvorba semen snížena z důvodu nedostatku pylu. Inbrední deprese může působit už ve fázi oplození embrya, v takovém případě ji není možné od limitace dostupností pylu odlišit (Raspé, Guillaume and Jacquemart, 2004).

I v případě, že je tvorba semen limitována dostupností pylu, nemusí mít nedostatečné opylení vliv na tvorbu plodu. Pro stimulaci vývoje plodu stačí i málo semen (Raspé, Guillaume and A. L. Jacquemart, 2004; Kudo, Hirao and Kawai, 2011). V pozdní fázi vzniklo z květů více plodů. I v takovém případě mohla být borůvka limitována pylem v tvorbě semen. Ovšem všechny květy, ze kterých vznikl plod, byly opyleny aspoň minimálním množstvím pylu.

Pokud je květ opylen pylem geneticky blízkce příbuzného jedince, klonální ramety nebo jiného květu na stejné rostlině, projeví se inbrední deprese a dojde ke snížení množství semen (Jacquemart, 1997; Guillaume and Jacquemart, 1999; Nuortila, Tuomi and Laine, 2002; Raspé, Guillaume and Jacquemart, 2004; Nuortila *et al.*, 2006). Při opylení vlastním pylem vzniklo méně semen než při opylení pylem 1 metr a 5 metrů vzdálených květů. Květy opylené pylem ze vzdálenosti 10 metrů měly dokonce čtyřnásobný počet semen než ty opylené vlastním pylem (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002). Borůvka je výrazně klonální druh. Populace může být tvořena až 10 metrů širokým porostem jednoho klonu (Nestby, Percival, Martinussen, et al., 2011). Rostlina tak může být obklopena jen svými klony a přijímat od opylovačů převážně nevhodný pyl. Hlavní vliv na reprodukční úspěšnost má v takovém případě velikost a prostorové uspořádání jednotlivých klonů a příbuznost celé populace (Nuortila, Tuomi and Laine, 2002). Tento fenomén může být výraznější později v sezóně. Dělnice čmeláků, které se namnoží až později, přelétají na kratší vzdálenost než královny, a tak přinášejí pyl z bližších rostlin. Obvykle je později v sezóně vyšší denzita květů a hmyz přelétá kratší vzdálenosti mezi květy, protože odměna ve formě pylu a nektaru je dostupná v bezprostřední blízkosti (Kameyama and Kudo, 2015).

Více semen měly plody, které vznikly z květů v pozdní fázi kvetení, kdy jsem pozorovala také vyšší počet opylovačů. V modelu (tabulka 9) se ukázala korelace zvyšujícího se počtu čmeláků a růstu počtu semen v plodech. Efekt počtu květů okolo nebyl významný. Jedno

z vysvětlení je, že počet květů úspěšnost tvorby semen neovlivňuje, protože mnohem výraznější je vliv aktivity opylovačů.

#### 4.4 Úspěšnost vytvoření semen na celé ploše vřesoviště

Na jižním, severním a západním svahu se lišil počet semen v plodech. Vyšší úspěšnost tvorby semen byla pozorována na jižním a západním svahu. Efekt lokality z pokusu ve čtvercích (tabulka 8) nebyl stejný v pokusu na celém vřesovišti. Predikované hodnoty vyšly téměř opačně. Důvodem může být neodpovídající predikce počtu semen v plodu a tedy i design experimentu. Vztah mezi hmotností plodu a počtem semen sice koreloval, ale efekt působil jinak pro malé hmotnosti plodů oproti větším hmotnostem. Je možné, že se tento složitý vztah nepodařilo použitou predikcí počtu semen úplně vysvětlit.

Počet semen v plodu v rámci celého vřesoviště možná ovlivňují další faktory, které jsem ve svém pokusu nezkoumala. Lokalita byla sice zohledněna, ale rozdíl ve fázích kvetení nebylo možné zkoumat, protože nebylo možné označit dostatečné množství květů.

Rozdílný počet semen v plodech ukazuje na limitaci pylem a sníženou kvalitu opylení květů. To může být způsobeno chováním opylovačů a jejich rozmístěním na vřesovišti. Dále se také může projevit efekt kvetení dalších druhů rostlin, které nabízejí opylovačům lákavější odměny ve formě pylu a nektaru. Množství semen v plodu může být sníženo z důvodu přenosu heterospecifického pylu. Při depozici pylu jiných druhů rostlin může dojít ke snížení množství semen z důvodu ucpaní blizny cizím pylem a zamezení opylení (Ashman *et al.*, 2004; Knight *et al.*, 2005). Na konci května, tedy v době pozdní fáze kvetení, v oblasti začíná kvést *Vaccinium vitis-idaea*. Některé druhy opylovačů v tu chvíli mohou preferovat *V. vitis-idaea*, protože nabízí jiné odměny než *V. myrtillus* (Moquet *et al.*, 2017). V lese kolem vřesoviště roste ještě *S. aucuparia*, který je také opylován hmyzem.

#### 4.5 Intenzita kvetení

Počet květů okolo experimentálních čtverců koreluje s fází kvetení. V časně fázi kvetení bylo květů výrazně více. Signifikantní se ukázal i efekt lokality. V lese bylo v časně i pozdní fázi kvetení vytvořeno výrazně méně květů než na ostatních lokalitách. Lokality na otevřeném prostranství vřesoviště byly přibližně rovnocenné, nejvíce květů bylo na západě v časně i pozdní fázi kvetení.

Abiotické podmínky prostředí ovlivňují počet květů, které borůvky vytvoří (Selås, 2000; Nestby, Percival and Martinussen, 2011; Pato and Obeso, 2012). V různých nadmořských výškách bylo pozorováno rozdílné množství nasazených květů. Ve stejné studii byla tvorba květů negativně korelována s pH. V této studii nebyl počet květů ovlivněn dostupností světla. Mezi borůvkami rostoucími v lese a na otevřeném prostranství se neprojevil rozdíl v tvorbě květů (Pato and Obeso, 2012). Ve studii, srovnávající nově vykácené plochy lesa a kvetení borůvek v podrostu, bylo na otevřených stanovištích pozorováno více květů (Forrest, 2015).

Vyšší počet nasazených květů na začátku období kvetení, kdy nelétali žádní opylovači, může ukazovat na nesoulad, který již vznikl v návaznosti na klimatickou změnu. Jestli se jedná skutečně o efekt způsobený globálním oteplováním nelze z výsledků mého experimentu posoudit.

Dostatečné množství květů v určitou dobu, a tedy dostupnost potravních zdrojů pro opylovače, může být zásadní pro přežívání jejich populací. Kritické to může být zejména pro eusociální hmyz, u kterého se brzy z jara aktivují pouze královny a na jejich přežití závisí přežívání celé populace (Hegland *et al.*, 2009)

#### 4.6 Mikroklimatické podmínky

Výsledky modelů mikroklimatických dat ilustrují rozdíl v teplotě mezi fázemi kvetení a mezi severním, jižním a západním svahem a lesem. Rozdíly v množství dopadajícího světla se potvrdily pouze mezi časnou a pozdní fází kvetení. Rozdíly mezi vlhkostí vzduchu se neukázaly, ale to je možná způsobeno malým počtem měření. Efekt rychlosti větru by se možná podařilo vysvětlit pomocí složitějších modelů. Rozdíl v úspěšnost tvorby plodů i semen byl jak na lokalitách, tak mezi dvěma fázemi kvetení. Rozdíl mikroklimatických podmínek se kromě

teploty vzduchu nepodařilo prokázat. Úspěšnost tvorby semen a plodů proto nejspíš ovlivňují jiné než měřené mikroklimatické podmínky, což diskutuji v kapitole 4.2.

