

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Botanika



Veronika Řičařová

Dálkové šíření *Rumex alpinus*

Long-distance dispersal of *Rumex alpinus*

Diplomová práce

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Zuzana Münzbergová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 5.5. 2011

.....
Veronika Řičařová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat především své školitelce, Zuzce Münzbergové, za všechny rady a cenné připomínky, za čas, který obětovala opravování všech mých prací a především za velkou dávku trpělivosti, kterou se mnou měla. Poděkovat bych chtěla i Zitě Červenkové, která musela vydržet mé neustále bombardování dotazy a skoro vždy na ně odpověděla.

Velký dík patří Pavle Růžičkové, která – vzdálena za oceán, celou práci přečetla a opravila gramatické a jiné nedostatky (ty ostatní tam zůstaly mojí vinou).

Děkuji také všem svým spolužákům z ročníku za vzájemnou psychickou podporu, ale i za to, že se staly mými přáteli a vydrželi to dlouhé tři roky a někteří dokonce šest let.

Zvláštní poděkování pak patří mým rodičům, kteří mě po celou dobu studia podporovali materiálně i duchovně. Speciálně musím poděkovat mamince Pavle a bratru Jakobovi, kteří se mnou jezdili do Krkonoš a snášeli všechny útrapy terénní práce.

Obsah

Abstrakt.....	6
Abstract	7
1 Úvod.....	8
2 Výběr lokalit, studovaný druh.....	12
2.1 Krkonoše	12
2.1.1 Klima a geologie Krkonoš:	12
2.1.2 Historie Krkonoš:	13
2.2 Charakteristika <i>Rumex alpinus</i> L.	14
2.2.1 Morfologie, ekologie.....	14
2.2.2 Šíření	15
2.2.3 Geografické rozšíření.....	16
2.3 Výběr studovaných lokalit	16
2.3.1 Louka pod Dvorskou boudou.....	16
2.3.2 Zelený potok	16
2.3.3 Červený potok.....	17
2.3.4 Modrý potok	17
3 Metodika - sběr a zpracování dat.....	18
3.1 Dálkové šíření na loukách	18
3.1.1 Stavba lapací pasti.....	18
3.1.2 Rozmístění pastí.....	18
3.1.3 Pokus na poli.....	19
3.1.4 Zpracování dat	21
3.1.5 Křivka šíření	21
3.2 Dálkové šíření podél potoků	22
3.2.1 Stavba pasti	22
3.2.2 Rozmístění pastí.....	23
3.2.3 Vypouštěcí pokus.....	23

3. 2. 4 Korekce dat o šíření podél potoků	24
3. 4 Dynamický prostorový model invaze.....	26
3. 4. 1 Území simulace.....	26
3.4.2 Vstupní parametry simulací	27
4 Výsledky	31
4.1 Dálkové šíření na loukách	31
4.1.1 Primární data.....	31
4. 1. 2 Exponenciální křivky šíření větrem	34
4.2 Dálkové šíření podél potoků	36
4. 2. 1 Primární data.....	36
4. 2. 2 Korekce dat o šíření podél potoků	39
4. 3 Souhrn dat o anemochorii a hydrochorii	43
4. 4. Porovnání simulací šíření	46
(terénní křivky vs. teoretické křivky šíření)	46
4. 4. 1 Malé území	46
4. 4. 2 Velké území	48
4. 5 Dynamický model invaze.....	50
5 Diskuse.....	56
5. 1 Dálkové šíření na loukách	56
5. 2 Dálkové šíření v potocích.....	60
5. 3 Souhrn dat o anemochorii a hydrochorii	63
5. 4. Porovnání simulací šíření	64
(terénní vs. teoretické křivky šíření)	64
5.5 Dynamický model	65
6 Závěr.....	66
7 Literatura	67
8 Přílohy	71

Abstrakt

Dálkové šíření *Rumex alpinus* bylo zkoumáno na území Krkonošského národního parku, kde je invaze tohoto druhu aktuálním problémem. Práce navazuje na diplomovou práci z roku 2007 (Červenková 2007), ve které byl vytvořen model invaze *R. alpinus* v Krkonoších.

Měření dálkového šíření probíhalo na čtyřech lokalitách - na třech lokalitách bylo zkoumáno dálkové šíření vodou a na jedné lokalitě šíření větrem.

Anemochorie na louce byla měřena pomocí lapacích pastí až do vzdálenosti 50 m. Semene se pomocí větru šířila do vzdálenosti 20 m. Hydrochorie byla měřena pomocí lapacích sítí v potocích až do vzdálenosti 100 m. Největší měřená vzdálenost šíření semen pomocí vody byla 100 m. Hydrochorie se tedy prokázala jako důležitý faktor působící při invazi *R. alpinus*. Velký vliv na šíření vodou i větrem měly i bouřky a přívaly vody.

Z dat o šíření větrem byly sestaveny predikční exponenciální křivky, které vyjadřovaly šíření na větší než měřené vzdálenosti.

Terénní disperzní křivky byly porovnávány s teoretickými křivkami použitými v modelu invaze z roku 2007. Ukázalo se, že teoretické křivky nadhodnocují šíření *R. alpinus* větrem.

U simulací šíření *R. alpinus* s terénními disperzními křivkami bylo podceněno dálkové šíření. Důvodem byla velká velikost jednotlivých buněk sítě, ve které modelování probíhalo.

Výsledky simulací šíření *R. alpinus* s terénními křivkami ale i tak přinesly informaci o tom, že invaze, i při potlačení disperze, neustále postupuje a to díky vegetativnímu množení.

Klíčová slova: dálkové šíření, *Rumex alpinus*, Krkonoše, anemochorie, hydrochorie, měření disperze, disperzní křivky

Abstract

Long-distance dispersal of *Rumex alpinus* was studied in the Giant Mountain in the National Park. The invasion of *R. alpinus* is there kind of problem. The work builds on a thesis from year 2007 (20007 Červenková), in which was made the model of the invasion of *R. alpinus* in the area of the Giant Mountain.

