

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra biologie

**Studium opylování květů zvonovce liliolistého
(*Adenophora liliifolia*) na jeho přirozených
lokality v České republice**

Bakalářská práce

Autor: Eliška Aubrechtová
Studijní program: B1501 Biologie
Studijní obor: Systematická biologie a ekologie
Vedoucí práce: RNDr. Romana Prausová, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Autor: Eliška Aubrechtová

Studium: S18BI001BP

Studijní program: B1501 Biologie

Studijní obor: Systematická biologie a ekologie

Název bakalářské práce: **Studium opylování květů zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) na jeho přirozených lokalitách v České republice**

Název bakalářské práce AJ: Study of pollination of *Adenophora liliifolia* flowers in its natural sites in the Czech Republic

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Bakalářská práce se zabývá studiem opylování květů zvonovce liliolistého, kriticky ohroženého druhu cévnaté rostliny, která v současné době přežívá na posledních 5 lokalitách v ČR. Přestože je tento vzácný druh předmětem zájmu mnoha studií, nejsou zatím jednoznačné informace o způsobu opylování květů. Vzhledem k atraktivnosti květů se předpokládá entomogamie, v dostupných studiích není vyloučena ani anemogamie nebo apomixie. Pomocí manipulačních experimentů budou na konkrétních lokalitách ověřeny možnosti těchto tří způsobů opylení, resp. splynutí pohlavních buněk vedoucí k vývoji dostatečně vyvinutých plodů s dostatečným počtem kvalitních semen. Součástí studie bude též pozorování dalších faktorů, které mohou znemožnit dozrání plodů a semen, např. herbivorie, napadení rostlin houbovými patogeny apod. Práce bude realizována na lokalitách, kde rostliny kontinuálně (mnoho let za sebou) kvetou a plodí, tj. lokalita Vražba ve východních Čechách, lokalita Báň u Žehuně, lokalita u cesty Hadovky ve Džbáně, případně luční lokalita Babínské louky v Českém středohoří.

Klíčová slova: zvonovec liliolistý, opylování, herbivorie, apomixie

Kovanda M., 1998: Zvonovec vonný, *Adenophora liliifolia* (L.) Bess., na Moravě a ve Slezsku. Časopis Slezského zemského muzea, ser. A, Vědy přírodní, 47, s. 13718

Kovanda M., 2000: *Adenophora Fisch. ? zvonovec*. In: Slavík B.: Květena České republiky 6. Academia, Praha, 748 p.

Kyselová H., 2019: Studium životního cyklu a fenologie zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*). Hradec Králové: Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, 2019. 46 s. Bakalářská práce.

Marečková L., 2010: Sledování populace zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v lokalitě Vražba na Jaroměřsku ve vztahu k managementu jeho biotopu. Hradec Králové: Pedagogická fakulta Univerzity Hradec Králové, 2010. 48 s. Bakalářská práce.

Prausová R., Marečková L., 2017: Proč je zvonovec liliolistý chráněný soustavou Natura 2000?. Živa. Praha, 4: 1597166

Prausová R., Rybka V., Čepelová B., Marečková L., 2018: Záchraný program pro zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) v České republice. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky.

Prausová R., Truhlářová K., 2009: Zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) v evropsky významné lokalitě Vražba v lesním komplexu u obce Habřina na Královéhradecku. In Vč. Sb. Přír. - Práce a studie., s. 83-110., Pardubice.

Rybka V., Rybková R., Pohlová R., 2004: Rostliny ve svitu evropských hvězd. Sagittaria, Olomouc, Praha, 22

Garantující pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: RNDr. Romana Prausová, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 23.1.2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, ze kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

Eliška Aubrechtová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí práce RNDr. Romaně Prausové, Ph.D. za věnovaný čas a trpělivost při vedení práce, za rady a připomínky poskytnuté k úpravě textu a za pomoc při statistickém zpracování výsledků. Dále bych chtěla poděkovat Markovi Depeši za poskytnutí fotografií z terénu.

Anotace

AUBRECHTOVÁ, Eliška. Studium opylování květů zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) na jeho přirozených lokalitách v České republice. Hradec Králové: Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, 2021. 69 s. Bakalářská práce.

Bakalářská práce se zabývá studiem opylování květů zvonovce liliolistého, kriticky ohroženého druhu cévnaté rostliny, která v současné době přežívá na posledních 5 lokalitách v ČR. Přestože je tento vzácný druh předmětem zájmu mnoha studií, nejsou zatím jednoznačné informace o způsobu opylování květů. Vzhledem k atraktivnosti květů se předpokládá entomogamie, v dostupných studiích není vyloučena ani anemogamie nebo apomixie. Pomocí manipulačních experimentů budou na konkrétních lokalitách ověřeny možnosti těchto tří způsobů opylení, resp. splynutí pohlavních buněk vedoucí k vývoji dostatečně vyvinutých plodů s dostatečným počtem kvalitních semen. Součástí studie bude též pozorování dalších faktorů, které mohou znemožnit dozrání plodů a semen, např. herbivorie, napadení rostlin houbovými patogeny apod. Práce bude realizována na lokalitách, kde rostliny kontinuálně (mnoho let za sebou) kvetou a plodí, tj. lokalita Vražba ve východních Čechách, lokalita Bář u Žehuně, lokalita u cesty Hadovky ve Džbánu, případně luční lokalita Babínské louky v Českém středohoří.

Klíčová slova: zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*), opylování, herbivorie, apomixie

Annotation

AUBRECHTOVÁ, Eliška. Study of pollination of *Adenophora liliifolia* flowers in its natural sites in the Czech Republic. Hradec Králové: Faculty of Science, University of Hradec Králové, 2021. 69 s. Bachelor thesis.

The bachelor thesis deals with the study of pollination of the *Adenophora liliifolia* blooms, a critically endangered species of vascular plant, which currently survives in the last 5 habitats in the Czech Republic. Though this rare species is of interest in many studies, so far there is no definite information on the way of bloom pollination. Due to attractiveness of its blooms, the entomogamy is expected, but in available studies, anemogamy or apomixia is also not excluded. Through manipulation experiments, we will verify the possibilities of these three methods of pollination at specific habitats, resp. the fusion of germ cells leading to development that ensures fully developed crops with a sufficient amount of quality seeds. The study will also include the observation of other factors that may prevent fruit and sperm ripening, such as herbivory, infestation of plants with fungal pathogens, etc. The work will be carried out in habitats where plants continuously (many years in a row) bloom and bear fruit, i.e. the locality Vražba in Eastern Bohemia, locality Bář u Žehuně, locality by the path Hadovka in Džbán, or meadow locality Babínské louky in the Bohemian Central Mountains.

Key words: ladybells (*Adenophora liliifolia*), pollination, herbivory, apomixia

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 9 |
| 1 Teoretická část..... | 10 |
| 1.1 Charakteristika druhu..... | 10 |
| 1.2 Výskyt druhu | 11 |
| 1.2.1 Výskyt v České republice | 11 |
| 1.2.2 Výskyt ve světě..... | 12 |
| 1.3 Ohrožení a ochrana druhu | 13 |
| 1.4 Ekologické nároky druhu | 15 |
| 1.5 Fenologie druhu..... | 16 |
| 1.6 Opylování..... | 18 |
| 1.6.1 Entomogamie..... | 19 |
| 1.6.2 Anemogamie | 20 |
| 1.6.3 Apomixie..... | 21 |
| 1.7 Houbové patogeny..... | 22 |
| 2 Metodika | 24 |
| 2.1 Charakteristika území..... | 24 |
| 2.1.1 PP Vražba..... | 24 |
| 2.1.2 PR Karlické údolí..... | 25 |
| 2.2 Výroba a umístění ochrany na květy | 26 |
| 2.3 Zpracování tobolek a sběr dat..... | 28 |
| 2.4 Vyhodnocení dat..... | 29 |
| 3 Výsledky | 31 |
| 3.1 Poměry vyvinutých a nevyvinutých tobolek..... | 31 |
| 3.2 Morfometrické měření semen a tobolek..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.2.1 Rozměry tobolek..... | 33 |
| 3.2.2 Rozměry semen | 36 |
| 3.2.3 Porovnání vyvinutých a nevyvinutých tobolek a semen | 39 |
| 3.3 Srovnání lokalit..... | 43 |
| 3.4 Vliv houbových patogenů..... | 47 |
| 3.5 Přítomnost potenciálních opylovačů na tobolkách | 48 |
| 4 Diskuze | 51 |
| 4.1 Srovnání výsledků morfometrického měření tobolek a semen s dostupnými daty | 51 |
| 4.2 Posouzení výsledků manipulačního experimentu | 51 |
| 4.3 Posouzení vlivu houbových patogenů..... | 52 |
| Závěr | 54 |
| Literatura | 55 |
| Přílohy..... | 60 |
| Příloha I – tabulky | 61 |
| Příloha II – fotodokumentace..... | 64 |

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tématem opylování kriticky ohroženého druhu, zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*). Tento druh se v České republice současně vyskytuje na posledních šesti lokalitách (AOPK ČR, 2021a), přičemž pozorování v rámci bakalářské práce probíhalo na dvou z těchto lokalit. První lokalitou je PP Vražba, která se nachází u obce Habřina v Královéhradeckém kraji. Druhou lokalitou je PR Karlické údolí nacházející se v Českém krasu ve Středočeském kraji.

V dostupných zdrojích se uvádí jako způsob opylování zvonovce entomogamie, anemogamie, apomixie i autogamie, avšak tyto způsoby opylení nejsou u tohoto druhu blíže prozkoumané a chybějí tak studie, která by to pomohla objasnit. Právě proto je tato práce zaměřená na tuto problematiku, aby pomohla rozšířit znalosti a pomoci tak k ochraně tohoto kriticky ohroženého druhu.

Cílem bakalářské práce je provedení manipulačního experimentu na lokalitách, který se využije při studiu způsobu opylování. Zvolenou metodou se dá zjistit, zda dochází k opylování pomocí hmyzu, tedy entomogamií. Součástí studie je též sledování rozdílů mezi vyvinutými a nevyvinutými tobolkami a semeny. Dle změřených rozměrů budou také současně mezi sebou srovnány obě lokality. Dále bude pozorován výskyt houbových parazitů na plodech a jejich možný vliv na jejich dozrávání.

1 Teoretická část

1.1 Charakteristika druhu

Zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*), někdy také zvaný jako zvonovec vonný (Kovanda, 1998; Rybka et al. 2004), je vytrvalá rostlina patřící mezi vyšší dvouděložné rostliny (*Rosopsida*), do řádu hvězdnicotvaré (*Asterales*), čeledi zvonkovité (*Campanulaceae*), rodu zvonovec (*Adenophora*) (Kubát et al., 2002).

Rostlina má řepovitý či vřetenovitý, větvený kořen (Kovanda, 2000). Ten slouží k přečkání nepříznivých období, kdy z něj následně při nástupu vhodných podmínek vyrůstají lodyhy (Prausová et Marečková, 2017).

Jedinci mají jednu či více lodyh (Prausová et Truhlářová, 2009) dorůstající průměrně 40–90 cm, avšak mohou dorůst i přes jeden metr (Kovanda, 2000). Například na polské lokalitě Kisielany mají rostliny průměrnou výšku 149 cm a byla zachycena rostlina o výšce 205 cm (Ciosek, 2006). Na české lokalitě Vražba zachytila Kyselová (2019) lodyhu o délce 176 cm.

Z lodyhy vyrůstají přízemní listy s dlouhým řapíkem a čepelí srdčité okrouhlou a hrubě pilovitou. Tyto přízemní listy brzo zasychají a na rostlině zůstávají listy lodyžní. Ty jsou na lodyze umístěny střídavě, oproti přízemním listům mají krátký řapík nebo jsou klínovitě přisedlé k lodyze. Čepel je pilovitá až celokrajná, obvejčitá až široce eliptická či kopinatá (Kovanda, 2000).

Květenství je u menších rostlin nevětvené, u větších rostlin se pak lodyha větví v květenství, která mohou mít až několik desítek větví. Například Prausová et Truhlářová (2009) uvádějí jako nejvyšší počet, na jednoho jedince v lokalitě PP Vražba, 86 větví květenství. Květy jsou převislé na tenkých stopkách. U nevětvených květenství jsou uspořádány v hroznech, u větvených pak v bohatých latách. Kališní cípy květů jsou úzce trojúhelníkovité, zašpičatělé a jemně pilovité. Koruna má zvonkovitý tvar, je bledě modrá až zcela bílá (Kovanda, 2000). Květy jsou vonné a vyčnívají z nich dlouhá blizna, což odlišuje zvonovec liliolistý od ostatních druhů zvonkovitých (Rybka et al., 2004).

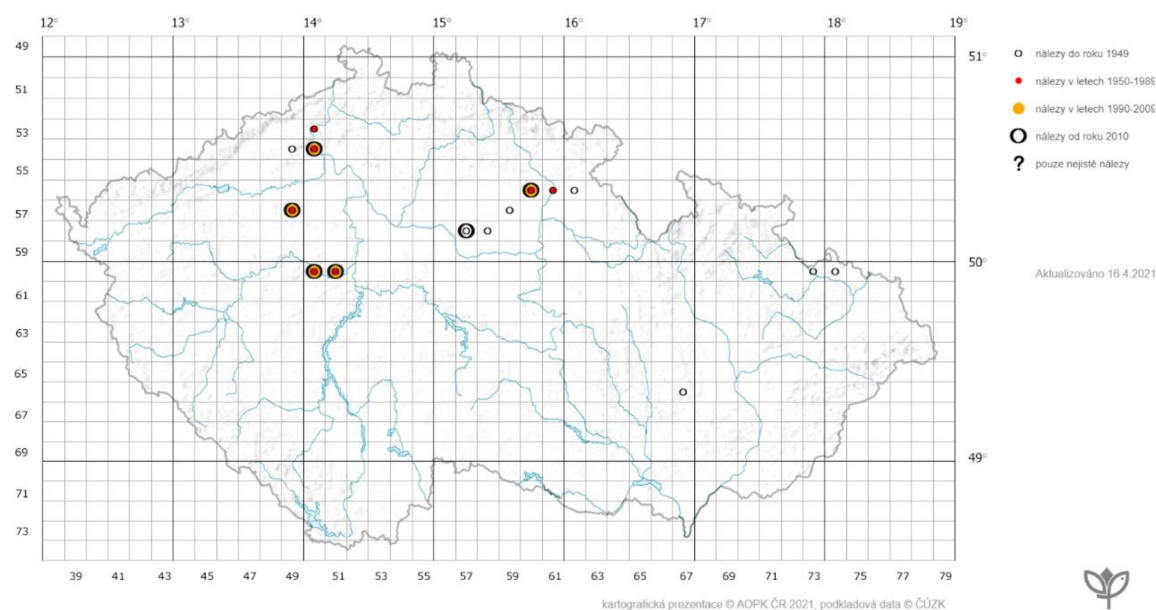
Po opylení květů se vyvíjejí plody, tobolky hruškovitého tvaru, v průměru 8-12 mm dlouhé. Semena v tobolkách jsou průměrně 2-2,5 mm dlouhá, jsou zploštělá a mají

rezavě hnědou barvu (Kovanda, 2000). Šíří se anemochoricky (AOPK ČR, 2021b; Kovanda, 2000).

1.2 Výskyt druhu

1.2.1 Výskyt v České republice

Území v České republice se nachází na okraji souvislého evropského areálu zvonovce liliolistého. Do dnešní doby se v České republice dochovalo z původních 20 lokalit pouze 6 (Obr. 1) (Prausová et al., 2020). Jedná se o lokalitu PP Babinské louky v Českém Středoohoří, Bílichovské údolí ve Džbánu (Brabec et Hadinec, 2005; Štefánek et al., 2009), v Českém krasu jsou to NPR Karlštejn a PR Karlické údolí, ve východních Čechách nedaleko obce Habřina v PP Vražba (Prausová et al., 2020; Rybka et al., 2004) a PP Žehuňsko (Roleček et Šťastný, 2020). Na Moravě a ve Slezsku zřejmě zcela chybí (Kovanda, 1998).



Obr. 1: Současné a historické rozšíření zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v České republice (AOPK ČR, 2021)

V Českém krasu se zvonovec vyskytuje v NPR Karlštejn na čtyřech mikrolokalitách, a to ve velké oplocence Na Mořině, U hájovny a V kalhotách (Prausová et Marečková, 2017). Nejnovější mikrolokalita byla objevena v roce 2002 v listnatém lese u cesty vedoucí od lomu Malá Amerika k Bubovickému potoku (Severa, 2003).

Na lokalitě PP Vražba, kde se v současné době nachází nejsilnější populace v České republice (AOPK ČR, 2021a), byl zvonovec znovuobjeven Samkovou (2003) v roce

2000. Lokalita leží 1 km SSZ od obce Habřina a asi 200 m JJV od stavení Mlýn Podhrad. Nalezeno zde bylo přibližně 10–15 jedinců. V roce 2017 zde bylo nalezeno již 252 lodyh (Kyselová, 2019).

Ve Džbánu byl zvonovec taktéž opět nalezen, poté co zde byl již považován za vyhynulý. První lokalita leží na severně orientované opukové lesní stráni Smradenského údolí. Určeny byly dvě mikrolokality. Mikrolokalita 1 leží na okraji lesní cesty a mikrolokalita 2 ve svahu lesní cesty. Zvonovec se zde vyskytuje společně s *Cypripedium calceolus* (střevíčník pantoflíček) (Brabec J. et Hadinec J., 2005), který patří mezi silně ohrožené druhy rostlin (Grulich et Chobot, 2017). V roce 2009 byly nalezeny ve Džbánu další dvě nové lokality. Obě leží v okolí hříškovské silnice, v části mezi osadou Hvížd'alka a křižovatkou silnic západně od osady Bor. Jedna lokalita se nachází ve světlé borové doubravě, západně od hříškovské silnice u odbočky do údolí Čertovka. Další lokalita leží ve fragmentu borové bezkolencové doubravy. Na obou lokalitách se také vykytuje kriticky ohrožený druh *Pyrola media* (hruštička prostřední) (Štefánek et al., 2009).