#### 4.7 Vliv opylovačů na reprodukční úspěšnost

V pozdní fázi kvetení, tedy na konci května, jsem zaznamenala výrazně vyšší počet čmeláků. Více bylo také ostatních opylovačů, z nich mnoho byly samotářské včely a mouchy. Zaznamenala jsem právě jednoho motýla. Převážná většina pozorovaných opylovačů (84 %) byly čmeláci, což se shoduje s dalšími výzkumy, kde čmeláci jako opylovači borůvky dominují v 50 až 84 % (Jacquemart, 1993; Nestby *et al.*, 2011; Moquet *et al.*, 2015). Z obvyklých opylovačů borůvky jsou nejefektivnější čmeláci, kteří ovládají *buzz pollination*, takže dokážou uvolnit pyl z prašníků (Jacquemart, 1993). Ve stejné studii byli na borůvce pozorováni mravenci. Mravenci se hojně objevovali i na květech borůvek na vřesovišti v Brdech. Protože nedokážou z květu vytrást pyl, sbírají pouze nektar, nebo prašníky perforují, a tím květ poničí. Obecně je efektivita opylovačů, kteří sbírají nektar a nejsou schopni provést *buzz pollination*, nižší ve srovnání s čmeláky. Přesto však mohou přenášet menší množství pylu (Moquet *et al.*, 2015). Mohou tak přispět k tvorbě plodů s menším množstvím semen.

#### 4.8 Vliv prostředí na reprodukční úspěšnost

V některých studiích reprodukční úspěšnosti borůvky limitace pylem nebyla pozorována, někde měla výrazný vliv. Jacquemart (1997) pozorovala limitaci pylem u borůvek kvetoucích na vřesovišti, zatímco Pato *et al.* (2012), kteří zkoumali borůvky v lese, limitaci pylem nepotvrdili. Pato *et al.* (2012) pozoroval rozdíly v počtu semen v plodech v různých nadmořských výškách, což mohlo být způsobeno rozdílnou distribucí opylovačů. V náročnějších podmínkách by měl být výraznější vliv inbrední deprese (Dudash, 1990), proto v různých geografických prostředích může působit různě i na *Vaccinium myrtillus*. Jiné studie ukazují, že to pro borůvku platit nemusí. Inbrední deprese měla stejný vliv na borůvky rostoucí ve skandinávském lese i na ty rostoucí na středoevropském horském vřesovišti. Mikroklimatické podmínky obou jmenovaných prostředí se výrazně liší (Guillaume and Jacquemart, 1999; Nuortila *et al.*, 2006). Porovnání reprodukční úspěšnosti ukazuje výrazné rozdíly mezi fází kvetení a lokalitou jak pro úspěšnost vytváření plodů, tak pro počet semen v plodech. Na to, že se potvrdila limitace pylem u borůvky, a tedy limitace efektivitou opylování, ukazuje také to, že počet plodů i semen byl větší, když bylo v prostředí zaznamenáno více opylovačů.

#### 4.9 Přínos pro populační a polinační ekologii

Přestože je úspěšnost vytvoření plodů a množství semen v nich silně ovlivněna kvalitou opylení a dostupností opylovačů, nemusí mít tyto faktory zásadní vliv na růst populace a šíření borůvky. Důležitým faktorem je, kolik květů dokáže borůvka vytvořit. To je nejvíc ovlivněno dostupností živin nebo závlahy a negativně ovlivňováno mrznutím květů a pupenů. Také ekologie šíření semen a jejich úspěšnost klíčení je komplexní problematika, do které vstupuje řada dalších faktorů. Do svého okolí se borůvka intenzivně rozšiřuje klonálně, což ještě podporuje neschopnost vytvářet semena z důvodu opylení příbuzným pylem a následné inbrední deprese. Generativní rozmnožování semeny je proto významnější při šíření na dálku (Nin *et al.*, 2019).

Výsledky, které vypovídají o fungování opylení v souvislosti s mikroklimatickými podmínkami mohou být pro vysvětlení fungování populací přínosnější. Druhy rostoucí v prostředí, kde jsou podmínky pro opylování náročné, mají často schopnost samoopylení jako záložní variantu, pokud by se ve špatném počasí nebo při nedostatku hmyzu opylení neuskutečnilo (Ashman *et al.*, 2004; Wheelwright *et al.*, 2006). Sledování úspěšnosti tvorby plodů a semen, vypovídá o fungování opylování v extrémních podmínkách, jako je brzké jaro, horské vřesoviště nebo les.

## 5 Závěr

Dvouletý experiment ukázal, že borůvky kvetoucí později, tedy na konci května, jsou úspěšnější v tvorbě plodů. Srovnání jižního, severního a západního svahu a lesa ukázalo, že rozdíl v úspěšnosti tvorby plodů z květů existuje také v závislosti na tom, kde borůvka roste. Otevřená plocha vřesoviště byla pro tvorbu plodů v prvním roce příhodnější než lesní prostředí. Je možné, že to je z důvodu rozdílných mikroklimatických podmínek prostředí, jejichž konkrétní působení se ale nepodařilo prokázat. Na úspěšnost tvorby plodů mají jistě vliv čmeláci. Byli to hlavní opylovači borůvek na brdském vřesovišti a jsou obecně považováni za nejefektivnější opylovače borůvky a jí příbuzných druhů. Množství čmeláků, kteří byli zaznamenáni na kamery, pozitivně koreluje s množstvím vytvořených plodů. Čmeláků, ale také dalších minoritních opylovačů, bylo pozorováno výrazně více v pozdní fázi kvetení. Důvodem mohou být jak mikroklimatické podmínky ovlivňující aktivitu opylovačů, tak nárůst populací v čase.

Rozdíl v počtu semen v plodech ukázal, že borůvka je limitována dostupností pylu, a to jak na experimentálních čtvercích, tak na celé ploše vřesoviště. Na čtvercích bylo v plodech menší množství semínek v časně fázi kvetení. Mezi jižním, severním a západním svahem a lesem byl v počtu semen v plodech také rozdíl. Srovnání hmotnosti plodů sebraných na celé ploše vřesoviště ukázalo, že existuje vztah mezi tím, kde borůvka kvete, a jak dobře byla opylena. Množství semen v plodech, a tedy i limitace pylem byla různá na třech svazích, jižním, západním a severním. Nejméně semen bylo v plodech ze severního svahu.