The measurements of the seeds spread take place at four localities, three of them were for measuring of water dispersal and one was for measuring of winter dispersal.

Anemochory was measured using traps in the meadow up to a distance of 50 m. The seeds were dispersed by wind to a distance of 20 meters. Hydrochory was measured using a network's traps in the streams up to 100 m. The largest measured water dispersal was 100 m. Hydrochory therefore proved to be an important factor, which influenced the invasion of *R. alpinus*. The storms and flood had the great influence on the hydrochory and anemochory.

The prediction exponential curves were compiled from the data about the wind dispersal. The curves express the spread to more than a measured distance.

The field dispersion curves were compared with theoretical curves, which were used in the model of the invasion from 2007. It turned out that the theoretical curves overestimate the spread of *R. alpinus* by wind.

The dispersion of seeds was underestimated in the simulations with field dispersal curves. It was because of the large size of the grid cells in which was the model carried out.

In spite of underestimating of seed dispersion the results of simulation tell us that the invasion still keeps going. It is mainly because of the vegetative spread.

Key words: long-distance dispersal, *Rumex alpinus*, Giant Mountains, anemochory, hydrochory, measurement of dispersion, dispersion curves

1 Úvod

Dálkové šíření

Příroda formuluje vědcům mnohé badatelské výzvy. Výzkum dálkového šíření rostlin je velkou výzvou, protože se jedná o proces, který zahrnuje mnoho náhodných událostí a různých faktorů a celkově je velmi neuspořádaný (Nathan 2006). Jedná se tedy o přesný opak toho, o co věda usiluje, tedy o uspořádání, jasnost a propojení faktů. Nic v přírodě neexistuje jen samo o sobě a ani dálkové šíření není nezávislý jev. Mnoho klíčových procesů v ekologii a evoluci rostlin je ovlivněno dálkovým šířením semen (Tackenberg et al. 2003a). Jedná se o procesy týkající se diverzity a dynamiky rostlinných společenstev a v neposlední řadě i metapopulační dynamiky druhů, která zahrnuje i šíření invazních druhů (Cain et al. 2000). Pro porozumění těmto komplikovaným procesům je nutné odhlédnout od „standardních“ způsobů šíření rostlin a soustředit se na „nestandardní“ mechanismy šíření jako jsou náhodné události prostředí a extrémní klimatické události (Cain et al. 2000, Nathan 2006). Zdá se totiž, že právě tyto mechanismy mají na dálkové šíření největší vliv (Nathan 2006).

Definice pojmu dálkové šíření není příliš jednoznačná. Odpovědí na otázku, co je dálkové šíření je mnoho. Samotná disperze je definována jako neorientovaný pohyb individuí pryč od místa vzniku (Bullock et Clarke al. 2000). U nepohyblivých organismů, jako jsou rostliny, probíhá především pasivně – diaspory (semena a další rozmnožovací orgány rostlin) jsou transportovány pryč od mateřské rostliny díky mnoha různým vektorům – přenašečům - jako jsou vítr, voda, živočichové a jejich kombinacím (Nathan 2006). Nathan (2006) uvádí dvě definice dálkového šíření rostlin: 1.) absolutní vzdálenost, do které jsou rostliny schopny se šířit, odpovídá biologickým a fyzikálním schopnostem rostlin, 2.) hranice dálkového šíření odpovídá danému percentilu „ohonu“ disperzní křivky (např. vzdálenost na kterou se rozšíří 1% všech šířených semen). Dálkové šíření je tedy druhově specifické a neexistuje jedna arbitrární hranice, která by se dala paušálně použít pro všechny rostlinné druhy.

Křivka šíření

Graficky lze disperzi znázornit jako disperzní křivku, popisující šíření daného počtu semen na určitou vzdálenost. Primárními daty lze proložit funkci, která popisuje pravděpodobnost disperze na různé vzdálenosti. Pro dálkové šíření je pak nejdůležitější informace o nejbližší části křivky – „ohonu“ křivky, který popisuje pravděpodobnost šíření v největších vzdálenostech. Dokumentace a kvantifikace „ohonu“ křivky je ovšem velmi obtížná (Cain et al. 2000).

Křivka šíření se dá získat z dat přímého terénního měření nebo se pro její konstrukci používají data získaná nepřímo - vypočtená z parametrů diaspor a prostředí. Bylo vyvinuto mnoho různých mechanistických modelů, které se snaží co nejpřesněji stanovit parametry disperzní křivky dálkového šíření (Tackenberg et al. 2003b, Soons et al. 2004). Modely pracují s parametry diaspor jako je terminal velocity (rychlost pádu semene) (Tremlová et Münzbergová 2007) a výška, ze které je semen vypuštěno. Modely zahrnují i parametry prostředí jako výška okolní vegetace, rychlost větru, nejen horizontálního, ale i vertikálního směru nebo větrné turbulence (Soons et. al 2004). Přesto tyto modely v porovnání s terénními daty zcela neodpovídají realitě a mají sklony podhodnocovat nejbližší oblasti křivky šíření – „ohon“ disperzní křivky (Nathan 2000, Bullock et Clarke 2000).

Proto je nutné provádět terénní měření dálkového šíření, protože jenom to zahrnuje přesně všechny náhodné a extrémní události, které jsou důležitými spouštěči šíření (Bullock et Clarke 2000, Soons et al. 2004, Nathan 2006). Jedná se především o extrémní klimatické jevy – bouře, poryvy větru, záplavy a různé nestandardní vektory šíření (Nathan 2006). Z toho tedy vyplývá, že přímé měření dálkového šíření není metodicky jednoduché a často se potýká s nejrůznějšími obtížemi způsobenými počasím, přístupností terénu či možnostmi umístění lapacích zařízení na semena.