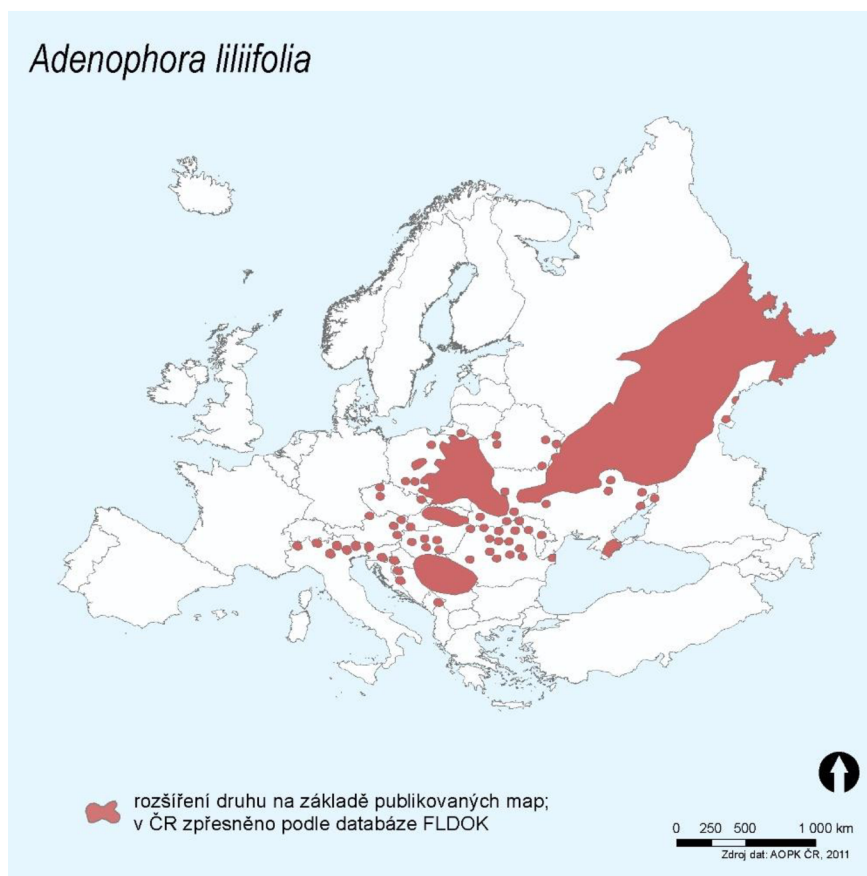
Nejnovější nález zvonovce je z roku 2018 v PP Žehuňsko – Báň v Báňském lese. Populace je zde však slabá, nalezeny byly pouze dvě rostliny, které byly poškozovány okusem. Zdejší vegetace má podobu světlého březoborového lesu s příměsí dubu, jasanu a jabloně lesní (Roleček et Šťastný, 2020).

Na všech lokalitách probíhá pravidelný monitoring rostlin, za účelem pozorování populací a vyhodnocení účinnosti ochrany. K roku 2018 se na území České republiky nacházelo celkem 240 trsů (AOPK ČR, 2018). Monitoring probíhal i jako součást závěrečných prací v rámci Univerzity Hradec Králové (Bajerová, 2015; Marečková, 2010, 2013; Řeháková, 2013; Truhlářová, 2008).

1.2.2 Výskyt ve světě

Zvonovec liliolistý je eurosibiřský prvek, jehož areál se rozprostírá od východní Asie, přibližně od pohoří Altaj (Kovanda, 2000), až po střední Evropu, kde má mezerovité rozšíření (Rybka et al., 2004). V Evropských zemích (obr. 2) nalezneme zvonovec liliolistý na Slovensku (Kochjarová et al., 2009), v Polsku (Ciosek, 2006; Kucharczyk et al., 2014), Maďarsku (Farkas et Vojtkó, 2012, 2013), Rumunsku

(Indreica, 2011), Německu, Rakousku, Švýcarsku, Itálii, na Balkánském poloostrově (AOPK ČR, 2021a) a na území bývalé Jugoslávie (Prausová et Marečková, 2017).



Obr. 1: Evropský areál zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) (AOPK ČR, 2011)

Velmi početná populace se nachází na Polské lokalitě Kisielany, kde bylo při monitoringu v roce 2012 a 2013 nalezeno 1000 rostlin (Prausová et al., 2016). Avšak i v této zemi je výrazný pokles lokalit zvonovce, z původních 100 lokalit se do dnešní doby dochovalo posledních 20 lokalit (Kucharczyk et al., 2014). Na Slovensku jsou taktéž celkem početné populace, a to na lokalitách Trsteník a Cigánka, nacházející se v NP Muránská planina (Kochjarová et al., 2009; Prausová et al. 2016).

1.3 Ohrožení a ochrana druhu

V České republice je zvonovec liliolistý zařazen v Červeném a Černém seznamu cévnatých rostlin do kategorie C1, tedy kriticky ohrožený druh (Procházka, 2001; Grulich, 2012; Grulich, 2017). V legislativě, podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 395/1992 Sb. (ve znění pozdějších předpisů), je tento druh stanoven jako kriticky ohrožený (§1) a je chráněn podle vyhlášky č. 166/2005 Sb. (ve znění pozdějších předpisů) Ministerstva životního prostředí. V rámci Evropské unie pak

podléhá pod ochranu podle směrnice Evropského společenství č. 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin. V soustavě NATURA 2000 je zařazen jako druh vyžadující zvláštní územní ochranu (Procházka, 2001).

Mezi hlavní faktory, způsobující ohrožení zvonovce, patří zánik stanovišť vhodných pro jeho růst a rozmnožování. V současné době je většina lesů udržována a obhospodařována jako vysokokmenný les, což má za následek vysoký zástin v nižších rostlinných patrech (Prausová et Marečková, 2017). Zvonovec prosperuje hlavně na místech s několikahodinovým osluněním nebo na polostinných stanovištích a místech s toulavým stínem. Dříve byla tato místa více zastoupená, a to v podobě pasečných a pařezinových světlých lesů (Rybka et al., 2004). V případě vysokého zástinu pak nevytváří květy a zastavuje se jeho rozmnožování. Při prosvětlení místa zvonovec více prosperuje. Avšak nastává zde problém, kdy na prosvětlení reagují i jiné druhy bylin a keřů a vytváří tak vysoký konkurenční tlak. To způsobuje oslabování dospělých rostlin, úhyn mladších jedinců a nemožnost uchycení semenáčků zvonovce (Prausová et Marečková, 2017). Prospívání konkurenčních rostlin podporuje také eutrofizace prostředí (Čepelová et Prausová, 2017). Mezi hlavní konkurenční druhy patří ostružiníky (*Rubus* sp.), třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*), bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria*), tolita lékařská (*Vincetoxicum hirundinaria*), jarmanka větší (*Astrantia major*) nebo čistec lesní (*Stachys sylvatica*) (Prausová et al., 2020).

Významný podíl má na ohrožení zvonovce také vliv živočichů. Problémem je zejména spárkatá zvěř, která rostliny poškozují okusem. Zabraňují tak tvorbě a vývoji květů a následnému vývoji plodů. Takto mohou být poškozeny i celé populace. Proto jsou v současné době místa, kde se zvonovec vyskytuje, chráněna oplocenkou. Rostliny jsou také poškozovány rytím, především prasat a hlodavců, požíráním podzemních orgánů hlodavci a mohou být napadány houbovými patogeny (Prausová et al., 2020).

Péče o zvonovec spočívá v managementu lokalit, na kterých roste. Jedná se o redukování konkurenčních rostlin, například na lokalitě PP Vražba je to zejména vysekávání ostružiníku, na lokalitě NPR Karlštejn kosení třtiny křovištní a na PP Babinské louky probíhá pravidelné sečení louky. Také bylo zajištěno částečné

prosvětlení lokalit redukcí stromového a keřového patra. Jak už bylo zmíněno všechny lokality nebo jednotlivé rostliny jsou chráněné oplocenkou či oplůtky proti okusu zvěří. Na některých lokalitách byla provedena výsadba a výsevy zvonovce na předem určená místa (Prausová et al., 2020).

K péči o zvonovec byl v roce 2015 zahájen záchranný program, jehož cílem byl monitoring populací a stanovištních poměrů, získání informací o generativní reprodukci pomocí testů klíčivosti a posouzení genetické variability (AOPK ČR, 2021c).

1.4 Ekologické nároky druhu

Podle Ellenbergových indikačních hodnot (AOPK ČR, 2021b) má zvonovec liliolistý následující hodnoty: světlo (L) = 7; teplota (T) = 6; kontinentalita (C) = 6; vlhkost (F) = 6; půdní reakce (R) = 8; živiny (N) = 2. Díky provedeným fytoecologickým snímkům, z kterých bylo možné vypočítat Ellenbergovi hodnoty z různých lokalit (Marečková, 2010; Ciosek, 2006; Vychytil, 2013), je však očividné, že tyto hodnoty mají široký rozsah.

Prausová et al. (2016) určili na evropských lokalitách 6 vegetačních jednotek, ve kterých se v současné době nebo v minulosti vyskytoval zvonovec liliolistý. Jsou to střídavě vlhké bezkolencové (*Molinia caerulea*) louky, teplomilné doubravy asociace *Potentillo albae-Quecetum*, středoevropské bazofilní teplomilné doubravy svazu *Quercion pubescenti-petraeae*, dubohabřiny asociace *Tilio cordatae-Carpinetum betuli*, vápencové bukové lesy podsvazu *Cephalanthero-Fagenion*, mozaika horských lužních lesů s olší šedou (*Alnus incana*) a horských slatin svazu *Caricion davalianae*.

Z hlediska světelných podmínek druh nejvíce prospívá v polostinných stanovištích či na místech s toulavým stínem a několikahodinovým osluněním. Vyskytuje se pak jak v lesích, tak i na slunných loukách (Rybka et al., 2004). Kovanda (2000) uvádí jako stanoviště, kde se rostlina vyskytuje, světlé subxerofilní doubravy či křoviny a vzácně také smrkové monokultury. V roce 2007 a 2010 určila Ellenbergovi indikační hodnoty pro světlo, na lokalitě PP Vražba, Marečková (2010). Nejvíce osvětlená se jevila mikrolokalita 4, u které byla vypočítána nejvyšší hodnota 5,92 v roce 2007 a v roce 2010 mírně klesla na 5,84. Jako nejméně osvětlená se jevila mikrolokalita 1, která měla hodnoty ze všech mikrolokalit v průměru nejnižší. Naopak Kyselová

(2019) se ve své práci věnovala vyhodnocení zástinu na jednotlivých mikrolokalitách, na lokalitě PP Vražba. Měření probíhalo v roce 2017 a 2018 za podmínek plného olistění stromového patra a za neúplného olistění stromového patra. Jako nejméně zastíněna se jevila mikrolokalita 1, a naopak nejvíce zastíněná byla mikrolokalita 2. Projevil se tak vliv managementu na lokalitě, kdy bylo provedeno prosvětlení redukcí stromového patra. To bylo nejvíce znatelné na mikrolokalitě 1, kdy se z původně nejméně osvětlené, stala mikrolokalita s nejvyšší hodnotou osvětlení.

Půdy vyžaduje zvonovec spíše středně hluboké až hluboké, vznikající na silikátových substrátech nebo na vápencích (Kovanda, 2000). Vhodné jsou půdy mírně vlhké avšak nepodmáčené, nevysychavé a bohaté na živiny (Rybka et al., 2004). Upřednostňuje typy půd rendziny, pararendziny, kambisoly a luvisoly, ale můžeme ho nalézt i na kyselých půdách (Prausová et Marečková, 2017). Na českých lokalitách byly zjišťovány fyzikální vlastnosti půdy. U lokality PP Vražba, na mikrolokalitě 1 a 2, byly zjištěny střední půdy, zbývající mikrolokality 3 a 4 mají půdy lehké až střední. Na ostatních českých lokalitách jsou půdy střední až těžké. Obsah humusu byl nejvyšší v půdě z PP Bílichovské údolí a z mikrolokality 3 v PP Vražba. Zjištěn byl i poměr oxidovatelného uhlíku k celkovému obsahu dusíku (C/N). Ten byl nejvyšší na lokalitách ve Džbánu a nejnižší v PR Karlické údolí. Dále byla zjišťována půdní reakce, neboli pH. Na mikrolokalitách 1 a 2 v PP Vražba a v PR Karlické údolí byla zásaditá. Kyselá půdní reakce byla zjištěna u lokalit ve Džbánu. Na zbývajících lokalitách byla půdní reakce mírně kyselá. Dostupnost živin, byla nejvyšší na lokalitách v PR Karlické údolí. Nejnižších hodnoty měly lokality ve Džbánu. Jako poslední byl zjišťován obsah vápníku. Jeho nejvyšší obsah měla půda na mikrolokalitě 1 v PP Vražba a nejméně lokality Čertovka a Bor ve Džbánu (Prausová et al, 2020).

1.5 Fenologie druhu

Fenologie se zabývá studiem opakujících se projevů rostlin i živočichů, v závislosti na abiotických poměrech. Tyto projevy se opakují periodicky, každoročně a zahrnují zřetelné a nápadné vývojové fáze rostlin a živočichů v dané oblasti. Ačkoliv se však jevy opakují periodicky, nastávají v rozdílné síle a v nestejných termínech, a to v závislosti na časové proměnlivosti podmínek prostředí (Krška, 2006).

Zvonovec liliolistý je polykarpická rostlina obývající místa s proměnlivým prostředím (Rybka et al., 2004). Zimu překonává za pomoci řepovitého kořenu, ze kterého následně za vhodných podmínek vyrůstají lodyhy. Kořen zároveň umožňuje i přežití rostlin za nevhodných podmínek během vegetačního období, například nadměrné sucho či okus zvířít (Prausová et Marečková, 2017).

Rostlina začíná rašit v období kolem poloviny dubna, kdy se zakládají první stonky. Dospělou rostlinu pak může tvořit více hustě olistěných lodyh nebo tvoří částečnou růžici, kde lodyhy dorůstají v průměru kolem jednoho metru. Při dostatečném oslunění se pak na přelomu května a června začínají formovat květenství. Květy se rozvíjejí od července a dokvétají během srpna, někdy i září. Po odkvetení zrají tobolky, z kterých se po uzrání sypou semena. K tomu dochází především v září. Při příchodu prvních mrazíků začínají opadávat listy a zasychají lodyhy, které mohou zůstat vzpřímené až do následujícího roku (Prausová et Marečková, 2017).

V roce 2015 byly na lokalitě Vražba pozorovány fenofáze tamní populace zvonovce. Zachyceny byly fáze lodyhy s vyvinutými listy, lodyhy se základem květenství, diferencované květenství s poupaty, kvetení, dozrálé tobolky, vysypané tobolky a odumírající lodyhy. Lodyhy s listy se začínaly vyvíjet od poloviny května a na začátku června se zakládala květenství. V červenci už byla vidět diferencovaná květenství s poupaty a kvetení nastalo začátkem srpna. Tobolky dozrávaly koncem září a k vysypávání semen docházelo začátkem října. Kolem poloviny listopadu byly zachyceny odumírající lodyhy (Prausová et al. 2020).

Průběh fenologických fází sledovala ve své práci také Kyselová (2019). Pozorovány byly taktéž rostliny na lokalitě Vražba, a to v roce 2017. Bylo rozlišováno celkem 11 fenofází, a to mladý list, zelený list, začínající poupata, poupata, květ, odkvět, tvorba plodu, nezralý plod, zralý plod, prázdný plod a opadané tobolky. Rostliny začínaly růst v polovině dubna, přičemž poupata byla viditelná od poloviny května po začátek července. Květy rozkvétaly na začátku července až po konec srpna. Tobolky dozrávaly koncem září a října. V porovnání s pozorováním z roku 2015 (Prausová et al., 2020) začínaly rostliny v roce 2017 růst a kvést dříve, což mohlo být způsobeno příznivějšími podmínkami v roce 2017.

1.6 Opylování

Rozmnožování krytosemenných rostlin je z velké části závislé na pohlavním procesu. K tomuto účelu slouží samčí mikrospory a samičí megaspory, které jsou součástí struktur v květech (Pavlová, 2006). Při opylování dochází k přenosu samčích gamet, tedy pylových zrn, na samičí orgán květu a k následnému klíčení pylové láčky, což vede k oplodnění (Faegri et van der Pijl, 1980). Jsou známé dva způsoby opylení, a to autogamie (neboli samosprašnost) a alogamie. U autogamie může docházet k takzvané kleistogamii, což je opylení bez otevírání květu. Při alogamii může docházet k opylení pylem z téže rostliny, avšak z jiného květu, tzv. geitonogamii, nebo pylem z jiné rostliny, tzv. xenogamii (Tůma et Tůmová, 1998). U alogamie rozeznáváme několik typů opylování a to abiotické – anemogamii a hydrogamii a biotické – zoogamii. Zoogamie se dále dělí na entomogamii, ornitogamii, chiropterogamii a malakogamii (Faegri et van der Pijl, 1980). V podmínkách České republiky jsou květy opylovány nejčastěji pomocí anemogamie a entomogamie (Tůma et Tůmová, 1998).

V některých případech dochází u krytosemenných rostlin k asexuálnímu rozmnožování, při kterém nedochází ke splývání gamet. Jedním ze způsobů asexuálního rozmnožování je vegetativní rozmnožování rostlin, založené na principu totipotence, neboli schopnosti rostlinných buněk obnovit specializované funkce a postupně regenerovat až ve fertiltní rostlinu (Tůma et Tůmová, 1998). Vegetativní rozmnožování je jediný způsob jakým se mohou rozmnožovat juvenilní rostliny. Dalším typem je apomixie, což je způsob rozmnožování kdy vzniká životaschopné embryo a semeno bez oplození, tj. bez účasti samčí gamety (Pavlová, 2006).

U zvonovce liliolistého jsou uváděny jako typy opylování entomogamie (Rybka et al. 2004), anemogamie, autogamie (Prausová et Marečková, 2017) i apomixie (Gregor, 2013).

1.6.1 Entomogamie

Tento typ opylování je z hlediska množství rostlin, které ho využívají, nejvýznamnějším. Entomogamie stojí na základě mutualismu, tedy vztahu mezi dvěma druhy, kdy je jeden druh prospěšný tomu druhému a naopak. V případě rostlin a hmyzu je pak tento mutualismus založený na poskytování odměny, především nektaru, pro hmyz. Nektar slouží jako cenný zdroj energie pro opylovače. Avšak i pyl může sloužit jako potrava, z které mohou opylovači získávat energii, díky velkému množství bílkovin a tuků. Rostliny jsou k lákání opylovačů různě přizpůsobené, například odlišnou barvou nebo vůní květů. Tím mohou lákat určité druhy opylovačů a vznikají tak specializace umožňující efektivnější opylování (Saska et al., 2020).

Nejvýznamnějšími opylovači jsou čmeláci a včela medonosná z řádu *Hymenoptera* (blanokřídílí). Častými opylovači z tohoto řádu jsou také samotářské včely, vosy a mravenci. Z řádu *Diptera* (dvoukřídílí) jsou to mnohdy pestřenky a častými opylovači jsou i druhy z řádů *Lepidoptera* (motýli) a *Coleoptera* (brouci) (Saska, 2020). Brouci byli historicky vůbec prvními opylovači rostlin (Faegri et van der Pijl, 1980; Saska, 2020).

U rodu zvonovec jsou známými opylovači především druhy z rodu *Bombus* (čmeláci) (Roquet et al. 2008). U druhu *Adenophora maximowicziana*, v jihozápadním Japonsku, potvrdil opylování nočními motýli ve svém výzkumu Funamoto (2019). Při výzkumu provedeném Liu et Huangem (2013) byly na družích *Adenophora jasionifolia*, *Adenophora khasiana* a *Adenophora capillaris* pozorováni opylovači květů. Pozorování probíhalo v roce 2009, 2010 a 2011 v botanické zahradě Shangri-La, která se nachází v jihozápadní Číně, v provincii Yunnan. Na květech byli pozorováni čmeláci, včely, mouchy, noční motýli, brouci, škvoři a roztoči. Nejčastěji květy navštěvovali čmeláci a včely. Brouci, škvoři a roztoči květy navštěvovali za účelem pojidání pylu, případně nektaru a mezi jednotlivými květy se pohybovali zřídka. Byli tak určeni jako tzv. zloději pylu a nektaru. Liu et Huang (2013) dále uvádějí teorii, ve které předpokládají opylování především čmeláky u druhů s modře zbarvenými květy, zatímco u bíle zbarvených květů předpokládají opylování především nočními motýli a u jedinců s proměnlivým zbarvením květů opylování čmeláky i nočními motýli. Tuto teorii však vyvrátili Funamoto et Ohashi (2017) u

druhu *Adenophora triphylla* var. *japonica*. Tento druh má modře zbarvené květy, které by podle teorie Liu et Huanga (2013) měly být opylovány především čmeláky. Avšak ze studie Funamota et Ohashiho (2017) vyplývá, že je druh opylován primárně nočními motýli.