V důsledku klimatické změny dochází k posunům ve fungování interakce rostlin a opylovačů. Pokus ukázal, že existuje rozdíl mezi efektivitou opylování v závislosti na době kvetení a místě, kde borůvka roste. Znásobení dopadu klimatické změny může tyto rozdíly ještě zvýraznit. Borůvka je významný ekologický i hospodářský druh a změny v úspěšnosti tvorby plodů mohou mít vliv na fungování dalších trofických úrovní ekosystémů.

## 6 Bibliografie

- Aizen, M. A. (2001) 'Flower Sex Ratio Pollinator Abundance and the Seasonal Pollination Dynamics of a Protandrous Plant', *Ecological Research*, 82(1), pp. 127–144.
- Albert, T., Raspé, O. and Jacquemart, A. L. (2008) 'Influence of clonal growth on selfing rate in *Vaccinium myrtillus* L.', *Plant Biology*, 10(5), pp. 643–649. doi: 10.1111/j.1438-8677.2008.00067.x.
- Ashman, T. L. *et al.* (2004) 'Pollen limitation of plant reproduction: Ecological and evolutionary causes and consequences', *Ecology*, pp. 2408–2421. doi: 10.1890/03-8024.
- Bartomeus, I. *et al.* (2011) 'Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), pp. 20645–20649. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.is.cuni.cz/stable/23077299>.
- Bergman, P., Molau, U. and Holmgren, B. (1996) 'Micrometeorological impacts on insect activity and plant reproductive success in an alpine environment, Swedish Lapland', *Arctic and Alpine Research*, 28(2), pp. 196–202. doi: 10.2307/1551760.
- Burd, M. (1994) 'Bateman's Principle and Plant Reproduction : The Role of Pollen Limitation in Fruit and Seed Set', *Botanical Review*, 60(1), pp. 83–139.
- Cayuela, L., Ruiz-Arriaga, S. and Ozers, C. P. (2011) 'Honeybees increase fruit set in native plant species important for wildlife conservation', *Environmental Management*, 48(5), pp. 910–919. doi: 10.1007/s00267-011-9677-5.
- Chytrý, M. *et al.* (2010) *Katalog biotopů České republiky = Habitat catalogue of the Czech Republic . 2., upr. a, Habitat catalogue of the Czech Republic. 2., upr. a*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Corbet, S. A. (1990) 'Pollination and the weather', *Israel Journal of Botany*, 39(1–2), pp. 13–30. doi: 10.1080/0021213X.1990.10677131.
- Costanza, R. *et al.* (1997) 'The value of the world's ecosystem services and natural capital', *Nature (London)*, 387(6630), pp. 253–260. doi: 10.1038/387253a0.
- Crawley, M. J. (2007) *The R book*. 1st ed. New York: Wiley.
- Dudash, M. R. (1990) 'Relative Fitness of Selfed and Outcrossed Progeny in a Self-Compatible, Protandrous Species, *Sabatia angularis* L. (Gentianaceae): A Comparison in Three Environments', *Evolution*, 44(5), pp. 1129–1139. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2409277>.
- Fitter, A. H. and Fitter, R. S. R. (2002) 'Rapid Changes in Flowering Time in British Plants', *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 296(5573), pp. 1689–1691. doi: 10.1126/science.1071617.
- Forrest, J. R. K. *et al.* (2011) 'An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows', 81(3), pp. 469–491. Available at: <https://www.jstor.org/stable/23047057>.
- Forrest, J. R. K. (2015) 'Plant-pollinator interactions and phenological change : what can we learn about climate impacts from experiments and observations ?', *Oikos*, (March 2014), pp. 4–13. doi: 10.1111/oik.01386.
- Grytnes, J. A. *et al.* (2014) 'Identifying the driving factors behind observed elevational range shifts on European mountains', *Global Ecology and Biogeography*, 23(7/8), pp. 876–884. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.is.cuni.cz/stable/24034084>.
- Guillaume, P. and Jacquemart, A. (1999) 'Early-inbreeding depression in *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea*', *protoplasma*, pp. 107–114.
- Hegland, S. J. *et al.* (2009) 'How does climate warming affect plant-pollinator interactions?', *Ecology Letters*, pp. 184–195. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x.

- Heinrich, B. (1975) 'Bee flowers: A hypothesis on flower variety and blooming time', *Evolution*, 29(2), pp. 325–334. doi: doi:10.1111/j.1558-5646.1975.tb00212.x.
- Hickling, R. *et al.* (2006) 'The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards', *Global Change Biology*, 12(3), pp. 450–455. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x>.
- Inouye, D. (2008) 'Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers', *Ecology*, 89, pp. 353–362. doi: 10.1890/06-2128.1.
- Jacquemart, A. (1997) 'Pollen limitation in three sympatric species of *Vaccinium* (Ericaceae) in the Upper Ardennes, Belgium', *Plant Systematics and Evolution*, 207, pp. 159–172.
- Jacquemart, A. L. (1993) 'Floral visitors of *Vaccinium* species in the High Ardennes, Belgium', *Flora (Jena)*, 188(3), pp. 263–273. doi: 10.1016/S0367-2530(17)32276-4.
- Kameyama, Y. and Kudo, G. (2015) 'Intrinsic and extrinsic factors acting on the reproductive process in alpine-snowbed plants: roles of phenology, biological interaction, and breeding system', *Plant Species Biology*, pp. 3–15. doi: 10.1111/1442-1984.12070.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W. and Waser, N. M. (1998) 'ENDANGERED MUTUALISMS: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions', *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), pp. 83–112. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83.
- Kelly, A. E. and Goulden, M. L. (2008) 'Rapid Shifts in Plant Distribution with Recent Climate Change', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(33), pp. 11823–11826. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.is.cuni.cz/stable/25463767>.
- Knight, T. M. (2003) 'International Association for Ecology Floral Density, Pollen Limitation, and Reproductive Success in *Trillium grandiflorum*', *Springer in cooperation with International Association for Ecology*, 137(4), pp. 557–563.
- Knight, T. M. *et al.* (2005) 'Pollen Limitation of Plant Reproduction: Pattern and Process', *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36(1), pp. 467–497. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.36.102403.115320.
- Kudo, G. (2016) *Structure and function of mountain ecosystems in Japan*. doi: 10.1007/978-4-431-55954-2.
- Kudo, G., Hirao, A. and Kawai, Y. (2011) 'Pollination Efficiency of Bumblebee Queens and Workers in the Alpine Shrub *Rhododendron aureum*', *International Journal of Plant Sciences*, 172, pp. 70–77. doi: 10.1086/657282.
- Kudo, G. and Ida, T. Y. (2013) 'Early onset of spring increases the phenological mismatch between plants and pollinators.', *Ecology*, 94(10), pp. 2311–20. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24358716>.
- Larson, B. (2000) 'A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants', *Biological Journal of the Linnean Society*, 69(4), pp. 503–520. doi: 10.1006/bjpl.1999.0372.
- Lurgi, M., López, B. C. and Montoya, J. M. (2012) 'Novel communities from climate change', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1605), pp. 2913–2922. doi: 10.1098/rstb.2012.0238.
- Mallinger, R. E., Gibbs, J. and Gratton, C. (2016) 'Diverse landscapes have a higher abundance and species richness of spring wild bees by providing complementary floral resources over bees' foraging periods', *Landscape Ecology*, 31(7), pp. 1523–1535. doi: 10.1007/s10980-015-0332-z.
- McCall, C. and Primack, R. B. (1992) 'Influence of Flower Characteristics, Weather, Time of Day, and Season on Insect Visitation Rates in Three Plant Communities', *American Journal of Botany*, 79(4), pp. 434–442. doi: 10.2307/2445156.
- Memmott, J. *et al.* (2007) 'Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions', *Ecology Letters*, 10(8), pp. 710–717. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01061.x>.