Dynamické modely

Křivka šíření je jednou z klíčových součástí dynamických modelů, které dokáží předpovídat šíření druhů v krajině do budoucnosti (Mildén et al. 2006). Porozumění šíření druhů v prostoru může být prospěšné z mnoha důvodů. Může poskytnout informace pro jejich případnou ochranu, pokud se jedná o druhy ohrožené nebo naopak může pomoci k jejich efektivnímu odstranění v případě invazních druhů (Higgins et al. 2000, Nielsen et. al 2008). Přesnost předpovědi modelů pak závisí zejména na kvalitních datech o dálkovém šíření. Při analýzách sensitivity dynamických modelů se totiž ukazuje právě tato informace jako nejdůležitější z parametrů popisujících dynamiku druhů (Higgins et al. 1996, Nehrbass et al. 2007a).

Modelování invazí

Problém rostlinných invazí je v poslední době často diskutované téma nejen ekologii rostlin, ale i v ekonomické a kulturní sféře. Invaze totiž ovlivňují razantně ráz krajiny, ve které se lidé pohybují (Pyšek et Sádlo 2004). Modelování šíření invazního druhu je tedy jednou z možností, jak zjistit, jak se bude invazní druh šířit do budoucna. Pak lze podniknout patřičné kroky, které povedou k potlačení invaze nebo její likvidaci. Informace o dálkovém

šířené invazního druhu získané přímým měřením v terénu pak pomohou ke konstrukci dynamického modelu, který bude schopen předpovědět šíření invazního druhu v prostoru.

Na katedře botaniky PřF UK proběhly již dvě práce týkající se druhu *Rumex alpinus*. Jednalo se o managementovou práci (Bucharová 2003), která se zabývala rozšířením *R. alpinus* na území Krkonoš, kde invaze v současné době probíhá. Práce také přinesla doporučený způsob likvidace *R. alpinus* a následný management postižených ploch. Z výsledků této práce bylo také patrné, že by bylo vhodné pojmout problém invaze na širší škále a navrhnout nějaký organizovaný způsob likvidace šťovíku v Krkonoších. Druhá práce zabývající se populační dynamikou a rozšířením *R. alpinus* na krajinné úrovni (Červenková 2007). Výsledkem této práce byly informace o populační dynamice *R. alpinus*, modely simulací podle historický údajů o mapování a dynamický model invaze do budoucna na dílčím území Krkonošského národního parku. Tento model předpokládá, že by počet stanovišť obsazených šťovíkem byl v budoucnu 3 x – 4 x vyšší než je tomu dnes. Model dynamiky druhu v krajině (Münzbergová et al. 2005, Herben et al. 2006) pracoval s parametry popisující stanovištní podmínky, s údaji o počátečním rozšíření druhu, s populačními přechodovými maticemi a s parametry o disperzní schopnosti druhu. Křivka šíření byla sestrojena pomocí výpočtu vycházející z charakteristik semen (terminal velocity) a parametrů prostředí (výška vypouštění semene, rychlost větru). Právě takto sestrojená křivka šíření se v porovnání s terénními daty ukazuje nepřesná (Münzbergová et al. 2010). Proto by bylo vhodné získat terénní data o dálkové šíření *Rumex alpinus* a zařadit je do dynamického modelu šíření druhu.

Dálkové šíření šťovíku ovšem neprobíhá pouze anemochorně, velkou roli má i šíření vodou, které se odehrává podél horských potoků. Semena jsou splavována podél toků, uchycují se na březích a klíčí zde (Červenková 2007). V úvahu přichází také vliv sezónních záplav, které splavují sedimenty spolu se semeny a rozprostírají je dále od břehu a umožňují uchycení semenáčků na nových, volných stanovištích. Bylo by tedy vhodné pozorovat i šíření podél vodních toků, protože vliv hydrochorie na invazi šťovíku bude také důležitý.

Ve své diplomové práci se tedy pokusím odpovědět na následující otázky:

- Jak daleko se šíří druh anemochorně?
- Jak probíhá disperse hydrochorní?
- Jak se liší dynamické modely zahrnující teoretickou křivku šíření a modely zahrnující křivku šíření změřenou v terénu?

S pomocí nově získaných dat je tedy možné vylepšit a zpřesnit model invaze *Rumex alpinus* v Krkonoších a tím ještě zlepšit možnost detekce lokalit nejvíce ohrožených invazí. Práce s modelem bude probíhat ve spolupráci s autorkou předchozího modelu Z. Červenkovou. Výsledky práce budou poskytnuty správě Krkonošského národního parku, aby podle nich mohla postupovat při likvidaci invaze *R.alpinus* na plochách parku.

Výsledky práce poskytnou i informaci o možnostech zkoumání dálkovém šíření konkrétního druhu v daném biotopu. Zkoumání dálkového šíření není metodicky jednoduché a v našich podmínkách se mnoho podobných prací neobjevuje. Proto je práce do jisté míry i průkopníkem metodiky měření dálkového šíření a snad přinese i možná doporučení pro další pokračovatele v tomto směru

2 Výběr lokalit, studovaný druh

Všechny lokality, na kterých se studovalo dálkové šíření *Rumex alpinus*, se nacházejí v Krkonošském národním parku, v nadmořské výšce pohybující se v rozpětí 850–1340 m. n. m.

2.1 Krkonoše

2.1.1 Klima a geologie Krkonoš:

Geologicky patří Krkonoše k nejstarším pohořím v Evropě. První vrcholky se začali zdvihát už v mladších prvohorách (proterozoikum – 900–600 mil. let př. n. l). V důsledku kadomského vrásnění došlo ke vzniku krystalických břidlic – hlavně svorů a ortorul (Chaloupský 1989). V prvohorách pak došlo k variskému (hercynskému) vrásnění, které způsobilo vyzvednutí dnešních Krkonoš (Chaloupský 1989). Během vrásnění proběhla metamorfóza sedimentů a vzniku nových hornin. Mezi nimiž jsou nejvýznamnější fylity (přeměněné jílové břidlice). V závěru vrásnění pronikla z nitra země tavenina, která se proměnila v žulový masiv (Chaloupský 1989). Ten se vyskytuje hlavně na polské straně Krkonoš a na české straně, která s ní sousedí. Svory se vyskytují hlavně v pásu od Pece pod Sněžkou přes Špindlerův Mlýn po Rokytnici nad Jizerou. Ortoruly se nacházejí v pásu mezi Pecí pod Sněžkou po Jánské Lázně (Geologická mapa KRNAP 1968). Vzácně se objevují bazické horniny jako vápenec, porfyrít a čedič (Šourek 1969).