1.6.2 Anemogamie

Při porovnání s entomogamií je anemogamie velmi málo efektivní v důsledku velkých ztrát pylu (Culley et al. 2002, cit dle Pinc, 2013, s. 15). U nahosemenných rostlin je anemogamie primárním typem opylování, naproti tomu u krytosemenných rostlin se anemogamie vyvinula sekundárně. Avšak u některých krytosemenných rostlin, například z čeledi lipnicovitých (*Gramineae*), je anemogamie dominantním způsobem opylování (Whitehead, 1968). Může se vyvinout jako odpověď na absenci či malé množství opylovačů nebo při nedostatečném navštěvování květů rostlin opylovači (Goodwillie, 1999 cit. dle Pinc, 2013, s. 15).

Anemogamie se vyskytuje více v místech, která mají nižší rostlinnou biodiverzitu. Je často přítomná u druhů rostlin nacházejících se v otevřených prostranstvích, jako jsou savany, nebo v temperátních lesích s opadavými stromy v mírném pásu. Velmi častá je také u ostrovních druhů rostlin (Salomon, 2001; Whitehead, 1968). Naopak v tropických deštných pralesích je velmi vzácná a to díky vysoké diverzitě druhů, kdy jsou jedinci stejného druhu rozmístěny v širokém areálu. Dále také díky hustému porostu, který představuje překážku pro transport, velmi častým srážkám omezující transport a hojnosti potencionálních opylovačů (Whitehead, 1968).

Efektivita přenosu pylu pomocí anemogamie je závislá na mnoha faktorech. V první řadě jsou to odhalené prašníky a blizna. Pravděpodobnost opylení dále stoupá s rostoucím množstvím uvolňovaného pylu. Ten by se měl zároveň uvolňovat v období s nižším výskytem srážek, přiměřenou silou větru a případně před nasazením listů ve vegetaci s opadavými rostlinami. Záleží také na velikosti pylového zrna. Pokud jsou zrna příliš malá budou sice snadno rozptýlitelná, avšak nebudou efektivně zachytávána na blizně. Velká zrna zase příliš rychle klesají k zemi. Tenká exina, tedy vnější blána pylového zrna, s hladkým povrchem taktéž usnadňuje distribuci pylu. Naopak negativně působí příliš velká vzdálenost

jednotlivých jedinců ve vegetaci. Opylení je také efektivnější ve vegetacích s otevřenou strukturou nebo jak už bylo zmíněno ve vegetaci s opadavými rostlinami, což představuje méně překážek pro transport. Kvetení by pak mělo být indukováno pomocí jednoznačných podnětů prostředí (Whitehead, 1968).

1.6.3 Apomixie

Apomixie je typ rozmnožování, při kterém nedochází ke splynutí samčí a samičí gamety. Vznikají tak embrya s genetickou výbavou shodnou s mateřskou rostlinou. Je známá u více jak 300 druhů patřících do 35 čeledí (Pavlová, 2006).

Spillane et al. (2001) rozdělují apomixii do dvou základních typů a to podle toho, zda neredukované buňky dávají vzniku megagametofytu nebo přímo embryu. Podle Brukhina (2016) se tyto typy liší na základě způsobu mechanismu vývoje embrya. První mechanismus probíhá prostřednictvím samičího gametofytu, tzv. gametofytní apomixie. Druhý probíhá z buněk sporofytu zárodečného vaku, tzv. adventivní embryonie. Naopak Pavlová (2006) dělí apomixii do tří základních typů, a to na diplosporii, aposporii a adventivní embryonii.

Mechanismus probíhající adventivní embryonií je v přírodě jedním z nejrozšířenějších typů apomixie. Při adventivní embryonii vznikají embrya z buněk nucellu nebo integumentů a vyvíjí se somatické embryo. Tato embrya jsou závislá na přítomnosti endospermu, který vzniká opylením, a často se vyvíjejí společně s embryem vyvinutým sexuálně (zygotické embryo) (Brukhin, 2016). Zygotická embrya jsou však často abortována následkem jeho potlačení adventivním embryem, které je konkurenceschopnější (Brukhin, 2016; Pavlová, 2006). Adventivní embryonii nalezneme často u stromů, keřů a u vytrvalých trav rostoucích v tropických a subtropických oblastech (Brukhin, 2016).

Apomixie probíhající prostřednictvím samičího gametofytu je charakterizována ameiotickou iniciací diploidní vaječné buňky a následným vývojem embrya, které vzniklo z této vaječné buňky (Brukhin, 2016). Rozlišujeme zde diplosporii a aposporii (Brukhin, 2016; Spillane et al., 2001). Spillane et al. popisují rozdělení těchto dvou druhů podle toho, zda megagametofyt vzniká z neredukované megaspory (diplosporie), nebo ze sporofytní buňky z nucellu (aposporie).

U diplosporie neprobíhá meióza a spora je diploidní. Vzniká samičí gametofyt s neredukovaným počtem chromozomů. Zároveň si gametofyt zachovává orientaci ve směru mikropyle – chaláza. Tvoří se také endosperm s jádry o různé ploidii (Pavlová, 2006).

Při aposporii se mění buňky nucellu na aposporické iniciály zárodečného vaku. Může tak vznikat více zárodečných vaků s buňkami, které nemají redukovaný počet chromozomů a nezachovávají si orientaci ve směru mikropyle – chaláza. Probíhá zde i meióza a může se tak ve vajíčku zároveň tvořit haploidní samičí gametofyt s haploidní oosférou. V jednom vajíčku pak může docházet k vývoji jak aposporického embrya, tak i sexuálního embrya. Endosperm se tvoří až po oplození sexuálního zárodečného vaku (Pavlová, 2006).

1.7 Houbové patogeny

Houbové patogeny rostlin patří do skupiny hub a houbových organismů. Ty se od rostlin liší především způsobem výživy, složením buněčné stěny a odlišným druhem zásobní látky. Jsou to kosmopolitně rozšířené eukaryotické organismy s heterotrofním způsobem výživy. Rozdělují se na saprofyty, tj. rozkládají odumřelá živočišná a rostlinná těla, dále na symbionty a parazity. Je zde i skupina vyživující se saproparaziticky, což znamená, že část života přežívají na odumřelých částech hostitele. Tělo hub je tvořeno stélkou. Ta může být jednobuněčná améboidní či kokální. Dále rozlišujeme stélku vláknitou tvořenou hyfami, neboli přehrádkovanými nebo nepřehrádkovanými houbovými vlákny. Stélka může mít i podobu plasmodia, tj. neoblaněná mnohojaderná masa protoplazmy, nebo pseudoplasmodia, tj. shluk oddělitelných myxaméb. Časté je rozmnožování pomocí spor (Kalina et Váňa, 2010).

Mezi houbové patogeny rostlin patří velmi početná a různorodá skupina organismů, které mají významný vliv v přírodních společenstvích rostlin, ale také v zemědělství. Patří sem druhy způsobující trvalé systémové infekce, vedoucí ke sterilitě rostlin, dále patogeny, které zabíjejí své hostitele nebo patogeny tvořící léze s omezenými účinky na hostitele. Mnoho houbových patogenů je schopno přežít po dlouhou dobu na mrtvých tkáních hostitele nebo saprofyticky v půdě. Mohou napadat jakoukoliv část rostliny a často jsou vysoce specializovaní (Burdon et Silk, 1997). Po

napadení rostliny působí patogeny negativně na její vývoj odebráním živin a ovlivňováním metabolické aktivity (Salačová et al., 2015).

U zvonovce liliolistého byla již mnohokrát pozorována přítomnost blíže neurčených houbových patogenů. Při monitoringu byl na rostlinách pozorován oranžový povlak na vrcholových meristémech rostlin. Takto napadené části rostlin zasychaly, nedocházelo k dokončení vývoje květenství s poupaty a zaschly napadené listy i listeny. Na české lokalitě PP Babinské louky bylo na rostlinách pozorováno fialové zbarvení lodyh a jejich následné zasychání. Prausová et al. (2020) dále uvádějí, podle ústního sdělení profesora Wolfganga Schleidta, že na lokalitách v Rakousku byl podobný projev jako na Babinských loukách doprovázen zánikem jedné lokality.

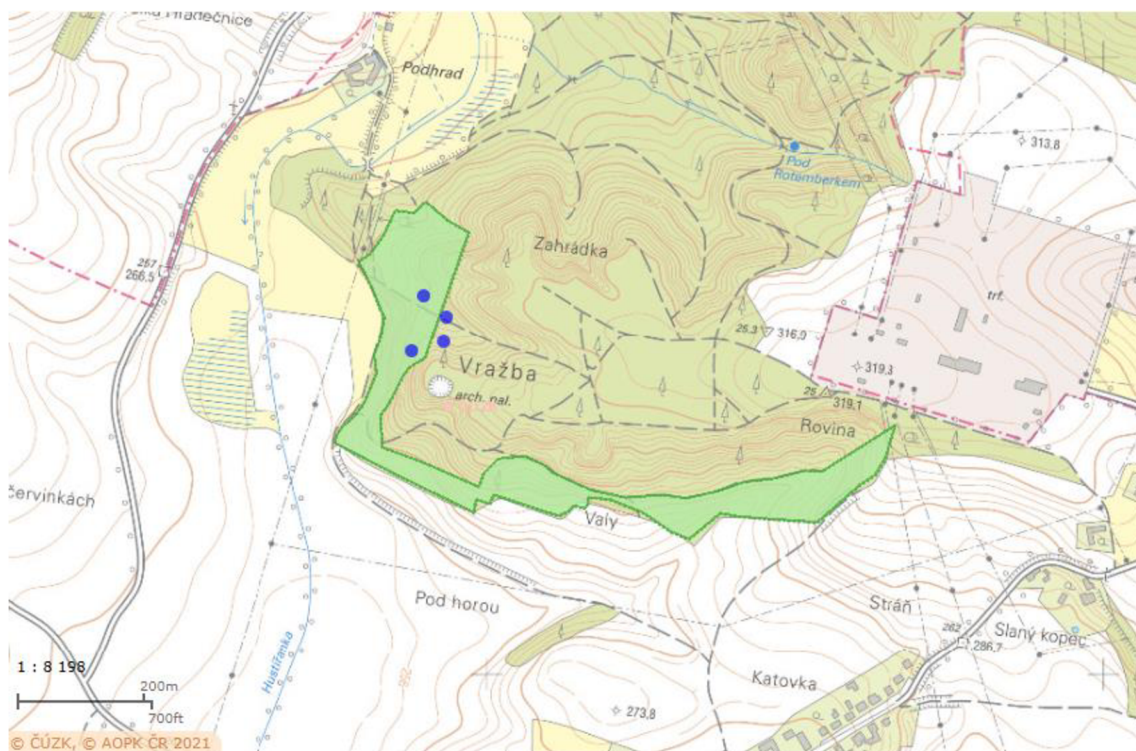
2 Metodika

2.1 Charakteristika území

2.1.1 PP Vražba

První lokalitou, kde byl proveden manipulační experiment, byla PP Vražba ve východních Čechách, nacházející se nedaleko obce Habřina v Královehradeckém kraji. Lokalita leží v nadmořské výšce 270–290 m. n. m. na zeměpisných souřadnicích 50°20'6"N, 15°49'22"E (obr. 3). Je rozdělena na čtyři mikrolokality. První plocha leží na západně orientovaném svahu, druhá a čtvrtá téměř na rovině a třetí na mírném svahu.

Z hlediska stanovištních podmínek a skladby bylinného patra je zdejší lokalita charakterizována jako dubohabřina, avšak každá mikrolokalita má mírně odlišné podmínky (Prausová et Truhlářová, 2009). Na první mikrolokalitě převažuje ve stromovém patře smrk ztepilý (*Picea abies*) a jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*). V keřovém patře nalezneme pak hlavně lísku obecnou (*Corylus avellana*). Na druhé mikrolokalitě nalezneme ve stromovém patře především jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*) a dub zimní (*Quercus petraea*). V keřovém patře převládá bez černý (*Sambucus nigra*). Třetí mikrolokalita má ve stromovém patře především dub zimní (*Quercus petraea*) a v keřovém patře lísku obecnou (*Corylus avellana*). Na poslední čtvrté mikrolokalitě se ve stromovém patře vyskytuje především buk lesní (*Fagus sylvaticus*) a dub zimní (*Quercus petraea*). Na všech lokalitách, kromě mikrolokality 1, převažuje v bylinném patře ostružiník křovitý (*Rubus fruticosus* agg.) (Vychytil, 2013).

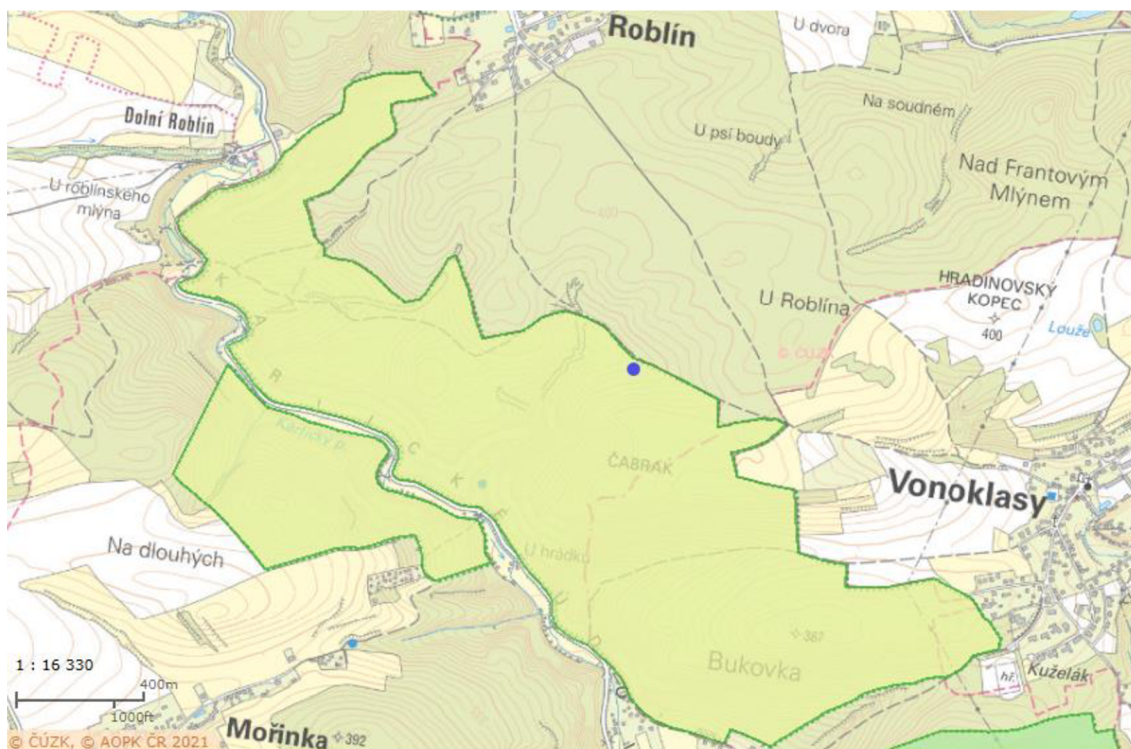


Obr. 3: Lokalita PP Vražba s vyznačenými mikrolokalitami výskytu zvonovce liliolistého (MapoMat, AOPK ČR, 2021)

2.1.2 PR Karlické údolí

Lokalita PR Karlické údolí leží na území CHKO Český kras ve středních Čechách, na zeměpisných souřadnicích 49°57'07"N, 14°15'24"E (obr. 4). Území je zde zvláště chráněno od roku 1973. Jedná se o zalesněné svahy části údolí Karlického potoka mezi obcemi Roblín a Karlík. Zdejší nadmořská výška se pohybuje od 240 m. n. m. do 410 m. n. m. Údolí probíhá jihovýchodně-severozápadním směrem, proto mají protilehlé stráně odlišné podmínky a vegetaci. Zatímco na severních svazích nalezneme kalcifilní okroticovou bučinu s hojným habrem, na jižních svazích nalezneme naopak teplomilná lesní společenstva (AOPK ČR, 2021d).

Lokalita s výskytem zvonovce liliolistého se rozprostírá na ploše 100 x 30 m a je lemovaná z jedné strany turistickou cestou a z druhé strany úpatím svahu. Je zde velká pokryvnost stromového patra, která dosahuje 70 %. Nachází se zde dvě světliny. Bylinné patro dosahuje 30 % zápoje a keřové pouze 10 % (Marečková, 2013). Nachází se zde dubohabřina s vyšším podílem zmlazujícího jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*) (Prausová et Marečková, 2017).



Obr. 4: PR Karlické údolí s vyznačenou lokalitou výskytu zvonovce liliolistého (MapoMat, AOPK ČR, 2021)

2.2 Výroba a umístění ochrany na květy

Na ochranu poupat před opylením hmyzem byly vytvořeny ochranné pytlíčky ze speciální látky, používané na entomologické sítě, tzv. monofilu. Tato látka je velmi jemná, avšak dostatečně prodyšná. Zabraňuje tak průniku možných opylovačů a tím tak následnému opylení hmyzem.

Potřebná látka na výrobu byla nastříhána do vhodného tvaru k umístění na více poupat najednou a sešita na šicím stroji. Vyrobeny byly dvě kategorie pytlíčků o odlišných rozměrech, pro vhodnější umístění na různý počet poupat. První kategorie měla výsledné rozměry 5×10 cm a druhá kategorie měla rozměry 10×10 cm. Zároveň se u vstupu do pytlíčku sešil otvor pro provléknutí provázku, sloužícího k uzavření po umístění na poupata.