- Millon, A. *et al.* (2014) 'Dampening prey cycle overrides the impact of climate change on predator population dynamics: a long-term demographic study on tawny owls', *Global Change Biology*, 20(6), pp. 1770–1781. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12546>.
- Mizunaga, Y. and Kudo, G. (2017) 'A linkage between flowering phenology and fruit-set success of alpine plant communities with reference to the seasonality and pollination effectiveness of bees and flies', *Oecologia*, 185(3), pp. 453–464. doi: 10.1007/s00442-017-3946-9.
- Moquet, L. *et al.* (2015) 'Early spring floral foraging resources for pollinators in wet heathlands in Belgium', *Journal of Insect Conservation*, 19(5), pp. 837–848. doi: 10.1007/s10841-015-9802-5.
- Moquet, L. *et al.* (2017) 'Nectar foragers contribute to the pollination of buzz-pollinated plant species', *American Journal of Botany*, 104(10), pp. 1451–1463. doi: 10.3732/ajb.1700090.
- Ne'eman, G. *et al.* (2006) 'Foraging by male and female solitary bees with implications for pollination', *Journal of Insect Behavior*, 19(3), pp. 383–401. doi: 10.1007/s10905-006-9030-7.
- Nestby, R. *et al.* (2011) 'The European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the potential for cultivation. A review', *European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 5, pp. 5–16.
- Nestby, R., Percival, D. and Martinussen, I. (2011) 'The European blueberry ( *Vaccinium myrtillus* L .) and the potential for The European Blueberry ( *Vaccinium myrtillus* L .) and the Potential for Cultivation . A Review', (January).
- Nilsson, M.-C. and Wardle, D. A. (2005) 'Understory Vegetation as a Forest Ecosystem Driver: Evidence from the Northern Swedish Boreal Forest', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(8), pp. 421–428. doi: 10.2307/3868658.
- Nin, S. *et al.* (2019) 'In vitro propagation and conservation of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) genotypes collected in the Tuscan Apennines (Italy)', *Journal of Berry Research*, 9(3), pp. 411–430. doi: 10.3233/JBR-180379.
- Nuortila, C. *et al.* (2006) 'Early-acting inbreeding depression in a clonal dwarf shrub, *Vaccinium myrtillus*, in a northern boreal forest', *Annales Botanici Fennici*, 43(1), pp. 36–48.
- Nuortila, C., Tuomi, J. and Laine, K. (2002) 'Inter-parent distance affects reproductive success in two clonal dwarf shrubs, *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae)', *Canadian Journal of Botany*, 80(8), pp. 875–884. doi: 10.1139/b02-079.
- Parmesan, C. (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change', *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37(2006), pp. 637–669. doi: 10.2307/annurev.ecolsys.37.091305.30000024.
- Parmesan, C. and Yohe, G. (2003) 'A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems.', *Nature*, 421(6918), p. 37. Available at: <http://10.04.14/nature01286>.
- Pato, J. and Obeso, J. R. (2012) 'Growth and reproductive performance in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) along an elevation gradient', *Écoscience*, 19(1), pp. 59–68. doi: 10.2980/19-1-3407.
- Peat, J. and Goulson, D. (2005) 'Effects of Experience and Weather on Foraging Rate and Pollen versus Nectar Collection in the Bumblebee, *Bombus terrestris*', *Behavioral ecology and sociobiology*, 58(2), pp. 152–156. doi: 10.1007/s00265-005-0916-8.
- Price, M. V. and Waser, N. M. (1979) 'Pollen dispersal and optimal outcrossing in *Delphinium nelsoni* [11]', *Nature*, 277(5694), pp. 294–297. doi: 10.1038/277294a0.
- Pyke, G. H. *et al.* (2016) 'Effects of climate change on phenologies and distributions of bumble bees and the plants they visit', *Ecosphere*, 7(3), p. e01267. doi: <https://doi.org/10.1002/ecs2.1267>.
- Rafferty, N. E. and Ives, A. R. (2011) 'Effects of experimental shifts in flowering phenology on plant–pollinator interactions', *Ecology Letters*, 14(1), pp. 69–74. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01557.x>.

- Ranwala, S. M. W. and Naylor, R. E. L. (2004) 'Production, survival and germination of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) seeds', *Botanical Journal of Scotland*, 56(1), pp. 55–63. doi: 10.1080/03746600408685067.
- Raspé, O., Guillaume, P. and Jacquemart (2004) 'Inbreeding Depression and Biased Paternity after Mixed-Pollination in *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae)', *International Journal of Plant Sciences*, 165, pp. 765–771. doi: 10.1086/422045.
- Raspé, O., Guillaume, P. and Jacquemart, A. L. (2004) 'Inbreeding depression and biased paternity after mixed-pollination in *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae)', *International Journal of Plant Sciences*, 165(5), pp. 765–771. doi: 10.1086/422045.
- Ritchie, J. C. (1956) '*Vaccinium Myrtillus* L.', *Journal of Ecology*, 44(1), pp. 291–299. doi: 10.2307/2257181.
- Selås, V. (2000) 'Seed production of a masting dwarf shrub, *Vaccinium myrtillus*, in relation to previous reproduction and weather', *Canadian Journal of Botany*, 78(4), pp. 423–429. doi: 10.1139/b00-017.
- Stenset, N. E. *et al.* (2016) 'Seasonal and annual variation in the diet of brown bears *Ursus arctos* in the boreal forest of southcentral Sweden.', *Wildlife Biology*, 22(3), pp. 107–116. Available at: <http://10.0.11.165/wlb.00194>.
- Straka, J. and Starzomski, B. (2014) 'Humming along or buzzing off? The elusive consequences of plant-pollinator mismatches', *Journal of Pollination Ecology*, 13, pp. 129–145. doi: 10.26786/1920-7603(2014)18.
- Thomson, J. D. (2010) 'Flowering phenology, fruiting success and progressive deterioration of pollination in an early-flowering geophyte', pp. 3187–3199. doi: 10.1098/rstb.2010.0115.
- Totland, O. (1994) 'Influence of climate, time of day and season, and flower density on insect flower visitation in alpine Norway', *Arctic and Alpine Research*, 26(1), pp. 66–71. doi: 10.2307/1551879.
- Vicens, A. (2020) 'Weather-Dependent Pollinator Activity in an Apple Orchard, with Special Reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae) Weather-Dependent Pollinator Activity in an Apple Orchard, with Special Reference to *Osmia cor*', 29(3), pp. 413–420.
- Walther, G.-R. *et al.* (2002) 'Ecological responses to recent climate change.', *Nature*, 416(6879), p. 389. Available at: <http://10.0.4.14/416389a>.
- Weaver, S. A. and Mallinger, R. E. (2022) 'A specialist bee and its host plants experience phenological shifts at different rates in response to climate change', *Ecology*, 103(5), p. e3658. doi: <https://doi.org/10.1002/ecy.3658>.
- Wheeler, J. A. *et al.* (2014) 'Increased spring freezing vulnerability for alpine shrubs under early snowmelt', *Oecologia*, 175(1), pp. 219–229. doi: 10.1007/s00442-013-2872-8.
- Wheelwright, N. T. *et al.* (2006) 'Pollinator limitation, autogamy and minimal inbreeding depression in insect-pollinated plants on a boreal island', *American Midland Naturalist*, 155(1), pp. 19–38. doi: 10.1674/0003-0031(2006)155[0019:PLAAMI]2.0.CO;2.