Půdy na těchto podložích jsou převážně na živiny chudé horské půdy s přechodem k podzolům. Podle struktury jsou to půdy silně šterkovité až kamenité (Svoboda et kol. 1984).

Klima Krkonoš je jedno z nejchladnějších v ČR. Letní teploty vzduchu se pohybují mezi 12–16 °C v červenci (Sněžka 1602 m.n.m – prům. teplota – červen: 8,5 °C), zimní teploty v lednu průměrně okolo -6°C. Průměrná roční teplota je 0- 6°C. (Svoboda et kol. 1984) Se vzrůstající nadmořskou výškou průměrná teplota klesá. Průměrné roční srážky se pohybují od 1000 do 1600 mm. Srážkové úhrny jsou v rámci celého území velmi proměnlivé a závisí na nadmořské výšce a orientaci svahů. Průměrný úhrn srážek v zimním období se pohybuje okolo 500–700 mm. V letním období okolo 700–800 mm. Větrné podmínky se také liší podle nadmořské výšky a svahové orientace. Na hřebenech se rychlosti větru blíží i 10 m/s (Kolektiv autorů 2007).

2.1.2 Historie Krkonoš:

Ve středověku pokrývaly Krkonoše lesy, které sahaly až k Jičínu. Krkonoše protínaly obchodní stezky, podél kterých byly zakládány malé osady. Kolonisté začali přicházet od 13. století hlavně kvůli těžbě rud a drahých kamenů. Původní bezlesí se nacházelo jen v nejvyšších polohách nad hranicí lesa a na lavinových drahách (Jeník 1961).

V 16. století začaly mít Kutnohorské doly nedostatek dřeva a lesy v Polabí byly již vytěžené. Proto se těžba dřeva přesunula vzhůru do Krkonoš. Byly povoláni dřevaři z Alp, kvůli své dovednosti splavovat dřevo (Lokvenc 1978). Ti zde začali hospodařit a zakládali políčka. S nimi se do Krkonoš dostal pravděpodobně i *Rumex alpinus* (Lokvenc 1978), který sloužil hlavně jako krmivo pro zvířata a na barvení oděvů na oranžovo (Wagenitz 1981).

Na konci 16. století bylo dřevo v Krkonoších již zcela vytěženo a dřevaři se přesunuli do Orlických hor. Část dřevařů v Krkonoších zůstala a živila se zemědělstvím. V 17. a 18. století se rozvíjelo v celých Krkonoších budní hospodářství - travaření, ke kterému byly využívány i vysokohorské bezlesé polohy. (Lokvenc 1978) Toto hospodaření dalo vznik rozsáhlým krkonošským loukám. Louky byly využívány také k pasení – zejména krav a koz a v menším množství také koní. Od poloviny 19. století dochází k omezování budního hospodaření. Největší pokles budaření však nastává s odsunem německého obyvatelstva po 2. světové válce (Lokvenc 1978).

Počátkem 20. století se *Rumex alpinus* vyskytuje v pohoří jen řídce. V této době se také postupně mění využívání krajiny, která je teď spíše rekreační oblastí. Dochází k úbytku dobytka a chlévy se mění na ubytovny pro turisty. *Rumex alpinus* se začal šířit kolem bud (Hadincová 1997). Později v 60. letech 20. Století dochází k největšímu výskytu *Rumex alpinus*. Je to hlavně díky správě nově založeného Krkonošského národního parku (1963), která prosazuje názor, že kosení může uškodit druhové bohatosti luk (Šourek 1969). Pod některými boudami jsou v té době masivní porosty *Rumex alpinus* a začíná se rozrůstat i do luk, i když jeho rozšíření není zdaleka tak rozsáhlé jako v současnosti (Krahulec 1996, Bucharová 2003)

V 70. letech 20. století byl stav luk velmi špatný, proto správa KRNAP opět nakázala vlastníkům kosit pozemky (Bucharová 2003). Degradace luk se tím zastavila, ochuzování půd vyvolané pouhým odvozem a kosením sena se však nezastavilo.

Od 90. let přestalo nařízení o kosení platit a v důsledku toho je dnešní stav dost různorodý (Krahulec et al. 1997)

2.2 Charakteristika *Rumex alpinus* L.

2.2.1 Morfologie, ekologie

Rumex alpinus L. (šťovík alpský) je vytrvalá bylina. Taxonomicky patří druh mezi rdesnovité (*Polygonaceae*). Rostlina je diploidní, počet chromosomů se pohybuje mezi 18–20, podle regionální variability (Šťastná 2009). V Alpách je šťovík lidově nazýván mnišská rebarbora, protože byl pěstován v klášterech a užíván k léčebným účelům (Šťastná 2009). Rostlina dorůstá až 2 m (Šomšák 1997). Listy jsou až 50 cm dlouhé, lysé, mají široce vejčitou srdčitou bázi, na konci jsou tupé, stopka je dlouhá 70–80 cm. Květenstvím je bezlistá lata, s přímými větvemi. Květy jsou oboupohlavné a jsou opylovány větrem. Rostliny začínají kvést v červnu, plodit začínají v červenci. Plodem jsou nažky ukryté v trojbokých nebo srdčitých krovkách (Šmarda et al. 1963). Rostlina má vytrvalý, větvený segmentovaný stonek, o průměru cca 3 cm, oranžové barvy. Oddenek je zhruba 5 cm pod zemí, každý segment odpovídá 1 vegetační sezóně. Z postranních větví starých 1 rok vyrůstá lodyha nesoucí reprodukční orgány, po dozrání plodů větve odumírají (Šmarda et al. 1963). Jednotlivý autoři uvádějí různé stáří živého oddenku, Šmarda (1963) uvádí až 8 let, pak začne oddenek odumírat. Klimeš (1992) uvádí životnost jednoho segmentu až 20 let.