Ochrana se na poupata umísťovala na začátku srpna, kdy bylo možné zachytit nerozvinutá poupata (obr. 5). Byla vybírána taková poupata, která byla těsně před rozvinutím a mohlo tak být vyloučeno použití poupat, která by se dále nevyvíjela. Zároveň se však muselo kontrolovat, zda již poupata nejsou mírně otevřená, což by mělo za následek možné proniknutí opylovačů do květu, tj. sledování již opylených květů s předpokládaným vývojem tobolek. Každý pytlíček byl vždy umístěn alespoň

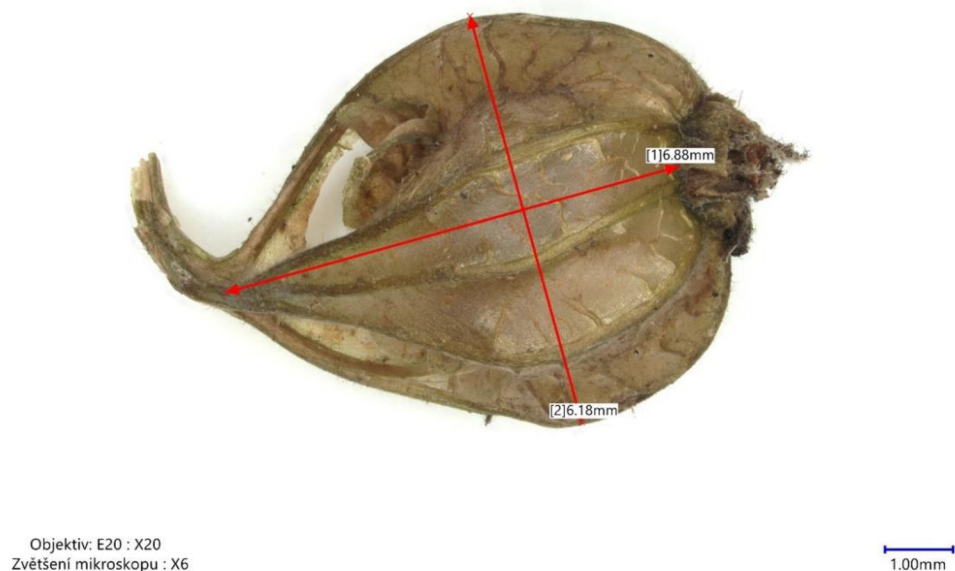
na pět poupat najednou. Po umístění byly pytlíčky uzavřeny pomocí provázku a dostatečně utaženy, aby se zamezilo přítomnosti mezer u vstupních otvorů, kterými by mohl dovnitř proniknout hmyz. Takto bylo aplikováno 33 pytlíčků na lokalitě PP Vražba a 6 pytlíčků na lokalitě PR Karlické údolí. Celkem tak bylo chráněno 354 květů. Tato ochrana byla na rostlinách ponechána až do odkvetení a následného plného vyvinutí tobolek. Tobolky byly sklizeny odstříhnutím z rostliny i s malým kouskem lodyhy pod uvázáním pytlíčku. Na lokalitě PP Vražba byl do každého pytlíčku vložen kus papírového proužku s označením štítku, z které rostliny byly tobolky sklizeny. Na lokalitě PR Karlické údolí nejsou jedinci označeni štítkem, proto se k bázi rostlin s chráněnými květy přivázala vázací páska, popsaná lihovým fixem. Jedincům tak bylo přiřazeno dočasné číslo a při sklizení tobolek byla páska z rostlin odstřižena a vložena do příslušných pytlíčků s tobočkami. Sklizení tobolek proběhlo v první polovině září.



Obr. 5: Ochranné pytlíčky umístěné na poupata.
Autor: M. Depeš (2020)

2.3 Zpracování tobolek a sběr dat

Sebrané toboleky byly ponechány v ochranných pytlíčcích k vyschnutí při pokojové teplotě. Následně byly toboleky odtrženy z lodyhy, aby se odstranila přebytečná rostlinná část a mohly být roztrženy do skleněných lahviček. Ty byly popsány stejným číslem, jaké bylo na papírovém štítku v pytlíčku, z kterého byly toboleky přendány. Takto byly toboleky skladovány v průběhu sběru dat. Každá z tobolek byla pozorována pod digitálním mikroskopem KYENCE. Sledován byl jejich vzhled a rozměry šířka a délka (obr. 6). Dále byla z tobolek vyjmuta semena, u kterých byl taktéž sledován jejich vzhled a měřeny rozměry (obr. 7). Podle rozměrů, vzhledu tobolek a stupně vývoje přítomných semen se toboleky rozdělily na vyvinuté (tedy obsahující plně vyvinutá semena, která mají potenciál vyklíčit) a nevyvinuté. Stupeň vývoje byl u semen posouzen podle jejich rozměrů a vzhledu, taktéž na vyvinutá a nevyvinutá. Veškeré naměřené rozměry a získaná data o stupni vývoje tobolek a semen byla zapsána do tabulek v programu Microsoft Excel.



Obr. 6: Vyvinutá toleka s naměřenou délkou a šířkou, zachycená pod mikroskopem KEYENCE. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 7: Vyvinuté semeno s naměřenou délkou a šířkou, zachycené pod mikroskopem KEYENCE. Autor: E. Aubrechtová (2020)

Na tobolkách byla pozorována, v průběhu sledování pod mikroskopem, i přítomnost houbových patogenů. Počet takto napadených tobolek byl zaznamenán do tabulek v programu Microsoft Excel. Stejně tak byla pozorována přítomnost možných opylovačů, larev hmyzu nebo hmyzích parazitů, kteří případně mohli do pytlíčků proniknout. Takto zachycený hmyz byl zdokumentován fotografií pomocí digitálního mikroskopu KEYENCE.

2.4 Vyhodnocení dat

Data zapsaná v programu Microsoft Excel byla dále zpracována a upravena do tabulek. Vyhodnocena byla následně pomocí grafů dostupných v tomto programu. Využita byla forma krabičkových grafů, ve kterých je zachycen průměr, medián, horní a dolní kvartil, maximum, minimum a případné odlehlé hodnoty, značené samostatným bodem nad maximumem či minimumem. Takto mezi sebou byly porovnány celkové rozměry tobolek a semen jak vyvinutých, tak i nevyvinutých. Účinnost ochrany na květech byla posouzena srovnáním procentuálních poměrů mezi vyvinutými a nevyvinutými tobolkami. Dále mezi sebou byly srovnány lokality PP Vražba a PR Karlické údolí, a to porovnáním rozměrů tobolek a semen a také porovnáním počtu vyvinutých a nevyvinutých tobolek. Vztahy mezi

morfometrickými znaky tobolek a semen byly vyhodnoceny regresní analýzou v programu Excel. Stejnou analýzou byla ověřována souvislost mezi počtem napadených tobolek houbovými patogeny a počtem vyvinutých tobolek, nebo přítomností hmyzu (potenciálních opylovačů) v testovacích ochranných sáčcích a počtem vyvinutých tobolek.

3 Výsledky

3.1 Poměry vyvinutých a nevyvinutých tobolek

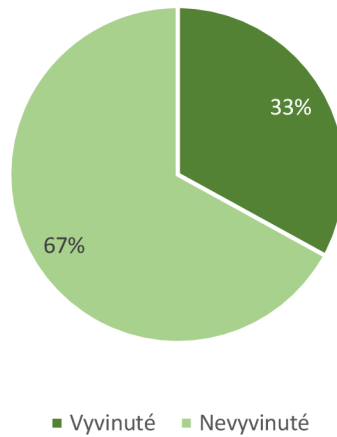
Z lokalit bylo dohromady sebráno 354 tobolek, z toho bylo 317 z lokality PP Vražba a 37 z lokality PR Karlické údolí. Lokalita PP Vražba je členěna na čtyři mikrolokality a nejvíce tobolek zde bylo sebráno z mikrolokality 4, nejméně pak z mikrolokality 3. Celkem bylo na lokalitě PP Vražba sebráno 105 vyvinutých tobolek a 212 nevyvinutých tobolek. Na lokalitě Karlické údolí byly sebrány 4 vyvinuté tobolky a 33 nevyvinutých tobolek (tab. 1). Popisná statistika je uvedena v tabulkové příloze 1.

Tab. 1: Počty vyvinutých a nevyvinutých tobolek na lokalitách

| Lokalita | Vyvinuté | Nevyvinuté | Celkem |
|-----------------------|----------|------------|--------|
| Vražba | 105 | 212 | 317 |
| Mikrolokality 1 | 43 | 44 | 87 |
| Mikrolokality 2 | 8 | 32 | 40 |
| Mikrolokality 3 | 3 | 32 | 35 |
| Mikrolokality 4 | 51 | 104 | 155 |
| Karlické údolí | 4 | 33 | 37 |

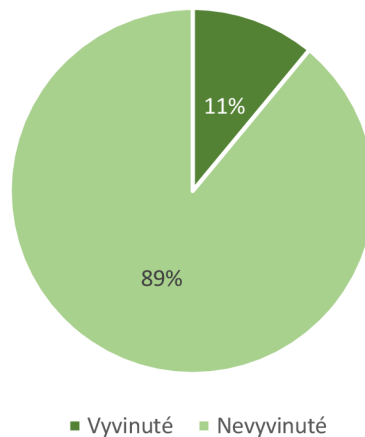
Srovnání procentuálního zastoupení mezi zachycenými vyvinutými a nevyvinutými tobolkami na lokalitě PP Vražba znázorňuje graf č. 1. Dvě třetiny sklizených tobolek zde bylo nevyvinutých a jedna třetina vyvinutých. Na lokalitě PR Karlické údolí zachycuje procentuální zastoupení mezi tobolkami graf č. 2. Zde bylo téměř 90 % sklizených tobolek nevyvinutých.

Srovnání zastoupení vyvinutých a nevyvinutých tobolek - PP Vražba



Graf 1: Procentuální zastoupení vyvinutých a nevyvinutých tobolek na lokalitě PP Vražba

Srovnání zastoupení vyvinutých a nevyvinutých tobolek - PR Karlické údolí



Graf 2: Procentuální zastoupení vyvinutých a nevyvinutých tobolek na lokalitě PR Karlické údolí

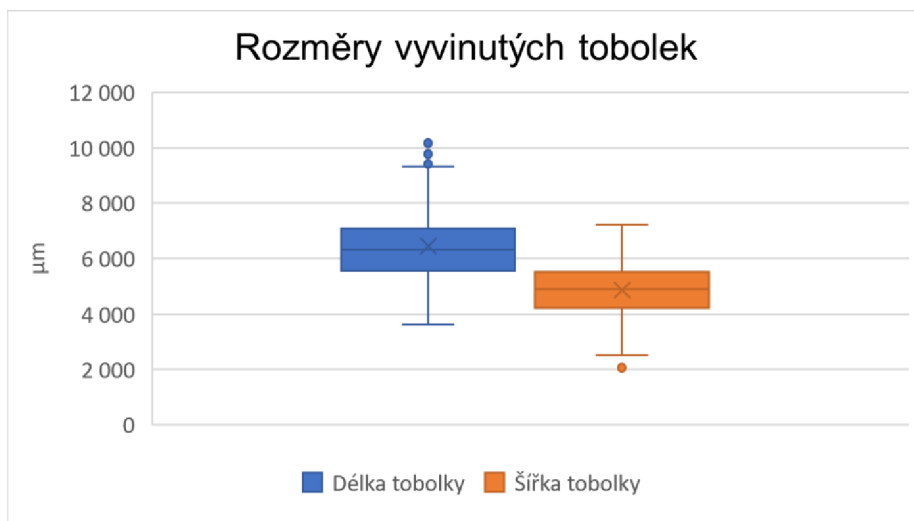
3.2 Morfometrické měření semen a tobolek

Rozměry tobolek a semen byly měřeny z fotografií pomocí softwaru k digitálnímu mikroskopu KEYENCE. Měřeno bylo celkem 109 tobolek vyvinutých a 243 nevyvinutých. Vyvinutých semen bylo změřeno 99 a nevyvinutých 133.

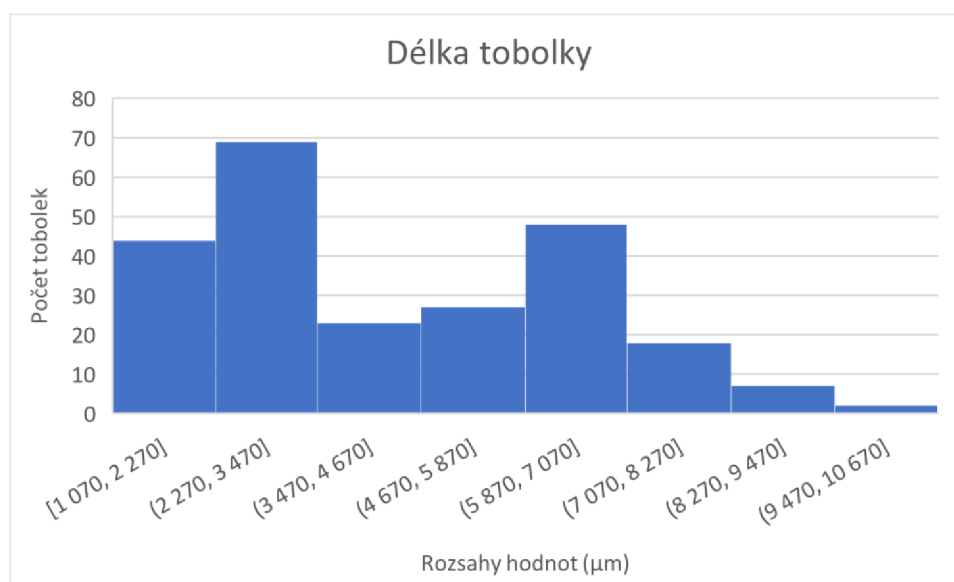
3.2.1 Rozměry tobolek

Délka vyvinutých tobolek se pohybovala mezi 3,63–9,33 mm. Zachyceny byly i odlehlé hodnoty 9,41 mm, 9,77 mm a 10,166 mm. Nejčastěji naměřenou hodnotou byla délka 4,15 mm. Šířky vyvinutých tobolek byly naměřeny mezi 2,52–7,23 mm. Vyskytovala se zde jedna odlehlá hodnota 2,06 mm. Nejčastěji změřenou hodnotou bylo 4,89 mm. Medián změřených délek vyvinutých tobolek byl 6,32 mm a medián změřených šířek 4,885 mm. Z grafu č. 3 je patrné, že délka tobolek je větší než jejich šířka. Grafy č. 4 a 5 ukazují rozložení hodnot délky a šířky tobolek. Ze statistického testování vyšel průkazný vztah mezi délkou a šířkou tobolek ($R^2 = 0,7536$, $P < 0,01$), (graf č. 6).

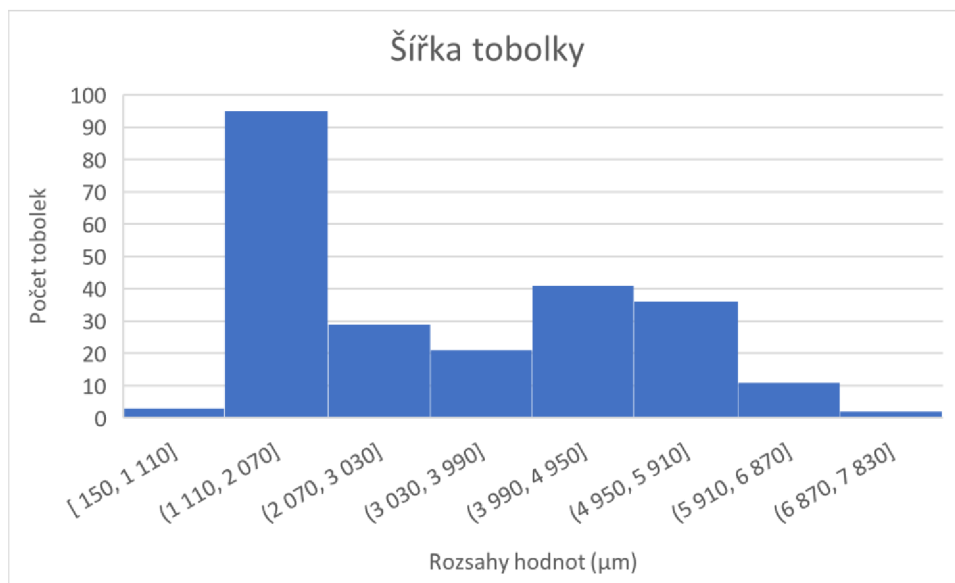
Délka nevyvinutých tobolek se pohybovala mezi 1,06–4,19 mm. Nejčastěji naměřenou hodnotou bylo 1,84 mm. Zachyceno bylo i více odlehlých hodnot. Šířku měly tobolek mezi 0,5–2,63 mm. Hodnota 1,72 mm byla naměřena nejčastěji. Taktéž bylo naměřeno více odlehlých hodnot. Medián délek nevyvinutých tobolek byl 2,29 mm a šířek 1,4 mm. Stejně jako u vyvinutých tobolek je i zde patrné (graf č. 7), že rozměry délky nevyvinutých tobolek jsou vyšší než rozměry šířky.



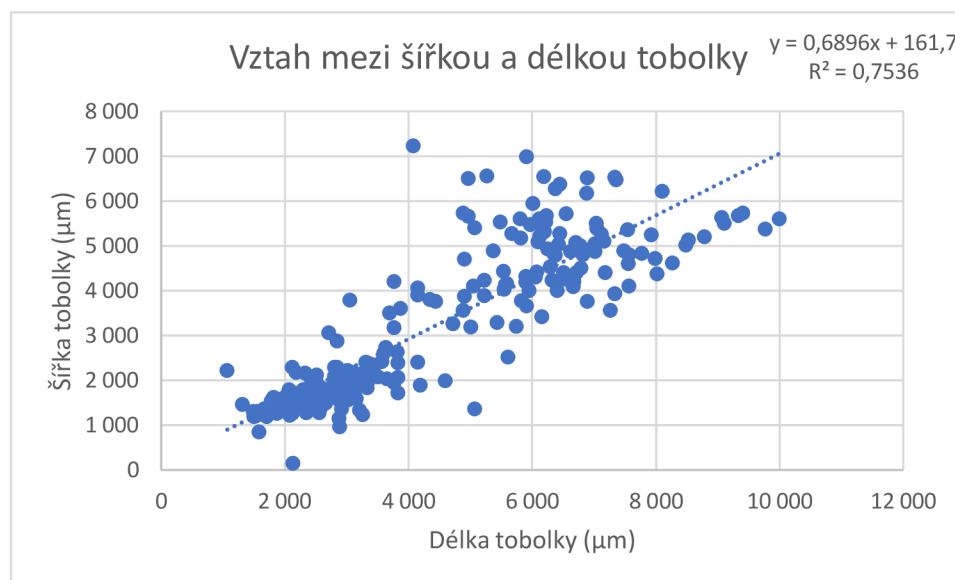
Graf 3: Srovnání rozměrů vyvinutých tobolek



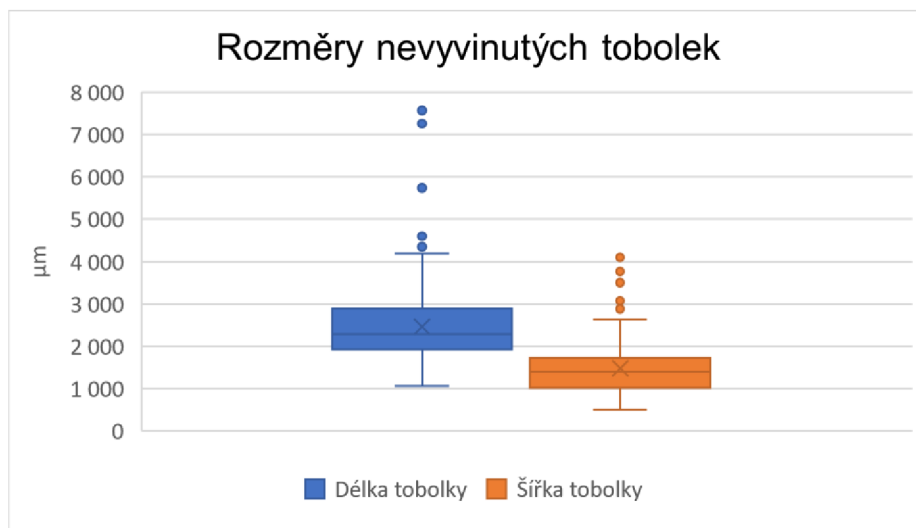
Graf 4: Rozložení naměřených hodnot délky tobolek