## 7 Přílohy

Následuje výběr primárních dat ve formě příloh. Část dat nebylo možné přiložit, protože jejich velikost přesahuje kapacitu tištěné práce. Data byla přiložena v elektronické podobě a jsou k dispozici u autora na vyžádání.



## Příloha 2: Počet označených květů a nalezených plodů v roce 2019

Fáze	Lokalita	Plocha	Označeno květů	Nalezeno značek	Nalezeno plodů	Úspěšnost vytvoření plodů
časná	sever	S1	20	11	1	0.09
časná	sever	S2	20	15	3	0.20
časná	sever	S3	20	2	0	0.00
časná	jih	J1	20	12	4	0.33
časná	jih	J2	20	13	3	0.23
časná	jih	J3	20	9	3	0.33
časná	les	L1	20	11	2	0.18
časná	les	L2	20	17	1	0.06
časná	les	L3	20	NA	NA	NA
pozdní	sever	S1	20	18	13	0.72
pozdní	sever	S2	20	17	13	0.76
pozdní	sever	S3	20	2	2	NA
pozdní	jih	J1	20	18	11	0.61
pozdní	jih	J2	20	14	6	0.43
pozdní	jih	J3	20	15	11	0.73
pozdní	les	L1	20	18	10	0.56
pozdní	les	L2	20	18	6	0.33
pozdní	les	L3	20	15	10	0.67

### Příloha 3: Počet označených květů a nalezených plodů v roce 2020

Lokalita	Čtverec	Fáze	Označeno květů	Nalezeno značek	Nalezeno plodů	Úspěšnost vytvoření plodů	Průměr květů okolo	Maximum květů okolo	Minimum květů okolo	Průměr čmeláků	Průměr ostatních opylovačů	Průměr součtu opylovačů
sever	S1	časná	20	20	0	0.00	41.50	53	24	0.00	0.19	0.19
sever	S2	časná	20	18	0	0.00	67.75	120	33	0.00	0.19	0.19
sever	S3	časná	20	18	0	0.00	32.50	43	23	0.00	0.19	0.19
sever	S4	časná	20	19	0	0.00	63.75	104	21	0.00	0.19	0.19
sever	S5	časná	20	20	0	0.00	83.00	136	47	0.00	0.19	0.19
sever	S6	časná	20	20	0	0.00	21.25	32	12	0.00	0.19	0.19
jih	J1	časná	20	19	0	0.00	80.00	140	46	0.00	0.41	0.41
jih	J2	časná	20	18	3	0.17	47.00	55	37	0.00	0.41	0.41
jih	J3	časná	20	19	0	0.00	27.50	54	5	0.00	0.41	0.41
jih	J4	časná	20	20	0	0.00	39.00	72	26	0.00	0.41	0.41
jih	J5	časná	20	18	0	0.00	49.25	58	45	0.00	0.41	0.41
jih	J6	časná	20	19	0	0.00	46.25	63	28	0.00	0.41	0.41
les	L1	časná	20	18	4	0.22	26.00	35	18	0.73	0.00	0.73
les	L2	časná	0	NA	NA	NA	21.75	29	16	0.73	0.00	0.73
les	L3	časná	20	20	0	0.00	11.00	13	7	0.73	0.00	0.73
les	L4	časná	20	19	1	0.05	10.00	13	8	0.73	0.00	0.73
les	L5	časná	20	21	4	0.19	58.75	67	53	0.73	0.00	0.73
les	L6	časná	20	19	1	0.05	13.50	28	5	0.73	0.00	0.73
západ	Z1	časná	20	17	1	0.06	62.75	98	33	0.57	0.00	0.57
západ	Z2	časná	20	18	0	0.00	74.25	130	22	0.57	0.00	0.57
západ	Z3	časná	20	19	1	0.05	35.75	64	24	0.57	0.00	0.57
západ	Z4	časná	0	NA	NA	NA	33.00	42	16	0.57	0.00	0.57
západ	Z5	časná	0	NA	NA	NA	47.25	74	15	0.57	0.00	0.57
západ	Z6	časná	20	14	2	0.14	67.75	77	57	0.57	0.00	0.57
sever	S1	pozdní	20	19	13	0.68	15.25	22	6	2.52	0.53	3.09
sever	S2	pozdní	20	18	14	0.78	19.75	30	9	2.52	0.53	3.09
sever	S3	pozdní	20	18	16	0.89	8.50	15	5	2.52	0.53	3.09
sever	S4	pozdní	20	20	16	0.80	12.00	15	9	2.52	0.53	3.09
sever	S5	pozdní	20	20	16	0.80	9.25	16	4	2.52	0.53	3.09
sever	S6	pozdní	20	19	16	0.84	11.75	15	7	2.52	0.53	3.09
jih	J1	pozdní	30	29	13	0.45	12.50	18	8	3.94	0.09	4.01
jih	J2	pozdní	30	28	21	0.75	18.25	27	10	3.94	0.09	4.01
jih	J3	pozdní	20	NA	NA	NA	2.50	4	1	3.94	0.09	4.01
jih	J4	pozdní	20	18	7	0.39	4.00	10	1	3.94	0.09	4.01
jih	J5	pozdní	20	19	13	0.68	9.25	13	4	3.94	0.09	4.01
jih	J6	pozdní	20	18	17	0.94	10.50	16	7	3.94	0.09	4.01
les	L1	pozdní	20	18	13	0.72	4.25	9	0	2.29	0.59	2.70
les	L2	pozdní	20	15	11	0.73	4.75	12	2	2.29	0.59	2.70
les	L3	pozdní	20	20	5	0.25	13.50	26	2	2.29	0.59	2.70
les	L4	pozdní	0	NA	NA	NA	0.00	0	0	2.29	0.59	2.70
les	L5	pozdní	40	35	22	0.63	2.00	6	0	2.29	0.59	2.70
les	L6	pozdní	0	NA	NA	NA	0.50	2	0	2.29	0.59	2.70
západ	Z1	pozdní	20	18	17	0.94	17.25	22	12	5.40	1.14	6.43
západ	Z2	pozdní	20	17	15	0.88	25.50	31	14	5.40	1.14	6.43
západ	Z3	pozdní	20	19	19	1.00	15.00	20	8	5.40	1.14	6.43
západ	Z4	pozdní	20	18	14	0.78	24.25	36	15	5.40	1.14	6.43
západ	Z5	pozdní	20	17	14	0.82	37.75	68	6	5.40	1.14	6.43
západ	Z6	pozdní	20	19	18	0.95	19.00	26	9	5.40	1.14	6.43