Obr. 2.1 – *Rumex alpinus* u Zeleného potoka

Původním stanovištěm šťovíku alpského jsou nivy horských potoků nad hranicí lesa (Schustler 1918). Je to nitrofilní, konkurenčně silný druh a dnes se chová jako synantropní a ruderalní. Jeho výskyt můžeme pozorovat na bezlesých stanovištích bohatých na dusík – tedy zejména v blízkosti lidských sídel (horské boudy – odpadní stružky), na bývalých nocležištích dobytka, a podél cest, kde je dále rozšiřován lidmi (Bucharová 2003). Vytváří zde husté porosty. Chybí na půdách chudých na dusík (Wagenitz 1981).

Rumex alpinus má velkou regenerační schopnost. Oddenky slouží jako zásobní orgány, obsahují kolem 50 % zásobních látek z celkového objemu (Klimeš et

Klimešová 1996). Oddenek tedy umožňuje rychlou regeneraci i po mnohonásobném pokosení (Bucharová 2003).

2.2.2 Šíření

K šíření *R. alpinus* dochází generativní cestou (semena) i vegetativní cestou (klonální růst a šíření úlomků oddenků). Růstová rychlost populací je vysoká, takže pravděpodobně stále dochází ke zvětšování porostů, hlavně pomocí klonálního růstu (Červenková 2007). Pod porostem je velmi bohatá semenná banka, kvetoucí rostlina může vyprodukovat kolem 5000 semen (Červenková (2007) uvádí průměrně 5030 plodů na jednu latu, Šmarda (1963) jen kolem 3000 plodů). Semena zde téměř neklíčí (Bucharová 2003, Klimeš 1992), ale mohou hrát roli při obnovování porostu po případné disturbanci, např. po dvou letech není už zásah postřikem Round-up patrný (Bucharová 2003).



Obr. 2.2 – Semena *R. alpinus*

Semena hrají významnější roli spíše při šíření na delší vzdálenosti a kolonizaci nových habitatů (Červenková 2007). Semena na latě vytrvávají někdy až do následujícího jara, během zimy se mohou postupně uvolňovat a přichycovat se na sněhové pokrývce (Šťastná 2009). Díky krovkám semena dobře plavou, což umožňuje šíření rostliny směrem po proudu vodních toků (Červenková 2007). Kubátová (1994) zjistila u příbuzného druhu *R. longifolius* značné rozdíly v počtu semen na transektu po směru převládajícího větru a proti němu, což poukazuje na možnost šíření i touto cestou. Významné také zřejmě bude vegetativní šíření pomocí úlomků oddenků podél potoků a lavinových drah (Šťastná 2009). U rodu *Rumex* je dále

známa i exozoochorie (Cavers et Harper 1964). Semenáčky však nejsou příliš kompetičně zdatné, v uzavřeném porostu téměř neklíčí a obtížně se uchycují v zapojeném drnu na louce (Bucharová 2003, Červenková 2007).

2.2.3 Geografické rozšíření

Rumex alpinus je původní v Alpách, na Kavkaze, v pohořích Balkánského poloostrova (Wagenitz 1981) a pravděpodobně v Karpatech (Husáková 1978). V Krkonoších se vyskytuje zhruba od 16. Století, používal se jako užitková bylina. Druhotně se vyskytuje také ve Skotsku, Severní Americe a na Jávě, kde zplaněl (Wagenitz 1981). V České republice se vyskytuje i v jiných pohořích – Orlických horách, na Kralickém Sněžníku, v Jeseníku a v Beskydech (Slavík 1981).

2.3 Výběr studovaných lokalit

Pro výzkum dálkového šíření byly vybrány celkem 4 lokality - tři potoční stanoviště a jedna luční plocha. Lokality byly vybírány podle vhodného umístění populace *R. alpinus*, přístupnosti a možnosti umístit na lokalitě metodické pomůcky (lapací zařízení). Výběr stanovišť byl také konzultován s Mgr. Z. Červenkovou, která se problematikou zabývala ve své diplomové práci.

2. 3. 1 Louka pod Dvorskou boudou

Tato lokalita byla vybrána pro studium větného šíření. Nachází se ve výšce zhruba 1340 m.n. m. pod Dvorskou boudou. Louku protíná zelená turistická značka – Liščí cesta. Louka je na svažitém terénu se sklonem přibližně 5%. Populace šťovíku se zde nacházejí odděleně a ne jako velká šťovíková monocenóza. Pokus byl realizován zhruba 20 m od cesty. 319 lapacích trychtýřů bylo rozmístěno pod vybranou populaci (viz příloha-mapa).

2. 3. 2 Zelený potok

Zelený potok v Peci pod Sněžkou je první ze tří potoků vybraných pro studium hydrochorie. Potok se nachází z velké části při červené turistické značce směrem z Pece pod Sněžkou na Jelení boudy. Pokusy byly prováděny na části potoka v nadmořské výšce cca 850 m.n. m., nedaleko rozcestí vedoucí na Richterovy Boudy. 10 lapacích sítí bylo umístěno do koryta potoka do transektu o délce 100 m (viz příloha-mapa).

2.3.3 Červený potok

Dalším z vybraných potoků je Červený potok nad Špindlerovým Mlýnem. Studovaná lokalita se nachází v nadmořské výšce zhruba 1050 m. n. m., cca 200 m od rozcestí Davidovy boudy podél Davidovy cesty (modrá turistická značka směrem na Špindlerovu boudu). Zde byly opět do 100 m transektu podél cesty umístěno 10 lapacích sítí (viz příloha-mapa).