Graf 5: Rozložení naměřených hodnot šířky tobolek



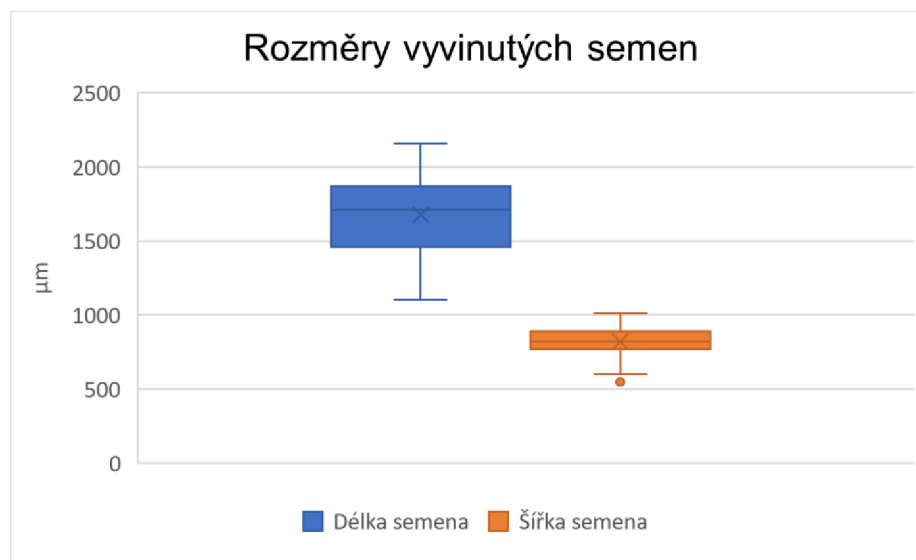
Graf 6: Vztah mezi šířkou a délkou tobolek, regresní analýza v programu Excel



Graf 7: Srovnání rozměrů nevyvinutých tobolek

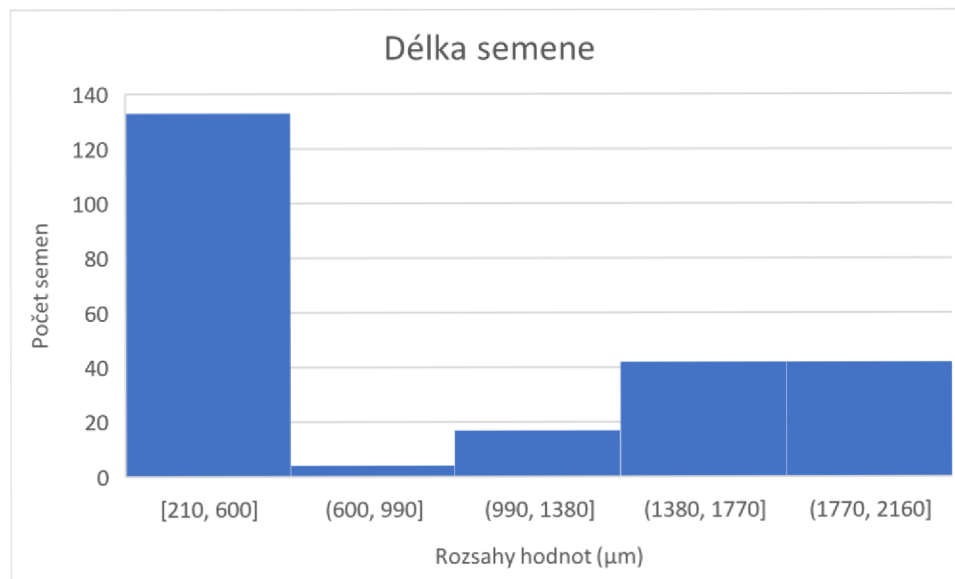
3.2.2 Rozměry semen

U vyvinutých semen se pohybovala délka mezi 1,1–2,16 mm. Nejčastěji změřenou délkou bylo 1,79 mm. Šířky vyvinutých semen byly změřeny mezi 0,6–1,01 mm. Zde se nejčastěji objevovala hodnota 0,8 mm. Byla zde i jedna odlehlá hodnota 0,5 mm. Medián naměřených délek vyvinutých semen byl 1,72 mm a medián naměřených šířek 0,82 mm. V grafu č. 8 je patrný rozdíl v rozměrech délky a šířky vyvinutých semen.

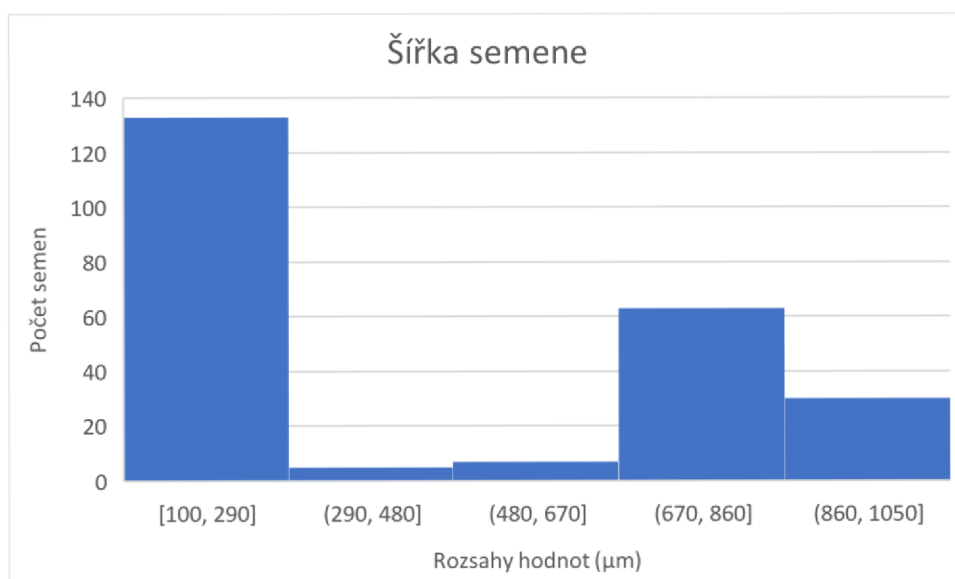


Graf 8: Srovnání rozměrů vyvinutých semen

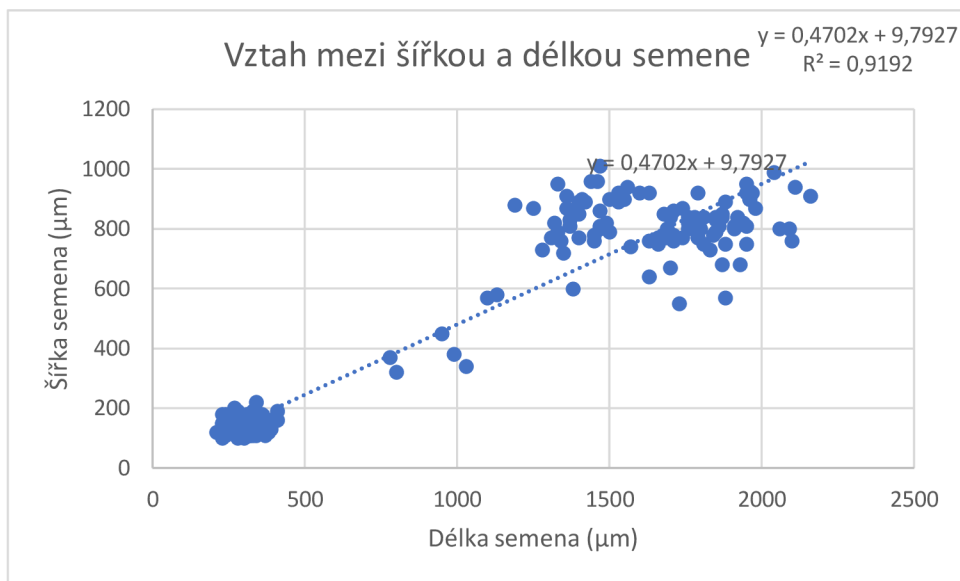
Grafy č. 9 a 10 ukazují rozložení hodnot délky a šířky všech změřených semen. Ze statistického testování vyšel průkazný vztah mezi délkou a šířkou semene ($R^2 = 0,9192$, $P < 0,01$), (graf č. 11).



Graf 9: Rozložení naměřených hodnot délky semen

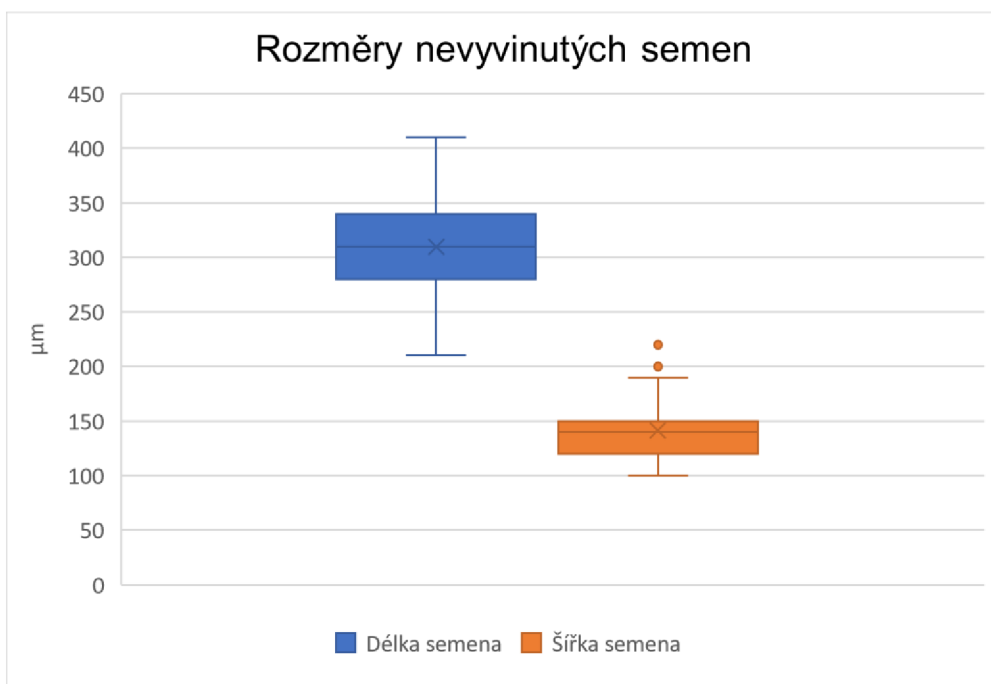


Graf 10: Rozložení naměřených hodnot šířky semen



Graf 11: Vztah mezi šířkou a délkou semene, regresní analýza v programu Excel

Délka nevyvinutých semen se pohybovala mezi 0,21–0,41 mm a nejčastěji změřenou hodnotou bylo 0,31 mm. Šířka semen se pohybovala mezi 0,1–0,19 mm. Nejčastěji byla změřena hodnota 0,13 mm a změřeny byly i dvě odlehlé hodnoty 0,2 mm a 0,22 mm. Medián hodnot délky byl 0,31 mm a šířky 0,14 mm. Rozdíl mezi rozměry délky a šířky nevyvinutých semen vyjadřuje graf č. 12.



Graf 12: Srovnání rozměrů nevyvinutých semen

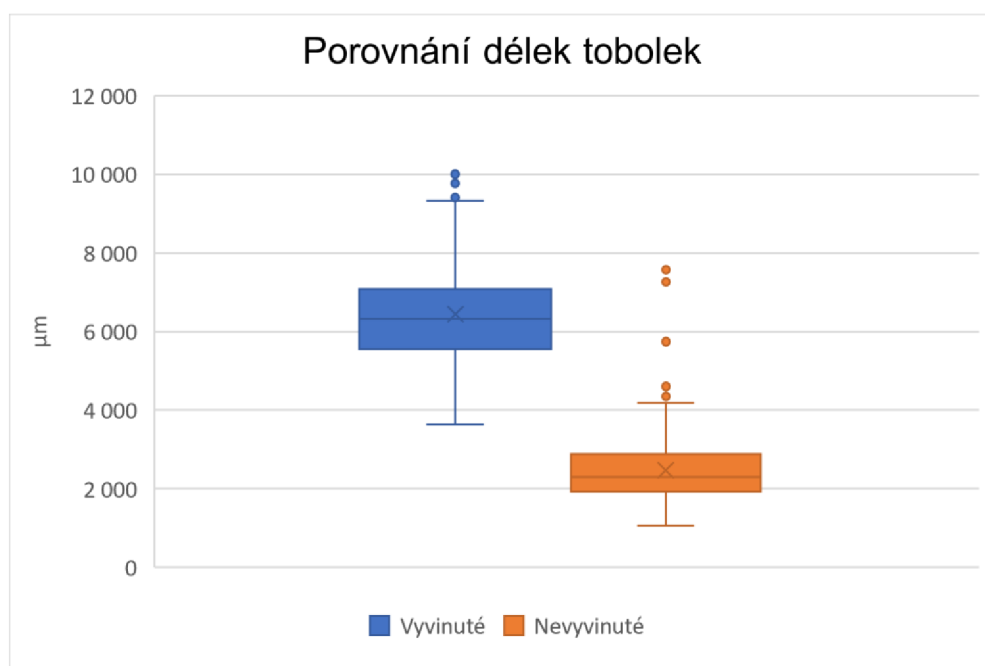
3.2.3 Porovnání vyvinutých a nevyvinutých tobolek a semen

Tvarově se od sebe vyvinuté a nevyvinuté tobolky ve většině případů nelišily. Tobolky měly hruškovitý tvar a na konci byly uschlé zbytky květů. Některé vyvinuté tobolky byly otevřené a obsahovaly tak velmi málo semen, v několika případech byly zcela prázdné nebo uvnitř byla pouze nevyvinutá semena. Byly pozorovány také nevyvinuté tobolky, které se výrazně lišily od ostatních. Tyto tobolky byly seschlé, velmi úzké a v několika případech z nich nebylo možné vyjmout nevyvinutá semena.

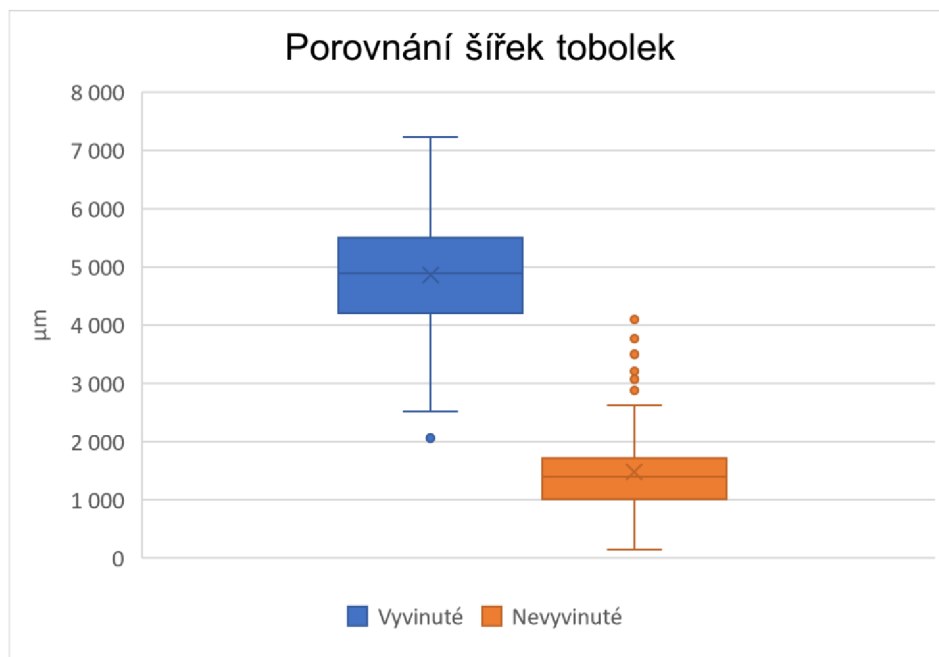
Rozdíly mezi rozměry vyvinutých a nevyvinutých tobolek, jsou patrné na grafech č. 13 a 14. Vyvinuté tobolky byly ve většině případů větší než nevyvinuté tobolky, u některých se rozměry překrývaly v délce, šířce nebo u obou rozměrů.

Vyvinutá a nevyvinutá semena byla od sebe dobře rozlišitelná. Vyvinutá semena měla rezavě hnědou barvu, byla lehce podélně svrasklá a byla pozorovatelná pouhým okem. Naproti tomu nevyvinutá semena byla rozlišitelná až pod mikroskopem. Barvu měla světle béžovou, byla průsvitná, plochá a povrch měla nerovný a hrubý.

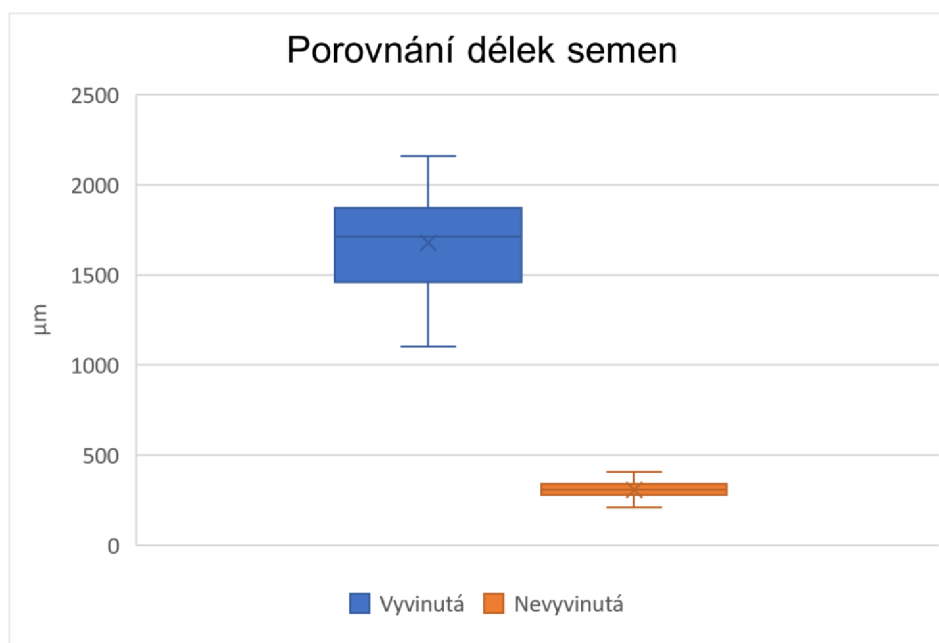
Z grafu č. 15 a 16 je patrný výrazný rozdíl v rozměrech vyvinutých a nevyvinutých semen. Délka i šířka vyvinutých semen byla několikanásobně větší než u nevyvinutých semen.