## Příloha 4: Počet opylovačů zaznamenaných na kamery

Den	Fáze	Lokalita	Plocha	Kamera	Počet čmeláků	Počet ostatních opylovačů	Součet všech opylovačů
den08	časná	sever	S2	H	0	1	1
den08	časná	les	L3	G	3	1	4
den08	časná	sever	S3	F	0	0	0
den08	časná	les	L2	E	0	0	0
den08	časná	les	L1	B	0	0	0
den08	časná	sever	S1	A	0	0	0
den09	časná	západ	Z1	H	0	0	0
den09	časná	jih	J1	G	0	0	0
den09	časná	sever	S5	F	0	0	0
den09	časná	les	L4	E	2	0	2
den09	časná	sever	S6	C	0	0	0
den09	časná	jih	J3	B	0	3	3
den09	časná	les	L6	A	0	0	0
den09	časná	západ	Z3	GP	1	0	1
den10	časná	jih	J5	B	NA	NA	NA
den10	časná	jih	J4	H	3	0	3
den10	časná	jih	J6	G	0	0	0
den10	časná	západ	Z5	E	0	3	3
den10	časná	západ	Z4	A	NA	NA	NA
den10	časná	západ	Z6	GP	0	0	0
den10	časná	sever	S5	F	NA	NA	NA
den10	časná	les	L5	C	NA	NA	NA
den13	časná	les	L6	E	0	0	0
den13	časná	les	I4	GP	2	0	2
den13	časná	sever	S4	A	0	1	1
den13	časná	sever	S2	G	0	0	0
den13	časná	západ	Z4	C	2	0	2
den13	časná	západ	Z2	F	0	0	0
den13	časná	jih	J3	H	0	0	0
den13	časná	jih	J4	B	NA	NA	NA
den27	pozdní	les	L2	B	8	4	12
den27	pozdní	les	L4	GP	5	0	5
den27	pozdní	sever	S5	A	10	4	14
den27	pozdní	sever	S2	E	4	1	5
den27	pozdní	západ	Z2	H	18	2	20
den27	pozdní	jih	J4	C	3	0	3
den27	pozdní	jih	J2	G	21	0	21
den29	pozdní	les	L3	F	6	1	7
den29	pozdní	les	L6	A	0	0	0
den29	pozdní	sever	S4	GP	8	0	8
den29	pozdní	sever	S1	E	1	0	1
den29	pozdní	jih	J1	B	7	1	8
den29	pozdní	jih	J6	H	4	0	4
den29	pozdní	západ	Z4	G	12	2	14
den29	pozdní	západ	Z1	C	0	0	0
den30	pozdní	les	L1	A	5	1	6
den30	pozdní	les	L4	F	2	1	3
den30	pozdní	sever	S6	E	1	2	3
den30	pozdní	sever	S3	B	2	0	2
den30	pozdní	západ	Z3	C	4	3	7
den30	pozdní	západ	Z5	G	5	1	6
den30	pozdní	jih	J5	H	1	0	1
den30	pozdní	jih	J1	GP	4	0	4
den31	pozdní	les	L3	H	0	0	0
den31	pozdní	les	L4	C	1	0	1
den31	pozdní	sever	S5	E	3	0	3
den31	pozdní	sever	S2	A	0	0	0
den31	pozdní	západ	Z2	F	3	1	4
den31	pozdní	západ	Z4	B	4	0	4
den31	pozdní	jih	J4	G	1	0	1
den31	pozdní	jih	J2	GP	4	0	4