2. 3. 4 Modrý potok

Poslední potoční lokalitou je Modrý potok v Modrém Dole, ležící v nadmořské výšce zhruba 1000 m. n. m. 10 pastí bylo umístěno ve 100 m transektu, který končil u Modrodolského vodopádu (viz příloha-mapa).

3 Metodika - sběr a zpracování dat

Metodicky je studium dálkového šíření diaspor velmi náročné. Pokusy a jejich provedení je ovlivňováno zejména klimatickými podmínkami, které jsou zvláště v horách spíše nepříznivé.

3. 1 Dálkové šíření na loukách

Ke studiu disperze větrem byla použita modifikovaná metodika podle Bullock et Clarke (2000). Metodika byla upravena podle terénních podmínek - podle možnosti dopravit a instalovat pomůcky na pokusné lokalitě a podle dostupnosti vhodných populací *R. alpinus* na lokalitě. Pokusy probíhaly v roce 2008 a 2009 vždy zhruba jeden měsíc – v době, kdy šťovík nejvíce plodil.

3. 1. 1 Stavba lapací pasti

K přímému odchytu semen byly použity zemní lapací pastě. Jednalo se o trychtýře (průměr 18 cm) vložené do 0,5 l PET lahve. PET lahev byla zakopána z půlky svého objemu do země a fungovala jako drenáž, díky níž mohla odtékat dešťová voda a trychtýř vyzdvihnout nad povrch země. Do trychtýře byla vložena pro vodu propustná textilie ze syntetického vlákna, která zadržovala nachytné diaspory.



Obr. 2.3 – Stavba pasti

3.1.2 Rozmístění pastí

Lapací pastě byly rozmístěny zhruba v šestinové kruhové výšeči ve svahu pod matečnou populací šťovíku. Rozmístění bylo takové, aby se co nejvíce pokryla plocha pod matečnou populací a bylo dosaženo relevantní vzdálenosti pro dálkové šíření (viz tab. 2.1). První trychtýř byl od populace vzdálen 1 m, největší vzdálenost pastí od populace byla 50 m. Celkem bylo rozmístěno 320 trychtýřů. Pasti byly ponechány v louce vždy jeden měsíc-od poloviny července do poloviny srpna tj. v době plodu rostliny, kdy maximum semen opouští mateřskou rostlinu. Pak byly pasti vybrány a byla spočítána semena v jednotlivých pastích. Podle množství semen pocházejících z lapačů z určitých vzdáleností bylo možno zkonstruovat křivku šíření.

Řady	Počet pastí v řadě	Vzdálenost od matečné populace (m)	Rozteč mezi pastmi (m)
1	5	1	0,2
2	7	2	
3	9	3	
4	11	4,5	0,5
5	13	6	
6	15	8	
7	17	10	
8	19	13	
9	21	16	1
10	23	20	
11	25	24	
12	27	28	
13	29	33	
14	31	38	
15	33	43	1,5
16	35	50	

Tab. 2.1 – Počet a rozmístění pastí na louce pod Dvorskou boudou

Výhodou této metody je možnost získání terénních dat, která nesou informaci o vlastnostech semen (terminal velocity – rychlost pádu semen) a vlastnostech rostlin (výška, ze které semeno padá). Metoda zahrnuje i charakteristiku krajiny a působící klimatické podmínky, které se jen velmi těžko simulují v laboratoři a které jsou důležité pro relevantnost modelu šíření.

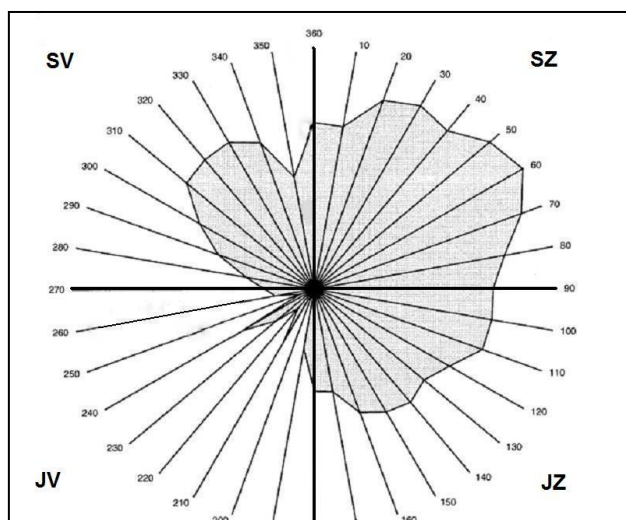
Nevýhodou této metody, jsou různé extrémní klimatické jevy, které mohou ovlivňovat schopnost šíření daného druhu. Metoda je závislá na dostatečné produkci semen zkoumaného druhu. Omezení také vycházejí z geomorfologie terénu a lokalizace matečné populace. Kapacitně omezena je i maximální možná vzdálenosti, do které se dají pasti umísťovat. Pasti jsou vyvýšeny pouze cca 20 cm nad povrch země a okolní vysoký porost může také ovlivnit možnost semen do nich padat.

3. 1. 3 Pokus na poli

Tento pokus byl realizován, aby byl odfiltrován vliv okolní vegetace na možnost padání semen do lapacích pastí. Pasti byly rozmístěny na podzim roku 2010 na strništi sklizeného pole v katastru obce Velké Přílepy (okr. Praha-západ). Pokus probíhal měsíc –od půlky října do půlky listopadu.

Kruhy	Počet pastí v kruhu	Vzdálenost od matečné populace (m)	Rozteč mezi pastmi (m)
1	6	1	1
2	10	2	
3	14	3	
4	18	5	2
5	22	7	
6	26	9	
7	30	12	2,5
8	34	15	3
9	38	18	
10	42	22	
11	46	26	3,5
12	50	30	4

Tab. 2.2 - Počet pastí na vzdálenosti v pokusu na poli



Obr. 2.4 – Schéma rozmístění pastí a kvadrantů v pokusu na louce
(upraveno podle Bullock et Clarke 2000)

Matečná populace byla simulována 15-ti průměrně velkými latami *R. alpinus*, které byly umístěny na tyči ve výšce vzrůstu dospělé rostliny. Stavba pastí zůstala stejná jako v předchozím pokusu.