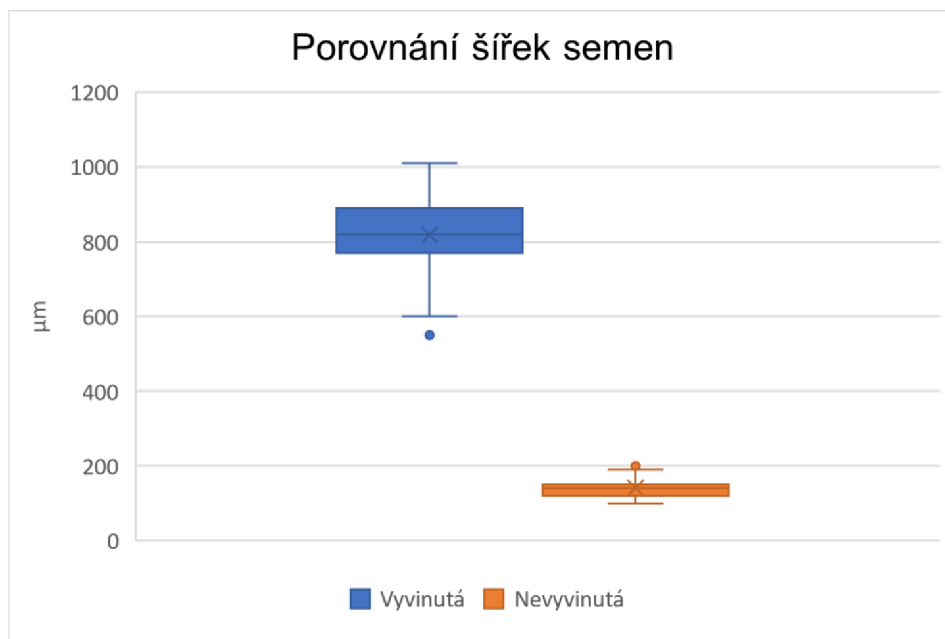
Graf 13: Porovnání délek mezi vyvinutými a nevyvinutými tobolkami



Graf 14: Porovnání šířek mezi vyvinutými a nevyvinutými tobolkami

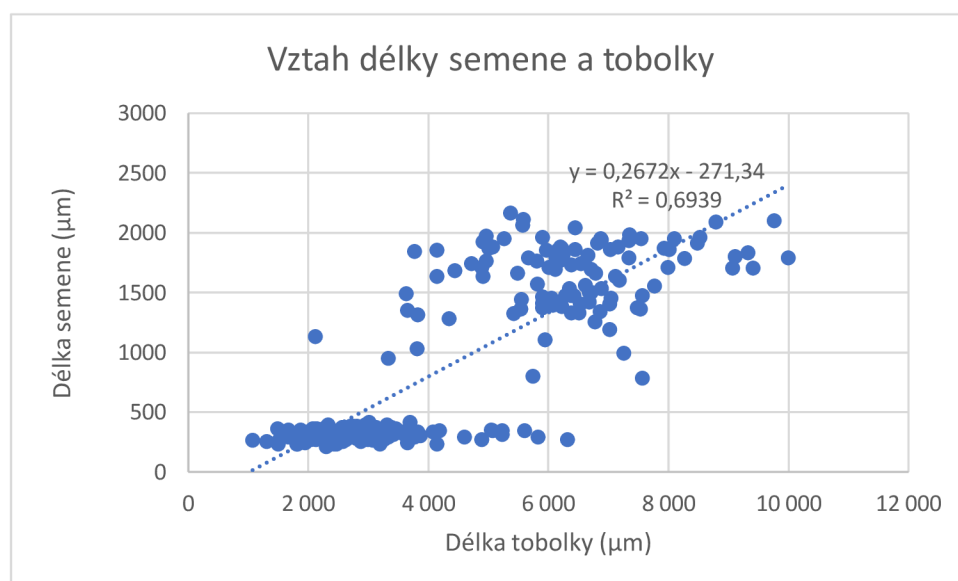


Graf 15: Porovnání délek mezi vyvinutými a nevyvinutými semeny

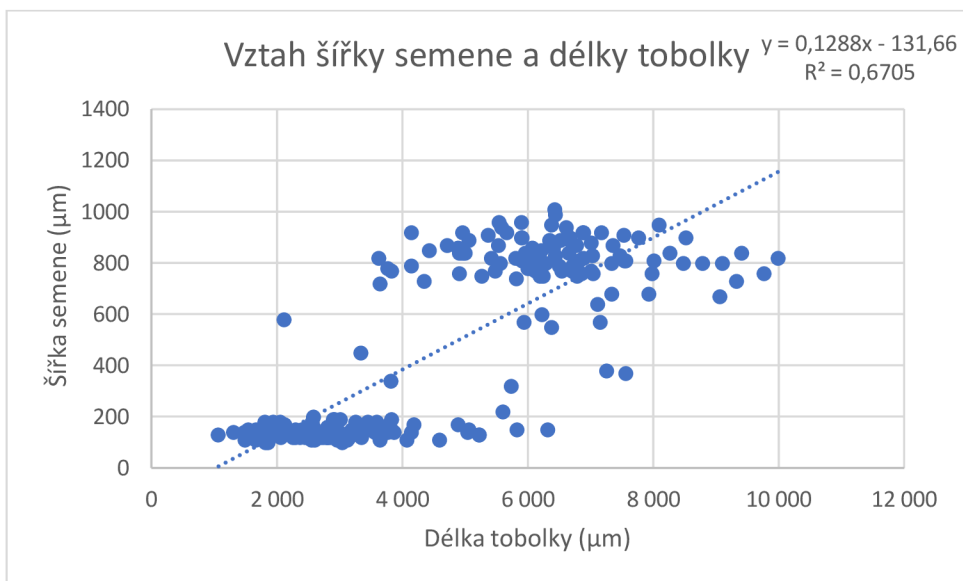


Graf 16: Porovnání šířek mezi vyvinutými a nevyvinutými semeny

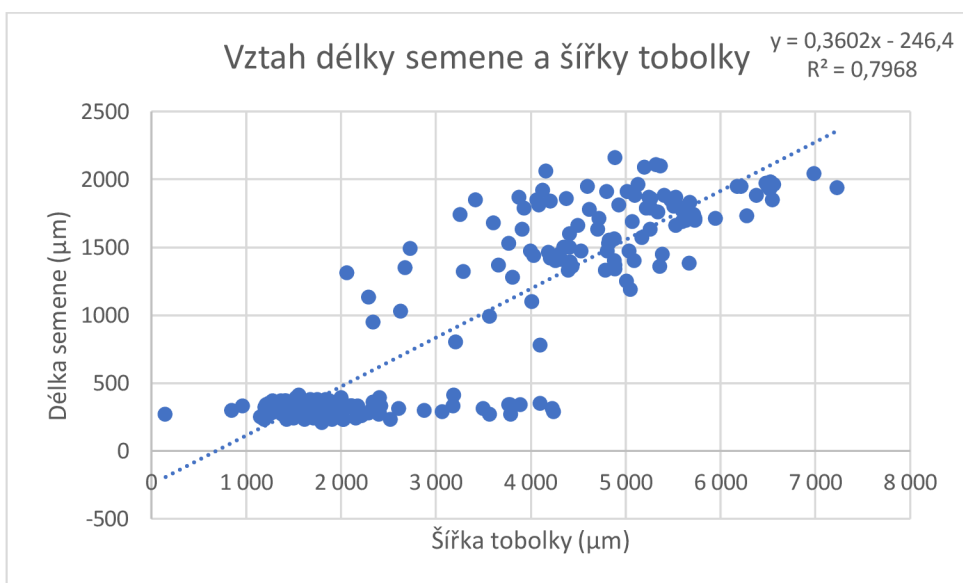
Srovnáním parametrů tobolk a semen byl zjištěný průkazný ($P < 0,01$) vliv parametrů tobolk a parametrů semen (graf č. 17–20).



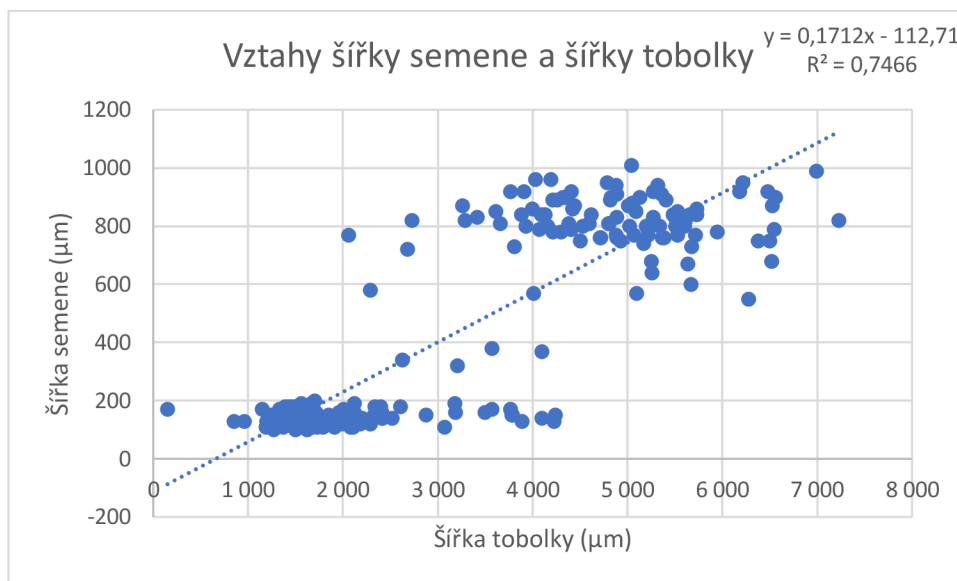
Graf 17: Vztah délky semene a délky tobolky, regresní analýza v programu Excel



Graf 18: Vztah šířky semene a délky tobolky, regresní analýza v programu Excel



Graf 19: Vztah délky semene a šířky tobolky, regresní analýza v programu Excel

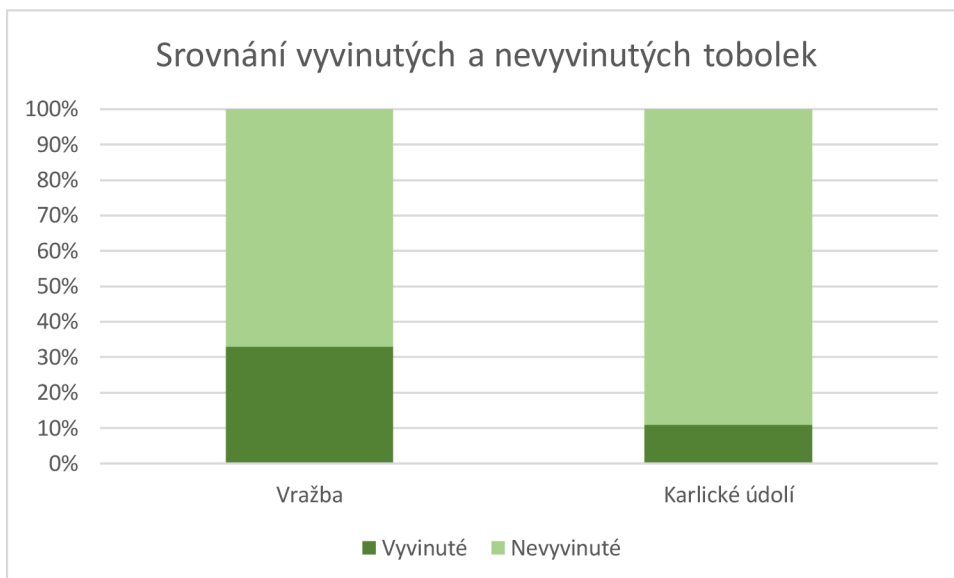


Graf 20: Vztah šířky semene a šířky tobolky, regresní analýza v programu Excel

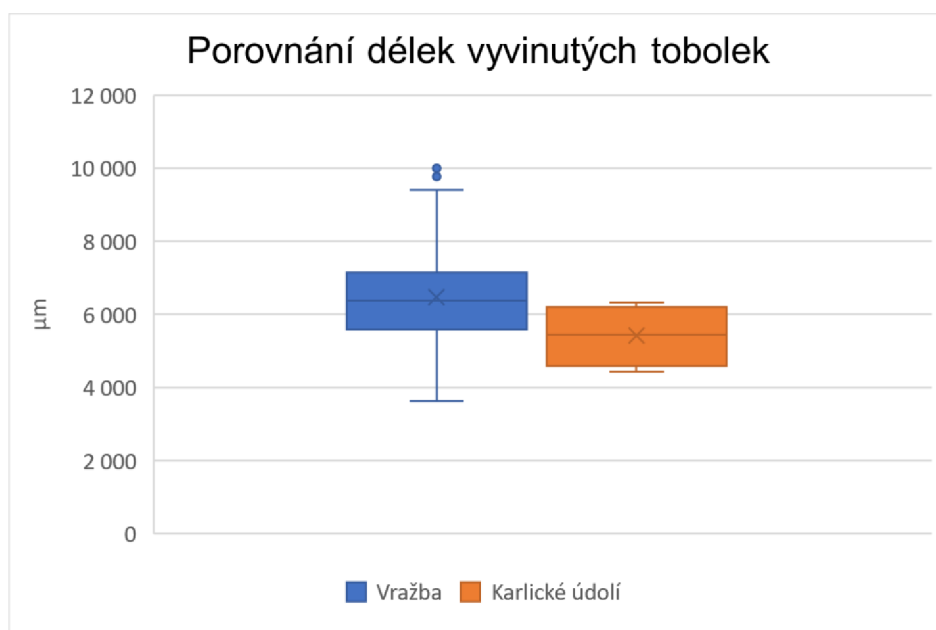
3.3 Srovnání lokalit

Lokalita PP Vražba a PR Karlické údolí mezi sebou byly srovnány na základě porovnání rozměrů vyvinutých a nevyvinutých tobolek a nevyvinutých semen. Rozměry vyvinutých semen nebylo možné mezi lokalitami srovnat, jelikož z lokality PR Karlické údolí bylo získáno pouze jedno vyvinuté semeno. Rozměry vyvinutých i nevyvinutých tobolek a semen se mezi lokalitami výrazně nelišily (graf č. 22–27). Největší rozdíl byl v rozsahu změřených šířek vyvinutých tobolek. Na lokalitě PP Vražba činil rozsah 4,71 mm a na lokalitě PR Karlické údolí pouze 0,63 mm.

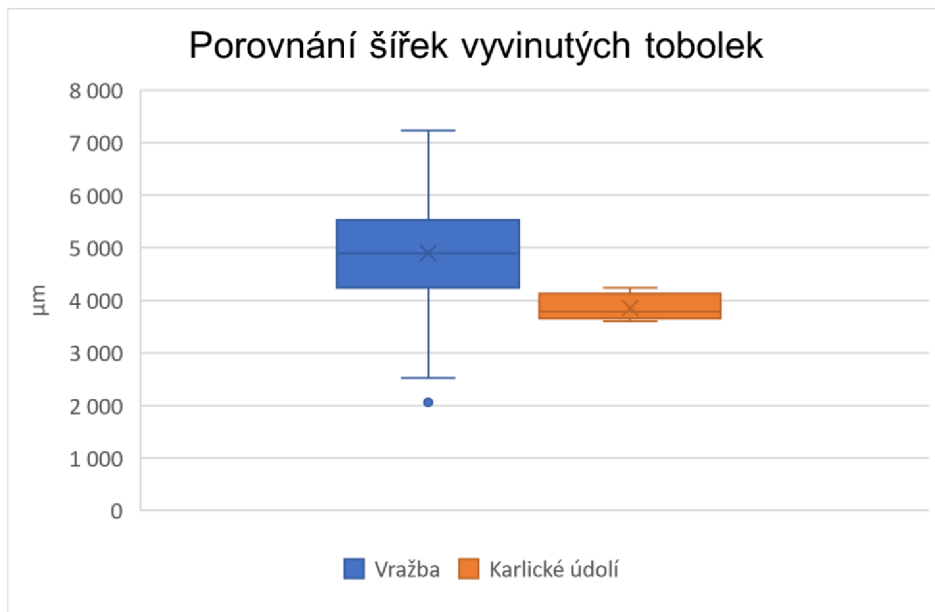
Dále bylo mezi lokalitami posouzeno procentuální zastoupení mezi počtem vyvinutých a nevyvinutých tobolek z ochranných pytlíčků. Z grafu č. 21 je patrný rozdíl mezi procentuálním zastoupením mezi lokalitami. Na lokalitě PP Vražba bylo zachyceno procentuální zastoupení vyvinutých tobolek o 22 % vyšší než na lokalitě PR Karlické údolí.



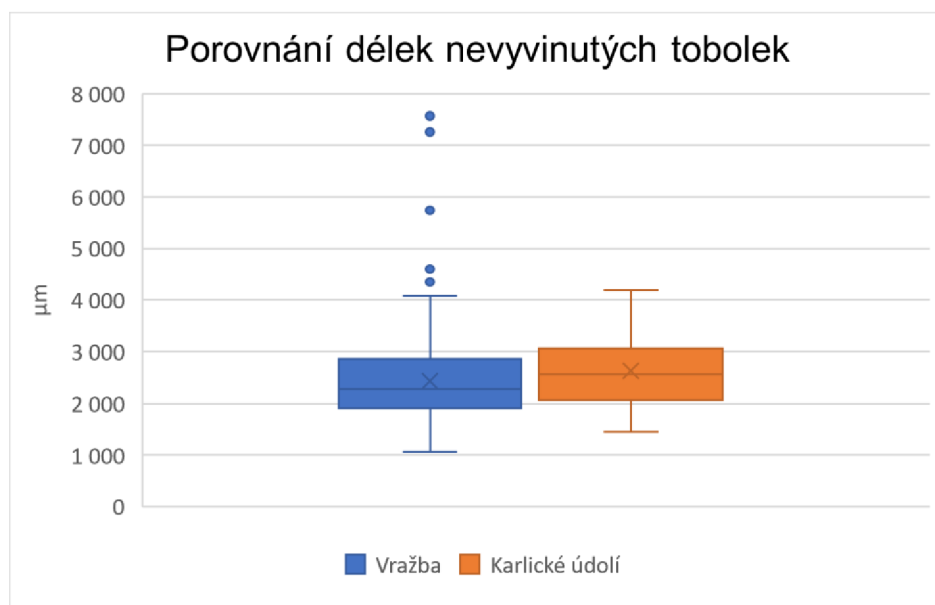
Graf 21: Srovnání procentuálního zastoupení vyvinutých a nevyvinutých tobolek na lokalitě Vražba a Karlické údolí



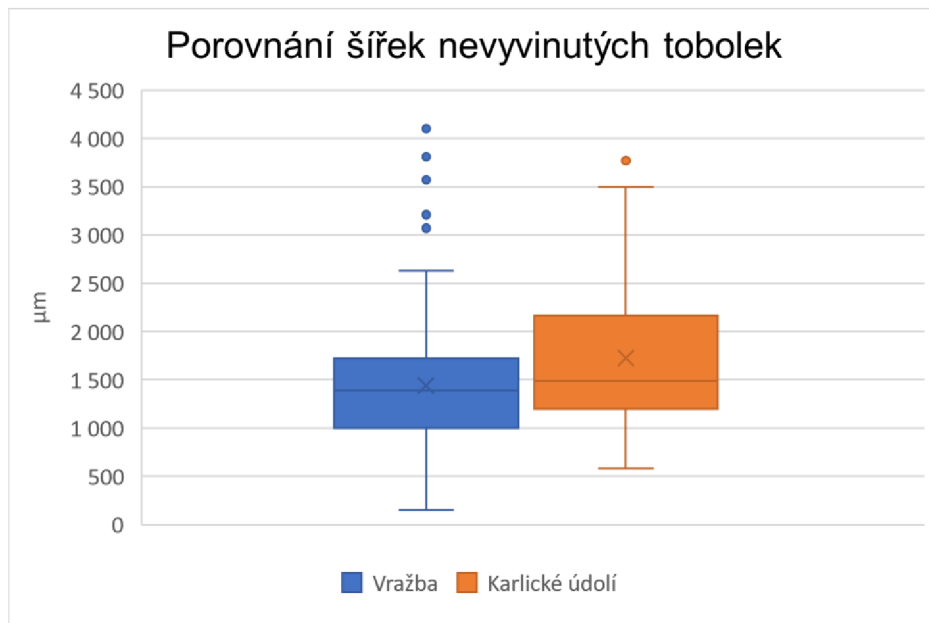
Graf 22: Porovnání délek vyvinutých tobolek mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí



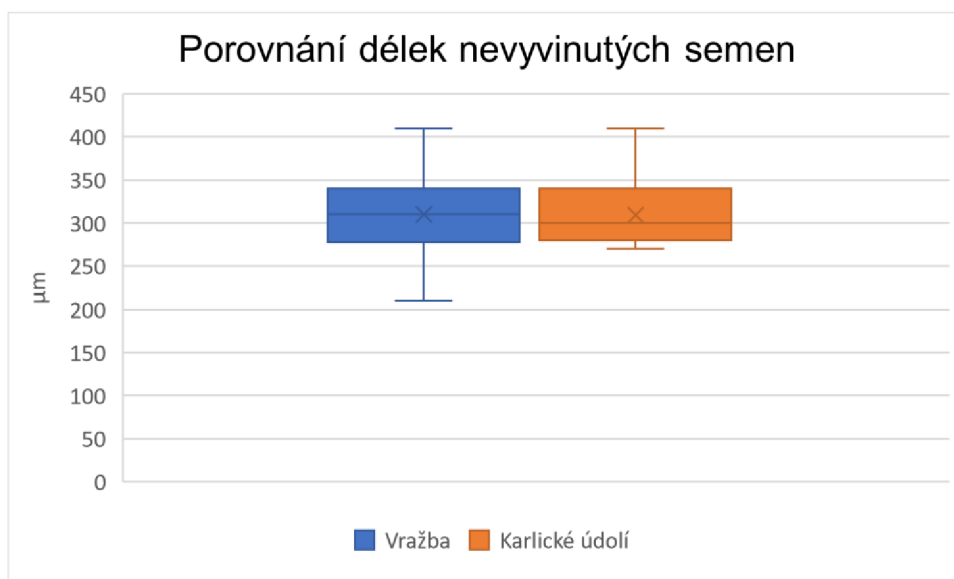
Graf 23: Porovnání šířek vyvinutých tobolek mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí



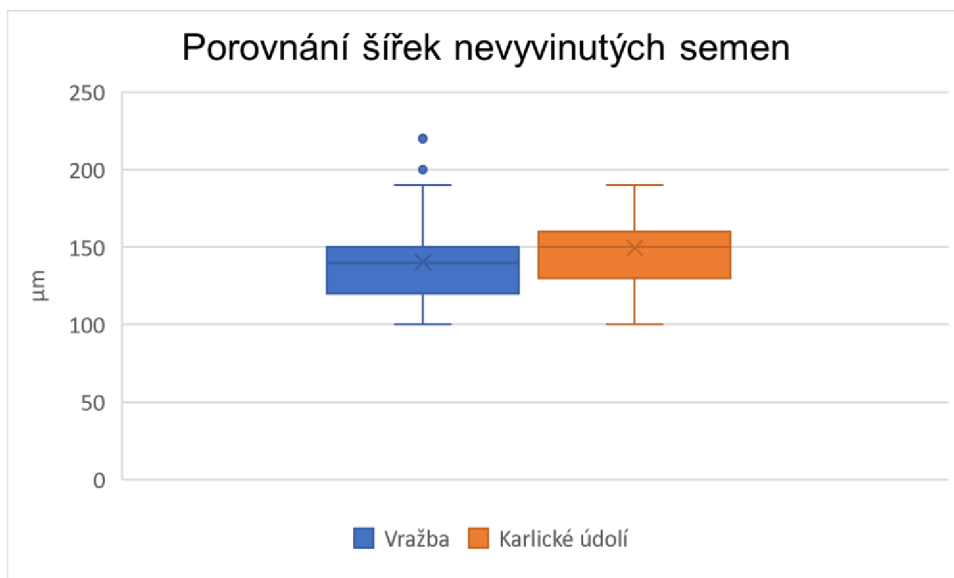
Graf 24: Porovnání délek nevyvinutých tobolek mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí



Graf 25: Porovnání šířek nevyvinutých tobolek mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí



Graf 26: Porovnání délek nevyvinutých semen mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí

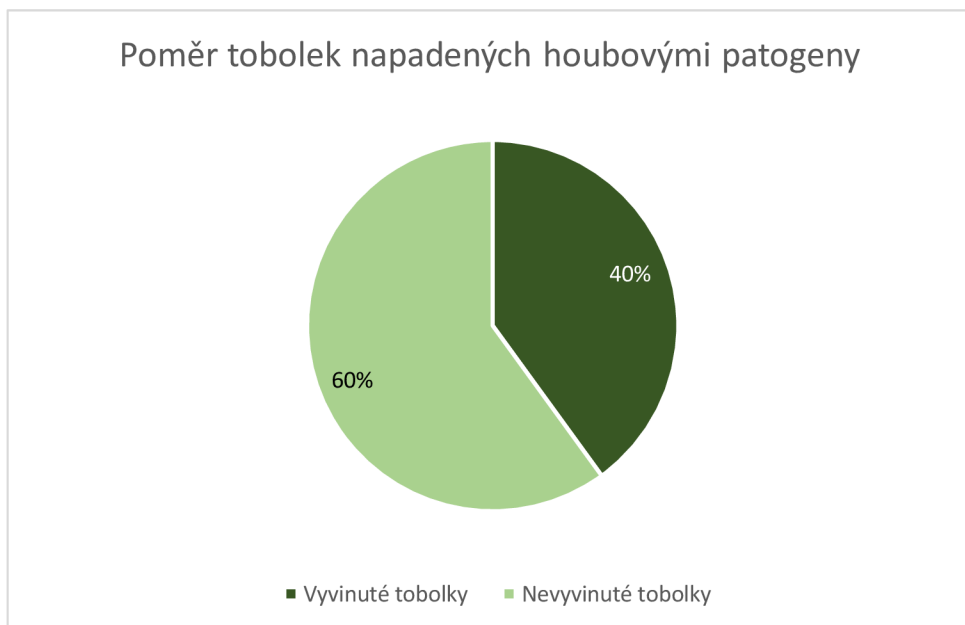


Graf 27: Porovnání šířek nevyvinutých semen mezi lokalitou Vražba a Karlické údolí

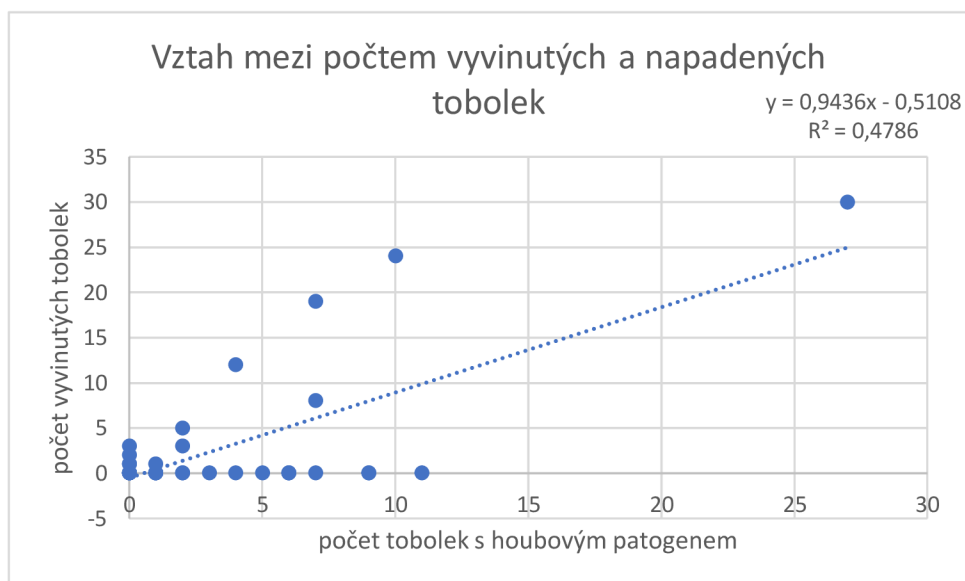
3.4 Vliv houbových patogenů

U 139 z 354 tobolek bylo pozorováno napadení houbovými patogeny o různém stupni postižení. Na lokalitě PP Vražba bylo těchto tobolek 129, z toho bylo 56 vyvinutých a 73 nevyvinutých. Na lokalitě PR Karlické údolí byly napadeny pouze nevyvinuté tobolky ve výsledném počtu 10 napadených tobolek.

Napadení houbovými patogeny bylo u některých tobolek viditelné pouhým okem. Na povrchu měly tmavý povlak, či se jevíly jako lehce pýřité s tmavými chomáči. U některých nevyvinutých tobolek byly pak tyto projevy viditelné nejlépe, kdy mohly být celé pokryté patogenem. Další tobolky se pouhým okem jevíly jako zdravé, avšak po jejich otevření mohla být pod mikroskopem viditelná přítomnost patogenů uvnitř tobolky. V mnoha případech, kdy byly patogeny přítomny uvnitř tobolek, byla napadena i semena. Graf č. 28 vyjadřuje procentuální zastoupení vyvinutých a nevyvinutých napadených tobolek, přičemž napadených vyvinutých tobolek bylo o 20 % více než nevyvinutých. Regresní analýzou se nepodařilo prokázat vliv přítomnosti houbových patogenů nalezených v testovacích ochranných sáčcích na počet vyvinutých tobolek. Vyšší regresní koeficient byl zjištěn pouze ve vztahu počet vyvinutých tobolek – počet tobolek napadených houbovým patogenem ($R^2 = 0,4786$), (graf č. 29).



Graf 28: Poměr mezi vyvinutými a nevyvinutými tobolkami napadenými houbovými patogeny



Graf 29: Vztah mezi počtem vyvinutých a napadených tobolk houbovým patogenem, regresní analýza v programu Excel

3.5 Přítomnost potenciálních opylovačů na tobolkách

První známky možnosti proniknutí opylovačů ke květům byly pozorovány již při sklizení tobolk, kdy byli v ochranných pytlíčcích viditelní hmyzí parazité rostliny. Na lokalitě PP Vražba byly takto napadeny dva pytlíčky. Při pozorování a měření tobolk pod digitálním mikroskopem byly zachyceny tobolky s přítomným hmyzem (obr. č. 8–10). Dohromady byla přítomnost potvrzena na tobolkách pocházejících

z devíti různých pytlíčku. Na lokalitě PR Karlické údolí byla přítomnost hmyzu prokázána pouze na dvou tobolkách. Z lokality PP Vražba bylo pozorováno 19 tobolek s přítomným hmyzem, dohromady z osmi různých pytlíčků. Přítomnost hmyzu na tobolce však nepodmiňovala vyvinutí dané tobolky nebo zachycení vyvinutých tobolek ze stejného ochranného pytlíčku.



Obr. 8: Tobolka s přítomným hmyzem, zachycené pod mikroskopem KEYENCE. Autor: E. Aubrechtová (2020)



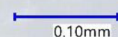
Objektiv: E20 : X80
Zvětšení mikroskopu : X26



Obr. 9: Tobolka s přítomným hmyzem (vpravo nahoře), zachycené pod mikroskopem KEYENCE. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Objektiv: E100 : X300
Zvětšení mikroskopu : X96



Obr. 10: Larva hmyzu získaná z tobolky, zachycené pod mikroskopem KEYENCE. Autor: E. Aubrechtová (2020)

4 Diskuze

4.1 Srovnání výsledků morfometrického měření tobolek a semen s dostupnými daty

Při měření vyvinutých tobolek se pohybovala délka od 3,63 mm do 10 mm, přičemž průměrná délka byla 6,441 mm. Kovanda (2000) uvádí délku tobolek od 8 mm do 12 mm. Oproti těmto rozměrům, byl z lokalit PP Vražba a PR Karlické údolí zachycen vysoký počet výrazně menších tobolek.

Délku semen uvádí Kovanda (2000) od 2 mm do 2,5 mm. Dle Kucharczyka (2014) pak semena dorůstají mnohem menší délky do 1,7 mm. Bojňanský et Fargašová (2007) uvádějí délku semene mezi 1,8–2,2 mm, což se blíží všem předchozím uvedeným hodnotám. Šířku uvádějí Bojňanský et Fargašová (2007) mezi 0,9–1,1 mm. Obdobné hodnoty uvádí i AOPK ČR (2021), kde činí průměrná délka semen 2 mm a šířka 0,9 mm. Morfometrickému měření semen se v bakalářské práci věnovala Bajerová (2015). Celkem bylo zvaženo a změřeno 50 semen z lokality NPR Karlštejn. Průměrnou šířku semene činilo 0,924 mm a délku 1,628 mm. V této práci bylo změřeno celkem 99 vyvinutých semen. Výsledky měření činily průměrnou šířku semene 0,820 mm a délku 1,676 mm. Průměrné rozměry semen tak byly v porovnání s výsledky Bajerové (2015) velmi podobné.

Délku semen Bajerová (2015) změřila mezi 1,4–1,9 mm, nejčastější byla hodnota 1,6 mm. Šířku naměřila mezi 0,8–1,1 mm a nejčastěji naměřila hodnotu 0,9 mm. Délka semen v této práci se pohybovala mezi 1,1–2,16 mm, s nejčastější hodnotou 1,79 mm. Šířka semen byla změřena mezi 0,6–1,01 mm a nejčastěji bylo změřeno 0,8 mm. Rozsah změřených délek byl oproti výsledkům Bajerové (2015) o něco vyšší, důvodem mohlo být větší množství měřených semen. Bajerová (2015) dále uvádí hodnotu šířky semene 0,6 mm jako extrémní hodnotu, v našem případě byl tento rozměr ještě zařazen do běžných hodnot.

4.2 Posouzení výsledků manipulačního experimentu

Ochrana pytlíčky nebyla zcela účinná ve všech případech, vzhledem k zachycení pytlíčků, kde byly přítomny larvy hmyzu či hmyzí parazité, kteří mohli být potencionálními opylovači. Jejich nález na tobolkách mohl být způsoben použitím

nevhodného materiálu na uzavírání pytlíčků, povolením provázku nebo chybou při zavazování, kdy následně vznikla mezera u vstupu do pytlíčku, umožňující proniknutí hmyzu k poupatům. Při opakování experimentu by tedy bylo vhodné použít k uzavření velmi tenký provázek či nit, k lepšímu a bezpečnějšímu uzavření poupat. Větší množství zachycených vyvinutých tobolek na lokalitě PP Vražba tak mohlo souviset se sklizením více pytlíčků, do kterých pronikly opylovači.

Díky atraktivnosti květů pro hmyz, lze u zvonovce předpokládat opylování entomogamií. U rodu *Adenophora* jsou známými opylovači čmeláci (Roquet et al. 2008), dále jsou potvrzenými opylovači noční motýli (Funamoto, 2019; Liu et Huang, 2013) nebo včely (Liu et Huang, 2013). Je zde i známa teorie (Liu et Huang, 2013) opylování na základě barvy květů, kdy se u rostlin s modře zbarvenými květy předpokládá opylování čmeláky a u rostlin s bíle zbarvenými květy, se předpokládá opylování nočními motýli. Na nepřesnost této teorie upozorňují ve své studii Funamoto a Ohashi (2017). Dále také uvádějí, že na opylování má vliv více podmínek, a ne pouze barva květu. Jednou z těchto podmínek je například čas kdy se květy otevírají.

Liu et Huang (2013) ve své studii uskutečnili obdobný manipulační experiment s ochranou květů před opylovači, jako byl realizován v této bakalářské práci. Ochrana byla umístěna na květy druhů *Adenophora jasiniofolia*, *Adenophora khasiana* a *Adenophora capillaris* za účelem vyhodnocení účinnosti opylení entomogamií a autogamií. U všech druhů byla produkce semen autogamií velmi nízká, oproti tomu u květů opylených entomogamií byla produkce semen výrazně vyšší. Výsledky manipulačního experimentu v této práci by mohly poukazovat na podobné výsledky u zvonovce liliolistého. U květů, které byly chráněny před opylením entomogamií, mohlo tedy také docházet k opylení autogamií. Počty nevyvinutých tobolek výrazně převyšovaly nad počty vyvinutých tobolek.

4.3 Posouzení vlivu houbových patogenů

Vliv houbových patogenů na klíčivost semen zachytila ve své práci Bajerová (2015). Při napadení semen se projevoval menší počet vyklíčených semen poukazující na snížení jejich klíčivosti vlivem houbových patogenů. Regresní analýzou se však nezdařilo prokázat vliv patogenů na dozrávání tobolek. K přesnému posouzení vlivu

houbových patogenů tak bude zapotřebí provést detailní pozorování, jak patogeny působí na vývoj poupát, květů i plodů a na celkové prospívání rostlin. V této práci bylo pouze vyhodnoceno, nakolik houbové patogeny napadají tobolky vyvinuté a nevyvinuté, přičemž vyšší regresní koeficient byl zjištěn ve vztahu počet vyvinutých tobolek – počet tobolek napadených houbovými patogeny.

Dále bude nutné pro doplnění informací o patogenech napadající zvonovec liliolistý, přesně určit druh či druhy, které jej napadají. To by mohlo být uskutečněno pomocí kultivace patogenů z rostliny nebo z jejích částí na umělých živných médiích, pozorováním vypěstovaných kultur z živných médií pod mikroskopem nebo pomocí imunologických či patologických testů (Narayanasamy, 2010).

Závěr

V rámci bakalářské práce byl realizován manipulační experiment na lokalitách PP Vražba a PR Karlické údolí, k posouzení vlivu opylovačů na opylování zvonovce liliolistého. U získaných tobolek byly změřeny rozměry a vyjmuta přítomná semena, u kterých bylo také provedeno měření. Podle rozměrů a vzhledu, byly tobolky i semena rozděleny na dvě skupiny – vyvinuté a nevyvinuté. Z výsledků pak bylo posuzováno, zda lze z experimentu usoudit, jestli dochází k opylování entomogamií. Výsledky byly srovnány s obdobným experimentem, realizovaným u příbuzných druhů *Adenophora*. Při statistickém zpracování dat byly pomocí regresní analýzy prokázány vztahy mezi rozměry tobolek a semen.

Sledována byla i přítomnost houbových patogenů na tobolkách, kde byl zjištěn vyšší regresní koeficient ve vztahu počtu vyvinutých tobolek a počtu tobolek napadených houbovými patogeny. U tohoto pozorování bude potřebné realizovat navazující studie, k lepšímu posouzení vlivu patogenů na zrání plodů a semen, v případě některých lokalit pak také určení následků napadení houbovými patogeny pro celé populace zvonovce. Dále by bylo vhodné přesné určení daných druhů patogenů napadajících zvonovec liliolistý.