## Příloha 5: Průměrné a maximální rychlosti větru (m/s)

den	lokalita	plocha	max	av	začátek úseku	konec úseku	den	lokalita	plocha	max	av	začátek úseku	konec úseku
1	sever	S2	3.5	0.5	2020-05-08 06:56:00 UTC	2020-05-08 08:38:00 UTC	4	sever	S7	5.1	1.3	2020-05-13 13:39:00 UTC	2020-05-13 14:37:00 UTC
1	sever	S2	3.9	1	2020-05-08 08:38:00 UTC	2020-05-08 09:47:00 UTC	4	sever	S7	5.1	1.3	2020-05-13 14:37:00 UTC	2020-05-13 15:22:00 UTC
1	sever	S2	4.1	1.2	2020-05-08 09:47:00 UTC	2020-05-08 10:45:00 UTC	5	les	L2	0	0	2020-05-27 07:49:00 UTC	2020-05-27 09:12:00 UTC
1	sever	S2	5.1	1.5	2020-05-08 10:45:00 UTC	2020-05-08 11:38:00 UTC	5	les	L2	1.1	0	2020-05-27 09:12:00 UTC	2020-05-27 10:09:00 UTC
1	sever	S2	4.7	1.3	2020-05-08 11:38:00 UTC	2020-05-08 13:21:00 UTC	5	les	L2	1.8	0.1	2020-05-27 10:09:00 UTC	2020-05-27 11:50:00 UTC
1	sever	S2	5.7	1.5	2020-05-08 13:21:00 UTC	2020-05-08 15:10:00 UTC	5	les	L2	1.7	0.1	2020-05-27 11:50:00 UTC	2020-05-27 13:17:00 UTC
1	les	L3	0.8	0	2020-05-08 07:50:00 UTC	2020-05-08 09:09:00 UTC	5	les	L2	1.7	0.3	2020-05-27 13:17:00 UTC	2020-05-27 14:30:00 UTC
1	les	L3	0.8	0	2020-05-08 09:09:00 UTC	2020-05-08 10:06:00 UTC	5	les	L2	1.9	0.3	2020-05-27 14:30:00 UTC	2020-05-27 15:35:00 UTC
1	les	L3	0.5	0	2020-05-08 10:06:00 UTC	2020-05-08 11:10:00 UTC	5	les	L2	1.2	0	2020-05-27 15:35:00 UTC	2020-05-27 16:35:00 UTC
1	les	L3	1.5	0	2020-05-08 11:21:00 UTC	2020-05-08 12:21:00 UTC	5	sever	S	5.3	2	2020-05-27 08:10:00 UTC	2020-05-27 09:17:00 UTC
1	les	L3	1.3	0.1	2020-05-08 12:21:00 UTC	2020-05-08 13:15:00 UTC	5	sever	S	5.1	2.2	2020-05-27 09:17:00 UTC	2020-05-27 10:22:00 UTC
1	les	L3	1.4	0	2020-05-08 13:15:00 UTC	2020-05-08 14:20:00 UTC	5	sever	S	4.8	2	2020-05-27 10:22:00 UTC	2020-05-27 11:48:00 UTC
1	les	L3	1.2	0	2020-05-08 14:20:00 UTC	2020-05-08 15:40:00 UTC	5	sever	S	5.1	1.7	2020-05-27 11:48:00 UTC	2020-05-27 13:15:00 UTC
2	les	L1	1.3	0.3	2020-05-09 07:23:00 UTC	2020-05-09 08:27:00 UTC	5	sever	S	5.3	1.9	2020-05-27 13:15:00 UTC	2020-05-27 14:35:00 UTC
2	les	L1	1.4	0	2020-05-09 09:37:00 UTC	2020-05-09 11:15:00 UTC	5	sever	S	5.5	1.8	2020-05-27 14:35:00 UTC	2020-05-27 15:30:00 UTC
2	les	L1	1.2	0	2020-05-09 11:15:00 UTC	2020-05-09 12:17:00 UTC	5	sever	S	5.7	1.8	2020-05-27 15:30:00 UTC	2020-05-27 17:08:00 UTC
2	les	L1	1.1	0	2020-05-09 12:17:00 UTC	2020-05-09 13:00:00 UTC	6	zapad	Z4	3.8	0.9	2020-05-29 09:03:00 UTC	2020-05-29 10:16:00 UTC
2	les	L1	1.4	0.2	2020-05-09 13:00:00 UTC	2020-05-09 13:48:00 UTC	6	zapad	Z4	5.3	1.4	2020-05-29 10:16:00 UTC	2020-05-29 11:18:00 UTC
2	jih	J1	4.2	1.3	2020-05-09 07:47:00 UTC	2020-05-09 09:10:00 UTC	6	zapad	Z4	5.1	1.5	2020-05-29 11:18:00 UTC	2020-05-29 12:29:00 UTC
2	jih	J1	2.8	0.7	2020-05-09 09:10:00 UTC	2020-05-09 10:13:00 UTC	6	zapad	Z4	5.3	1.5	2020-05-29 12:29:00 UTC	2020-05-29 13:37:00 UTC
2	jih	J1	2.7	1	2020-05-09 10:13:00 UTC	2020-05-09 11:06:00 UTC	6	zapad	Z4	5.2	1.3	2020-05-29 13:37:00 UTC	2020-05-29 15:05:00 UTC
2	jih	J1	4.1	1.1	2020-05-09 11:06:00 UTC	2020-05-09 12:29:00 UTC	6	zapad	Z4	4	1.2	2020-05-29 15:05:00 UTC	2020-05-29 16:10:00 UTC
2	jih	J1	3	0.8	2020-05-09 12:29:00 UTC	2020-05-09 13:25:00 UTC	6	jih	J1	3.5	1.1	2020-05-29 08:42:00 UTC	2020-05-29 10:14:00 UTC
2	jih	J1	3.2	1	2020-05-09 13:25:00 UTC	2020-05-09 14:32:00 UTC	6	jih	J1	5.7	1.5	2020-05-29 10:14:00 UTC	2020-05-29 11:02:00 UTC
3	zapad	Z2	2.7	0.4	2020-05-09 08:14:00 UTC	2020-05-09 10:05:00 UTC	6	jih	J1	5.5	1.6	2020-05-29 11:06:00 UTC	2020-05-29 12:31:00 UTC
3	zapad	Z2	2.9	0.7	2020-05-09 10:05:00 UTC	2020-05-09 11:16:00 UTC	6	jih	J1	4.8	1.5	2020-05-29 12:31:00 UTC	2020-05-29 13:43:00 UTC
3	zapad	Z2	3.2	0.8	2020-05-09 11:16:00 UTC	2020-05-09 12:10:00 UTC	6	jih	J1	5.8	1.4	2020-05-29 13:43:00 UTC	2020-05-29 14:51:00 UTC
3	zapad	Z2	3.5	0.8	2020-05-09 12:10:00 UTC	2020-05-09 13:19:00 UTC	6	jih	J1	6	1.6	2020-05-29 14:51:00 UTC	2020-05-29 16:05:00 UTC
3	zapad	Z2	4.1	1.6	2020-05-09 13:19:00 UTC	2020-05-09 14:05:00 UTC	7	zapad	Z3	6.7	2.5	2020-05-30 09:57:00 UTC	2020-05-30 11:02:00 UTC
3	jih	J5	3.4	0.6	2020-05-09 08:25:00 UTC	2020-05-09 10:03:00 UTC	7	zapad	Z3	5.8	2.1	2020-05-30 11:02:00 UTC	2020-05-30 11:40:00 UTC
3	jih	J5	3.7	1.1	2020-05-09 10:03:00 UTC	2020-05-09 11:10:00 UTC	7	zapad	Z3	8.1	3	2020-05-30 11:40:00 UTC	2020-05-30 13:18:00 UTC
3	jih	J5	3.9	1.1	2020-05-09 11:10:00 UTC	2020-05-09 12:08:00 UTC	7	zapad	Z3	8.8	2.7	2020-05-30 13:18:00 UTC	2020-05-30 14:30:00 UTC
3	jih	J5	3.9	1.2	2020-05-09 12:08:00 UTC	2020-05-09 13:16:00 UTC	7	zapad	Z3	6.7	2.5	2020-05-30 14:30:00 UTC	2020-05-30 15:41:00 UTC
3	jih	J5	5	2	2020-05-09 13:16:00 UTC	2020-05-09 14:18:00 UTC	7	zapad	Z3	7.3	2.4	2020-05-30 15:41:00 UTC	2020-05-30 16:17:00 UTC
4	les	L6	2.1	0.5	2020-05-13 08:40:00 UTC	2020-05-13 10:16:00 UTC	7	sever	S6	5.5	2.2	2020-05-30 10:05:00 UTC	2020-05-30 11:07:00 UTC
4	les	L6	2.5	0.5	2020-05-13 10:16:00 UTC	2020-05-13 11:29:00 UTC	7	sever	S6	5	2	2020-05-30 11:07:00 UTC	2020-05-30 11:45:00 UTC
4	les	L6	2.6	0.8	2020-05-13 11:29:00 UTC	2020-05-13 12:24:00 UTC	7	sever	S6	5.6	2.5	2020-05-30 11:45:00 UTC	2020-05-30 13:12:00 UTC
4	les	L6	2.5	0.4	2020-05-13 12:24:00 UTC	2020-05-13 13:41:00 UTC	7	sever	S6	6.8	2.4	2020-05-30 13:12:00 UTC	2020-05-30 14:13:00 UTC
4	les	L6	1.5	0.3	2020-05-13 13:41:00 UTC	2020-05-13 14:41:00 UTC	7	sever	S6	6.7	2.1	2020-05-30 14:13:00 UTC	2020-05-30 15:35:00 UTC
4	les	L6	1.3	0.3	2020-05-13 14:41:00 UTC	2020-05-13 15:29:00 UTC	7	sever	S6	4.6	1.9	2020-05-30 15:35:00 UTC	2020-05-30 16:18:00 UTC
4	sever	S7	3.3	1.2	2020-05-13 09:30:00 UTC	2020-05-13 10:21:00 UTC	8	sever	S2	4.7	1.4	2020-05-31 08:22:00 UTC	2020-05-31 09:43:00 UTC
4	sever	S7	3.7	1.3	2020-05-13 10:21:00 UTC	2020-05-13 11:33:00 UTC	8	sever	S2	5	1.9	2020-05-31 09:43:00 UTC	2020-05-31 10:31:00 UTC
4	sever	S7	5	1.6	2020-05-13 11:33:00 UTC	2020-05-13 12:38:00 UTC	8	zapad	Z4	3.5	1.3	2020-05-31 08:41:00 UTC	2020-05-31 09:38:00 UTC
4	sever	S7	3.8	1.2	2020-05-13 12:38:00 UTC	2020-05-13 13:39:00 UTC	8	zapad	Z4	4.3	1.6	2020-05-31 09:38:00 UTC	2020-05-31 10:38:00 UTC