Lapací pasti byly okolo populace rozmístěny do kruhu, aby byla možnost zachytit působení všech směrů větru. To byla výhoda oproti krkonošské lokalitě, kde takové

rozmístění podmínky terénu nedovolovaly. Modifikován byl i počet pastí a řad – kruhů (viz tab. 2.2). Pasti byly průběžně kontrolovány a vybírány. Z internetových stránek Českého hydrometeorologického ústavu (www.chmu.cz) byly získány průměrné údaje o rychlosti a směru větru pro dané období.

3. 1. 4 Zpracování dat

Z jednotlivých pastí byly odečteny počty semen, které se do nich chytly. Získané hodnoty byly nejprve zpracovány v programu Microsoft Excel (2007). Pomocí kontingenční tabulky byl zjištěn údaj o průměrném počtu semen na trychtýř v řadě. Data o průměrném počtu semen byla pro lepší zobrazení upravena přičtením 0,01 a logaritmickou transformací. Takto upravená data byla vynesena do informativního grafu. Stejným způsobem byla zpracována i data z vypouštěcího pokusu na poli. Data byla rozdělena na čtyři datové soubory podle kvadrantů určené zeměpisnou orientací (SZ,SV,JZ,JV).

3. 1. 5 Křivka šíření

Pro začlenění dat o šíření *Rumex alpinus* do dynamického modelu, bylo potřeba ze získaných dat zkonstruovat křivky šíření druhu. Křivka slouží ke kvantitativnímu popisu šíření diaspor. Zaznamenává počet našířených diaspor ve stoupajících vzdálenostech od zdroje. Křivka šíření je pak také jedním z nejdůležitějších parametrů prostorových modelů šíření (Červenková 2007). Do modelu vstupuje jako disperzní parametr diaspor a spolu s údaji o populační dynamice modelovaného druhu se podílí na výsledné podobě simulace šíření.

Pro konstrukci křivek šíření byla použita data z lokality Louka pod Dvorskou boudou z obou let měření i data z pokusu na poli z roku 2010.

Daty o průměrném počtu semen na past byla v programu SPSS (2002) prokládána křivka šíření – exponenciála:

$$y = a_1 * \exp(-\alpha * d),$$

kde y je počet semen, a_1 a α jsou koeficienty disperzní křivky a d je vzdálenost, do které se semeno našířilo.

V programu SPSS byla zjišťována také predikovaná křivka šíření, podle které se vypočítalo šíření semen na větší vzdálenosti, než bylo měřeno v terénu.

Pro potřeby dynamického modelu byly ještě nafitovány další křivky šíření, které měly vzdálenosti upravené tak, aby vyhovovaly podmínkám pro program metapop (Herben et al. 2006). Program pracuje s jinými jednotkami území, a proto bylo potřeba křivky na tyto rozměry převést.

3. 2 Dálkové šíření podél potoků

Diaspory *Rumex alpinus* mají schopnost se šířit pomocí vody a to tak, že plavou na hladině, podle toho byla zvolena metodika pro zkoumání tohoto typu šíření. Byla použita modifikovaná metoda podle Vogt et al. (2004). Metodika byla opět přizpůsobena terénním podmínkám lokalit a klimatickým podmínkám oblasti. Pokusy probíhaly v roce 2008 a 2009 vždy měsíc – zhruba od půlky července do půlky srpna.

3. 2. 1 Stavba pasti

Vzhledem k tomu, že potoky na zkoumaných lokalitách nejsou hluboké (max. 1 m hloubky), byly pasti konstruovány, tak aby se daly eventuálně přichytit ke dnu potoka. Kostru pasti tvořil kovový kruhový rám (průměr 40 cm), na který byl přichycen vak z umělohmotné sítě (vel. oka 0,1 mm). Rám měl na spodní straně kovový kroužek, který sloužil pro uchycování pasti do dna pomocí kovového hřebíku. Do potoka pak byly pasti umístěny tak, že rám se ponořil kolmo proti toku potoka polovinou pod hladinou a polovinou nad ní. Voda pastí protékala a diaspory se zachycovaly ve vaku připevněném k rámu pasti. Tam, kde to hloubka dovolila, byly pasti přichyceny ke dnu a pomocí provázků, přivázaných k rámu pasti ještě na okolní vegetaci. Tam, kde byla hloubka větší, a vršek pasti by nezůstal nad hladinou, byly pasti pouze přichyceny provázky za rám.



Obr. 2. 4 – Stavba vodní lapací pasti

3. 2. 2 Rozmístění pastí

Lapací pastě byly umístěny do koryta potoka pod matečnou populaci šťovíku. Pasti byly podle možností umístovány do nejsilnějšího proudu, aby se zachytilo co nejvíce diaspor. Do transektu pod matečnou populací bylo umístěno 10 lapacích pastí. První byla vzdálena 10 metrů od matečné populace a další pasti byly umístovány po 10ti metrech od předchozí. Rostliny šťovíku podél transektu pod matečnou populací byly odstraněny, aby nezkreslovaly výsledky. Délka trvání pokusu byla měsíc – od poloviny července do poloviny srpna každého roku.

Výhodou této metody je opět možnost získat data, která nesou informaci o vlastnostech semen (plovatelnost – schopnost udržet se na hladině po urč. časový interval) Metoda také zahrnuje i charakteristiku krajiny a působící klimatické podmínky Ty se jen velmi těžko simulují v laboratoři a jsou důležité pro dobrou predikční schopnost modelu šíření.