Literatura

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2018. Aktuální stav zvonovce liliolistého v ČR: 240 trsů. AOPK ČR [online] [cit. 2021-20-7]. Dostupné z: <https://www.zachranneprogramy.cz/zvonovec-liliolisty/novinky/aktualni-stav-zvonovce-liliolisteho-v-cr-240-trsu/>

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2021a. *Adenophora liliifolia* zvonovec liliolistý. AOPK ČR [online] [cit. 2021-9-7]. Dostupné z: https://portal.nature.cz/publik_syst/nd_nalez-public.php?idTaxon=35102

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2021b. *Adenophora liliifolia* – C1 Portál ISOP. AOPK ČR [online] [cit. 2021-9-7]. Dostupné z: https://portal.nature.cz/c1/c1_druh.php?akce=view&id=70&opener=&vztazne_id=0

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2021c. MGSII-17 Zvonovec liliolistý. AOPK ČR [online] [cit. 2021-12-7]. Dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/druhova-ochrana/ehp-fondy/mgsii-17-zvonovec-liliolisty/>

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2021d. PR Karlické údolí. AOPK ČR [online] [cit. 2021-18-7]. Dostupné z: <https://ceskykras.ochranaprirody.cz/ochrana-prirody/chranena-uzemi/pr-karlicke-udoli/>

Bajerová A., 2015: Studium ekologických nároků zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v podmínkách střední Evropy. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 58 p.

Bojňanský V., Fargašová A., 2007: Atlas of Seeds and Fruits of Central and East-European Flora: The Carpathian Mountains Region. Springer, Dordrecht, 1046 p. ISBN 978-1-4020-5361-0. ISBN: 978-1-4020-5362-7

Brabec J., Hadinec J., 2005: *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC. - In: Hadinec J., Lustyk P. et Procházka F., Zprávy České botanické společnosti 40 (1): 80–82.

Brukhin V., 2017: Molecular and genetic Regulation of Apomixis. Russian Journal of Genetics 53 (9): 943–964.

Burdon, J. J., Silk J., 1997: Sources and Patterns of Diversity in Plant-Pathogenic Fungi. Phytopathology 87 (7): 664–669.

Ciosek M. T., 2006: The ladybells *Adenophora liliifolia* (L.) Besser in forest near

Čepelová B., Prausová R., 2017: Zvonovec liliolistý. Představení druhu a jeho ochrana. AOPK ČR, Praha, 24 p.

Kisielany (Siedlce Upland, E Poland). Biodiv. Res. Conserv. 3–4: 324–328.

- Faegri K., van der Pijl L., 1980: The principles of pollination ecology. Third Revised Edition. Pergamon press, England, Oxford, 243 p.
- Farkas T. et Vojtkó A. 2012: Az *Adenophora liliifolia* (L.) Besser morfológiai változatosága és cönológiai viszonyai hazánkban. *Kitaibelia* 17: 94.
- Farkas T. et Vojtkó A. 2013: Az illatos csengettyüvirág (*Adenophora liliifolia* (L.) Ledeb. ex A. DC.) aktuális helyzete, morfológiai változatosága és élőhelyválasztása Magyarországon. *Botanikai Közlemények* 100: 77–103.
- Funamoto D., 2019: Precise Sternobic Pollination by Settling Moths in *Adenophora maximowicziana* (Campanulaceae). *Botanical Bulletin* 180 (3): 200–208.
- Funamoto D., Ohashi K., 2017: Hidden floral adaptation to nocturnal moths in an apparently bee-pollinated flower, *Adenophora triphylla* var. *japonica* (Campanulaceae). *Plant Biology* 19: 767–774.
- Gregor T., 2013: Apomicts in the vegetation of Central Europe. *Tuxenia* 33: 233–257.
- Grulich V., 2012: Red list of vascular plants of the Czech Republic: 3rd edition. *Preslia*, Praha, 84: 631–645.
- Grulich V., Chobot K., 2017 [eds.], 2017: Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Cévnaté rostliny. *Příroda*, Praha, 35: 80.
- Indreica A., 2011: Forest habitats with *Adenophora liliifolia* from SE Transylvania. Proceedings of the international symposium “Forest and sustainable development”, Braşov: 283–288.
- Kalina T., Váňa J., 2005: Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii. Karolinum, Praha, s. 229–238. ISBN: 80-246-1036-1
- Kochjarová J., Blanár D., Hrivnák R., Májeková J., Ujházy K., Ujházyová M., Zaliberová M., 2009: Doplnky ku flóře vegetácii Mránskej planiny 1. *Reussia* 5: 1–11.
- Kovanda M., 1998: Zvonovec vonný, *Adenophora liliifolia* (L.) Bess., na Moravě a ve Slezsku. *Časopis Slezského zemského muzea, ser. A, Vědy přírodní* 47: 13–18.
- Kovanda M., 2000: *Adenophora Fisch.* – zvonovec. – In: Slavík B. [ed.], *Květena České republiky* 6. Academia, Praha, s. 748.
- Krška K., 2006: Fenologie jako nauka, metoda a prostředek. – In: Rožnovský J., Litschmann T., Vyskot I. [eds.], *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*, Brno. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sborn%C3%ADk06/prispevky/Krska.pdf>
- Kubát K., Hroudá L., Chrtek J. jun, Kaplan Z., Kirschner J., Štěpánek J., 2002: Klíč ke květeně České republiky. *Academia*, Praha, s. 928.
- Kucharczyk M., Rapa A., Zgorzałek S., 2014: *Adenophora liliifolia* (L.) Besser Dzwonecznik wonny. – In: Kazmierczakowa R., Zarzycki K., Mirek Z. [eds.], *Polska*

Czerwona Księga Roślin. Paprotniki i rośliny kwiatowe. Polska Akademia Nauk Instytut Ochrony Przyrody, Kraków, 504–506.

Kyselová H., 2019: Studium životního cyklu a fenologie zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*). Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 46 p.

Liu CQ., a Huang SQ., 2013: Floral divergence, pollinator partitioning and the spatiotemporal pattern of plant-pollinator interactions in three sympatric *Adenophora* species. *Oecologia* 173: 1411–1423.

Marečková L., 2010: Sledování populace zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v lokalitě Vražba na Jaroměřsku ve vztahu k managementu a jeho biotopu. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Hradec Králové, 48 p.

Marečková L., 2013: Stav populací a lokalit ohroženého druhu zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v České republice. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 73 p.

Narayanasamy P., 2010: Microbial Plant Pathogens-Detection and Disease Diagnosis: Fungal Pathogens Vol. 1. Springer. s. 5–199.

Pavlová L., 2006: Fyziologie rostlin. Juvenilní období. Karolinum, Praha. Dostupné z: http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/pavlova/fyzrost/10_Juvenilni_obdobi.pdf

Pinc J., 2013: Vztahy mezi rostlinami a opylovači v extrémních a izolovaných ekosystémech. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 32 p.

Prausová R., Marečková L., Kapler A., Majeský L., Farkas T., Indreica A., Šafářová L., Kitner M., 2016: *Adenophora liliifolia*: condition of its populations in Central Europe. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 58 (2): 83–105.

Prausová R., Marečková L., 2017: Proč je zvonovec liliolistý chráněný soustavou Natura 2000?. *Živa*, Praha, 4: 159–166.

Prausová R., Rybka V., Čepelová B., Vaculná L., 2020: Záchranný program pro zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) v České republice. AOPK ČR, 67 p. Dostupné z: <https://www.zachranneprogramy.cz/zvonovec-liliolisty/zachranny-program-zp/>

Prausová R., Truhlářová K., 2009: Zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) v evropsky významné lokalitě Vražba v lesním komplexu u obce Habřina na Králověhradecku. *Východočeský Sborník Přírodovědný, Práce a studie*, Pardubice, 16: 83–110.

- Procházka F. [ed.], 2001: Černý a Červený seznam cévnatých rostlin České republiky (stav v roce 2000). Příroda, Praha, 18: 1–166.
- Roleček J. et Šťastný M. 2020: Nález zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) u Žehuně ve středním Polabí po 75 letech. Bohemia centralis, Praha, 36: 7–15.
- Roquet C., Sáez L., Aldasoro J. J., Susanna A., Alarcón M. L., Garcia-Jacas N., 2008: Natural Delineation, Molecular Phylogeny and Floral Evolution in *Campanula*. Systematic Botany 33 (1): 203–217.
- Rybka V., Rybková R., Pohlová R., 2004: Rostliny ve svitu evropských hvězd. Sagittaria, Olomouc, Praha, s. 22.
- Řeháková A., 2013: Monitoring populací zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*). Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 73 p.
- Salačová L., Faltusová Z., Ovesná J., 2015: Jaké mechanismy využívají rostliny pro obranu proti houbovým patogenům. Chemické listy, Praha, 109: 613–618.
- Salomon, M. 2001: Evolutionary biogeography and speciation: essay on a synthesis. Journal of Biogeography 28(1): 13–27.
- Samková V., 2003: Nález zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia* (L.) DC.) ve východních Čechách. Acta Musei Reginaehradecensis, Hradec Králové, s. A. 29: 79–80.
- Saska P., Skuhrovec J., Foffová H., Řezáč M., 2020: Ekosystémové služby poskytované bezobratlými v zemědělství. Opylování a regulace škůdců a plecelu. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i, Česká technologická platforma pro zemědělství, Praha, s. 11.
- Severa M., 2003: *Adenophora liliifolia* (L.) DC. – In: Hadinec J., Lustyk P., Procházka F. [eds.], Zprávy České botanické společnosti, Praha, 38: 219.
- Spillane C., Steimer A., Grossniklaus U., 2001: Apomictic seeds in agriculture: the quest for colonial seeds. Sex. Plant Reprod. 14: 179–187.
- Štefánek M., Brabec J., Krinke L., Plesková E., Somol V., Šída O., 2009: *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC. – In: Hadinec J., Lustyk P. [eds.], Zprávy České botanické společnosti, Praha, 44 (2): 189–190.
- Truhlářová K., 2008: Zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) na Jaroměřsku. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Hradec Králové, 59 p.
- Tůma J., Tůmová L., 1998: Fyziologie rostlin. Gaudeamus, Hradec Králové, 266 p.
- Vychytil J., 2013: Monitoring fytocenóz s výskytem zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*). Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Hradec Králové, 85 p.

Whitehead, D. R., 1969: Wind pollination in the angiosperms: evolutionary and environmental considerations. *Evolution* 23 (1): 28–35.

Obrázky a mapy

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2021. Současné a historické rozšíření zvonovce liliolistého (*Adenophora liliifolia*) v České republice. AOPK ČR [online] [cit. 2021-9-7]. Dostupné z WWW: https://portal.nature.cz/nd-dev/nd_atlas_mapa_q_nova.php?idTaxon=35102

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2011. *Adenophora liliifolia* zvonovec liliolistý. AOPK ČR [online] [cit. 2021-9-7]. Dostupné z WWW: https://portal.nature.cz/publik_syst/files/c1_areal_70.jpg

MapoMat. AOPK ČR. Lokalita PP Vražba s vyznačenými mikrolokalitami výskytu zvonovce liliolistého [online] [cit. 2021-20-7]. Dostupné z WWW: <http://webgis.nature.cz/appwebman/mapomat/>

MapoMat. AOPK ČR. PR Karlické údolí s vyznačenou lokalitou výskytu zvonovce liliolistého [online] [cit. 2021-20-7]. Dostupné z WWW: <http://webgis.nature.cz/appwebman/mapomat/>

Přílohy

Příloha I. – tabulky

Příloha II – fotodokumentace

Příloha I – tabulky

Tabulková příloha 1: Popisná statistika sledovaných faktorů na tobolkách

| | | průměr | medián | modus | směrod. odchylka | variance | max | min | max- min |
|-----------------------------------|--------------------|--------|--------|-------|---------------------|----------|-----|-----|-------------|
| Vražba 1 | Vyvinuté tobolky | 1,6 | 0 | 0 | 3,2 | 10,2 | 8 | 0 | 8 |
| | Nevyvinuté tobolky | 6,4 | 6 | - | 4,2 | 17,8 | 13 | 0 | 13 |
| | Houbový patogen | 6,0 | 6,5 | - | 3,3 | 11,0 | 10 | 0 | 10 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,3 | 0 | - | 0,8 | 0,6 | 2 | 0 | 2 |
| Vražba 2 | Vyvinuté tobolky | 1,6 | 0 | 0 | 3,2 | 10,2 | 8 | 0 | 8 |
| | Nevyvinuté tobolky | 6,4 | 6 | - | 4,2 | 17,8 | 13 | 0 | 13 |
| | Houbový patogen | 1,4 | 0 | - | 2,8 | 7,8 | 7 | 0 | 7 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,6 | 1 | - | 0,5 | 0,2 | 1 | 0 | 1 |
| Vražba 3 | Vyvinuté tobolky | 0,6 | 0 | 0 | 0,8 | 0,6 | 2 | 0 | 2 |
| | Nevyvinuté tobolky | 6,4 | 5 | 5 | 2,2 | 5,0 | 10 | 4 | 6 |
| | Houbový patogen | 0,8 | 0 | 0 | 1,2 | 1,4 | 3 | 0 | 3 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 |
| Vražba 4 | Vyvinuté tobolky | 3,4 | 0 | 0 | 7,8 | 125,0 | 30 | 0 | 30 |
| | Nevyvinuté tobolky | 7,1 | 7 | 6 | 3,3 | 13,2 | 13 | 0 | 13 |
| | Houbový patogen | 5,3 | 2 | 1 | 6,6 | 43,8 | 27 | 0 | 27 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,1 | 0 | 0 | 0,3 | 0,1 | 1 | 0 | 1 |
| Karlické údolí | Vyvinuté tobolky | 0,7 | 0 | 0 | 1,1 | 1,2 | 3 | 0 | 3 |
| | Nevyvinuté tobolky | 5,5 | 5 | 5 | 2,2 | 4,9 | 10 | 3 | 7 |
| | Houbový patogen | 1,7 | 1,5 | 0 | 1,7 | 2,9 | 5 | 0 | 5 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,3 | 0 | 0 | 0,7 | 0,6 | 2 | 0 | 2 |
| Všechny lokality dohromady | Vyvinuté tobolky | 2,1 | 0 | 0 | 5,5 | 29,7 | 30 | 0 | 30 |
| | Nevyvinuté tobolky | 6,6 | 6 | 6 | 3,4 | 11,2 | 13 | 0 | 13 |
| | Houbový patogen | 3,8 | 2 | 0 | 5,1 | 26,4 | 27 | 0 | 27 |
| | Hmyz v tobolkách | 0,2 | 0 | 0 | 0,5 | 0,3 | 2 | 0 | 2 |

Tabulková příloha 2: Popisná statistika rozměrů tobolek a semen

| | | průměr | medián | modus | směrod. odchylka | variance | max | min | max-min |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------|------------|------------|----------------|
| Vražba 1 | Délka tobolky (μm) | 5307,7 | 5815 | - | 2452,4 | 6014021,1 | 6710 | 1070 | 5640 |
| | Šířka tobolky (μm) | 3931,7 | 4760 | 5730 | 1819,6 | 3310889,2 | 6550 | 150 | 6400 |
| | Délka semene (μm) | 1257,2 | 1700 | 1790 | 707,3 | 500264,0 | 1880 | 230 | 1650 |
| | Šířka semene (μm) | 555,0 | 765 | 120 | 326,0 | 106259,4 | 920 | 100 | 820 |
| Vražba 2 | Délka tobolky (μm) | 3189,1 | 2080 | 1780 | 2010,4 | 4041630,7 | 8100 | 1310 | 6790 |
| | Šířka tobolky (μm) | 2301,1 | 1560 | 1430 | 1471,7 | 2165913,0 | 6220 | 1150 | 5070 |
| | Délka semene (μm) | 664,9 | 320 | 300 | 615,3 | 378613,6 | 1950 | 230 | 1720 |
| | Šířka semene (μm) | 300,6 | 150 | 130 | 276,9 | 76685,4 | 950 | 100 | 850 |
| Vražba 3 | Délka tobolky (μm) | 2831,2 | 2630 | 2630 | 1313,5 | 1725341,0 | 6880 | 1490 | 5390 |
| | Šířka tobolky (μm) | 1965,2 | 1500 | 1310 | 1245,4 | 1550985,0 | 6180 | 850 | 5330 |
| | Délka semene (μm) | 463,1 | 310 | 310 | 478,4 | 228836,7 | 2160 | 230 | 1930 |
| | Šířka semene (μm) | 198,8 | 140 | 140 | 212,1 | 44970,6 | 920 | 110 | 810 |
| Vražba 4 | Délka tobolky (μm) | 4693,4 | 4900 | 2810 | 1796,4 | 3227205,9 | 7770 | 2050 | 5720 |
| | Šířka tobolky (μm) | 3397,2 | 3290 | 4890 | 1568,1 | 2458879,3 | 7230 | 960 | 6270 |
| | Délka semene (μm) | 933,2 | 895 | 330 | 644,4 | 415273,9 | 2110 | 210 | 1900 |
| | Šířka semene (μm) | 495,2 | 370 | 140 | 349,6 | 122208,1 | 1010 | 110 | 900 |
| Karlické údolí | Délka tobolky (μm) | 3675,3 | 3700 | 2850 | 1185,8 | 1406130,8 | 6320 | 1870 | 4450 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------|------|------|--------|-----------|-------|------|------|
| | Šířka tobolky (μm) | 2680,0 | 2880 | - | 1006,6 | 1013294,1 | 4240 | 1240 | 3000 |
| | Délka semene (μm) | 438,2 | 300 | 270 | 367,1 | 134755,7 | 1680 | 270 | 1410 |
| | Šířka semene (μm) | 215,9 | 150 | 150 | 189,1 | 35765,4 | 850 | 100 | 750 |
| Všechny lokality dohromady | Délka tobolky (μm) | 4361,2 | 3675 | 2850 | 2139,9 | 4578995,6 | 10000 | 1070 | 8930 |
| | Šířka tobolky (μm) | 3176,2 | 2415 | 1720 | 1705,1 | 2907275,2 | 7230 | 150 | 8930 |
| | Délka semene (μm) | 894,2 | 370 | 310 | 686,5 | 471268,8 | 2160 | 210 | 1950 |
| | Šířka semene (μm) | 431,0 | 170 | 130 | 337,8 | 114117,6 | 1010 | 100 | 1950 |

Příloha II – fotodokumentace



Obr. 11: Sterilní lodyha zvonovce liliolistého. Autor: M. Depeš 2020



Obr. 12: Zakládající se poupata zvonovce. Autor: M. Depeš (2020)



Obr. 13: Poupata zvonovce před rozvnutím. Autor: M. Depeš (2020)



Obr. 14: Květenství zvonovce. Autor: M. Depeš (2020)



Obr. 15: Lodyha zvonovce s květy a tobolkami. Autor: M. Depeš (2020)



Obr. 16: Vyvinutá tobolka. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 17: Nevyvinutá tobolka. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 18: Nevyvinuté semeno. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 19: Vyvinuté semeno. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 20: Nevyvinutá tobolka napadená houbovým patogenem. Autor: E. Aubrechtová (2020)



Obr. 21: Vyvinuté semeno napadené houbovým patogenem. Autor: E. Aubrechtová (2020)