## Příloha 6: Počet květů okolo experimentálních ploch

Fáze	Lokalita	Plocha	Počet květů				Fáze	Lokalita	Plocha	Počet květů			
časná	sever	S1	39	24	50	53	pozdní	sever	S1	18	6	15	22
časná	sever	S2	33	64	54	120	pozdní	sever	S2	12	30	28	9
časná	sever	S3	30	34	43	23	pozdní	sever	S3	7	15	7	5
časná	sever	S4	46	21	84	104	pozdní	sever	S4	9	15	10	14
časná	sever	S5	136	47	102	47	pozdní	sever	S5	10	16	7	4
časná	sever	S6	17	32	12	24	pozdní	sever	S6	7	15	11	14
časná	jih	J1	54	140	80	46	pozdní	jih	J1	8	18	16	8
časná	jih	J2	37	55	53	43	pozdní	jih	J2	24	27	12	10
časná	jih	J3	15	36	54	5	pozdní	jih	J3	2	3	4	1
časná	jih	J4	30	72	26	28	pozdní	jih	J4	1	1	4	10
časná	jih	J5	45	48	58	46	pozdní	jih	J5	13	4	8	12
časná	jih	J6	50	44	63	28	pozdní	jih	J6	10	16	7	9
časná	západ	Z1	60	33	60	98	pozdní	západ	Z1	21	22	14	12
časná	západ	Z2	22	130	70	75	pozdní	západ	Z2	29	14	28	31
časná	západ	Z3	30	24	25	64	pozdní	západ	Z3	20	8	18	14
časná	západ	Z4	34	40	42	16	pozdní	západ	Z4	36	15	22	24
časná	západ	Z5	34	74	15	66	pozdní	západ	Z5	37	68	40	6
časná	západ	Z6	72	57	65	77	pozdní	západ	Z6	26	21	9	20
časná	les	L1	35	28	18	23	pozdní	les	L1	9	4	0	4
časná	les	L2	16	17	29	25	pozdní	les	L2	2	12	3	2
časná	les	L3	13	12	7	12	pozdní	les	L3	26	2	12	14
časná	les	L4	13	8	9	10	pozdní	les	L4	0	0	0	0
časná	les	L5	54	61	67	53	pozdní	les	L5	6	2	0	0
časná	les	L6	28	5	16	5	pozdní	les	L6	2	0	0	0

## Příloha 7: Váha plodů (g) a počet semen

Číslo	Váha plodu	Počet semen	Počet abortů	Číslo	Váha plodu	Počet semen	Počet abortů	Číslo	Váha plodu	Počet semen	Počet abortů	Číslo	Váha plodu	Počet semen	Počet abortů	Číslo	Váha plodu	Počet semen	Počet abortů
1	0.13	61	9	31	0.04	14	45	61	0.06	42	29	91	0.16	55	17	121	0.10	43	9
2	0.15	25	13	32	0.03	16	19	62	0.05	26	19	92	0.16	50	19	122	0.03	6	58
3	0.08	27	41	33	0.04	11	26	63	0.05	9	41	93	0.14	49	7	123	0.06	22	30
4	0.07	21	29	34	0.10	50	25	64	0.07	16	32	94	0.11	54	23	124	0.05	21	22
5	0.05	49	19	35	0.04	34	26	65	0.05	42	12	95	0.13	47	22	125	0.04	27	53
6	0.09	27	23	36	0.07	30	20	66	0.05	34	28	96	0.15	54	23	126	0.08	58	9
7	0.06	25	14	37	0.04	31	20	67	0.05	14	38	97	0.09	30	36	127	0.08	49	8
8	0.10	34	28	38	0.14	20	35	68	0.04	12	41	98	0.07	34	17	128	0.06	46	16
9	0.21	43	15	39	0.14	23	39	69	0.05	49	8	99	0.06	18	40	129	0.05	21	68
10	0.08	30	11	40	0.08	50	9	70	0.04	15	20	100	0.09	24	26	130	0.04	16	38
11	0.13	47	10	41	0.12	34	36	71	0.06	51	17	101	0.04	27	23	131	0.06	53	7
12	0.13	36	24	42	0.03	10	61	72	0.07	31	8	102	0.07	45	15	132	0.05	17	39
13	0.14	43	18	43	0.06	19	36	73	0.06	31	23	103	0.11	54	25	133	0.07	23	25
14	0.09	14	51	44	0.07	25	33	74	0.08	30	31	104	0.14	54	18	134	0.04	35	12
15	0.09	32	25	45	0.09	21	13	75	0.05	39	14	105	0.10	29	47	135	0.05	43	18
16	0.14	57	9	46	0.12	36	23	76	0.09	18	28	106	0.06	56	20	136	0.03	13	29
17	0.14	19	20	47	0.08	47	35	77	0.05	26	23	107	0.10	41	21	137	0.04	9	47
18	0.08	28	28	48	0.05	16	15	78	0.04	33	14	108	0.05	40	5	138	0.04	19	34
19	0.11	31	31	49	0.03	13	32	79	0.03	20	17	109	0.08	46	13	139	0.04	39	33
20	0.08	22	19	50	0.07	17	38	80	0.04	23	15	110	0.11	37	29	140	0.03	12	22
21	0.04	26	9	51	0.07	28	46	81	0.05	36	26	111	0.07	47	11	141	0.05	19	25
22	0.06	23	27	52	0.06	23	31	82	0.03	16	29	112	0.06	24	31	142	0.04	15	36
23	0.05	48	18	53	0.07	21	48	83	0.04	6	37	113	0.09	43	26	143	0.06	46	12
24	0.13	8	59	54	0.07	52	16	84	0.03	9	54	114	0.05	26	21	144	0.05	38	19
25	0.04	41	5	55	0.06	14	32	85	0.04	12	47	115	0.06	21	41	145	0.07	23	29
26	0.09	27	20	56	0.05	20	34	86	0.04	18	21	116	0.08	28	9	146	0.06	32	34
27	0.05	24	37	57	0.05	39	16	87	0.04	15	19	117	0.05	55	5	147	0.03	6	33
28	0.08	42	22	58	0.06	12	38	88	0.03	10	47	118	0.08	27	13	148	0.06	45	12
29	0.07	34	35	59	0.06	24	13	89	0.04	24	30	119	0.09	36	20	149	0.05	45	17
30	0.08	23	18	60	0.11	40	31	90	0.08	23	37	120	0.08	24	18	150	0.04	22	25