Jako u předchozí metody ke zjišťování šíření větrem, hrají i zde velkou roli různé vzácné události – zejména klimatického rázu. Ty zapříčiňují extrémní v transportu diaspor a ovlivňují jejich schopnosti se šířit. Metoda je opět závislá na dostatečné produkci semen zkoumaného druhu. Omezení přináší i geomorfologie terénu a lokalizace matečné populace. Jedná se zejména o možnost umístování pastí. Ne všude terén dovoluje umístit pasti do nejsilnějšího proudu, kde dochází k nejčastějšímu transportu diaspor. V neposlední řadě jsou zde ještě kapacitní omezení vycházející z maximální možné vzdálenosti, do které je možno pasti umístovat.

3.2 3 Vypouštěcí pokus

V důsledku úzkého profilu koryta potoka, mohl nastat případ, že by pasti nejbližší populaci – místu vypouštění – vchytily všechna vypuštěná semena a do vzdálenějších by doplávalo méně nebo žádná semena. Tento jev zkresluje lapací schopnost pastí a znemožňují určit kolik semen se „ztratí“ během šíření.

Proto byl proveden experiment s vypouštěním semen, který proběhl v letech 2008 a 2010. Byl vypuštěn přesně definovaný počet semen (100 respektive 500 semen) z místa matečné populace. Zjistila se tím, jakou mají pasti schopnost zachytávat semena v závislosti na morfologii toku. Tato schopnost byla testována pro každou past jednotlivě. Tj. definovaný počet semen se vypustil v místě mateřské populace a byl nejprve zachytávat pouze první pastí. Pak se první past odebrala a ze stejné vzdálenosti se provedlo další vypouštění pro druhou past.

Tak se vypouštění opakovalo pro všechny zbývající pasti. Časový interval pro ponechání pastí v proudu se zvyšoval se vzrůstající vzdáleností. První past byla ponechána v proudu 5 minut a každá další vždy o 5 minut více.

Pokus přinesl data, která obsahovala informaci o dálkovém šíření za „normálních“ klimatických podmínek, bez extrémních výkyvů. Poskytl také informace o záchytné schopnosti pastí bez vzájemného vlivu pastí.

3. 2. 4 Korekce dat o šíření podél potoků

Pro odfiltrování vlivu rychlosti průtoku a vzájemného vlivu pastí, byly provedeny korekce měřených dat. Data po koreci nejsou zatížena informací o konkrétních podmínkách při měření a je možno je porovnávat mezi sebou a s daty získanými z šíření na louce.

Korekce na rychlost průtoku vody

Korekce proběhla tak, že nejdříve byl odfiltrován z dat vliv rychlosti průtoku vody potokem.

Celková rychlost průtoku vody měřeným úsekem

V roce 2010 byly změřeny hodnoty průtoku vody potokem pro místa, kde byly umístěny jednotlivé pasti. Měření se uskutečnilo tak, že byla třikrát změřena rychlost proplutí stanoveného předmětu (list) po určené dráze (5 m), pomocí vzorce pro rychlost byla vypočtena rychlost průtoku vody potokem a údaje byly zprůměrovány (ústní sdělení Kladivová 2010). Celková rychlost průtoku vody úsekem, kde byly instalovány pasti byla stanovena průměrem ze všech deseti hodnot.

Relativní rychlost průtoku vody pro past

Celková rychlost průtoku vody měřeným úsekem byla použita k výpočtu relativní rychlosti průtoku pro danou past. Jednalo se o podíl měřené rychlosti průtoku vody pro past a celkové rychlosti průtoku vody. Výsledkem byla rychlost průtoku, která zahrnovala i informaci o průtoku vody mimo past, která také ovlivňuje sedimentaci semen v pasti.

Korekce na vzájemný vliv pastí

Data z dlouhodobého měření bylo tedy ještě nutné upravit tak, aby se odstranil vzájemný vliv pastí na jejich zachycovací schopnost.

Záchytná schopnost pastí

Nejprve byla stanovena záchytná schopnost jedné samostatné pasti bez vlivu rychlosti průtoku vody. Stanovení vycházelo ze šířky potoka a šířky pasti zabírající část toku. Jednalo

se o proporci semen, kterou byla past schopna zachytit vzhledem ke své šířce a šířce toku (Např. šířka potoka 400 cm, šířka pasti 35 cm, záchytná schopnost pasti 8,7%) (Vogt et. al 2004).

Záchytná schopnost pasti s korekcí pro rychlost průtoku

Samotná záchytná schopnost pasti nezahrnuje informaci o rychlosti průtoku vody pastí, která je pro usazování diaspor v pasti velmi důležitá. Záchytná schopnost pastí byla proto vynásobena relativní rychlostí průtoku vody danou pastí. Výsledný údaj tak přinesl informaci nejen o schopnosti pasti chytat semena vzhledem k šířce toku, ale i vzhledem k rychlosti průtoku vody pastí.

Vzájemný vliv pastí na záchytnou schopnost

Pak bylo nutné stanovit jaký vliv má první past na záchytnou schopnost druhé pasti, jaký vliv má druhá past na záchytnou schopnost pasti třetí atd. Tedy kolik semen nebude zachyceno první pastí a poplave k druhé, kolik z této porce nebude zachyceno druhou pastí a poplave ke třetí apod. Při této korekci se pracovalo s relativní záchytnou schopností pastí (údajem zahrnujícím korekci na šířku potoka a rychlost průtoku vody pastí). První past tedy měla zachytit množství semen odpovídající záchytné schopnosti s korekcí na rychlost průtoku. Dál plavalo 100% semen minus záchytná schopnost první pasti.

Druhá past měla šanci zachytit množství semen, které odpovídalo její záchytné schopnosti a dál plavalo opět 100% minus záchytná schopnost druhé pasti. Pro druhou past se ovšem 100% semen stalo množství semen, které připlavalo z první pasti. Proto bylo množství semen, které plavalo dál vynásobeno právě údajem o počtu semen, který připlaval (např. první past zachytí 100 % - 9,8 %, dál plave 90,2% semen, druhá past zachytí $90,2 \times (100-8,4\%)$).

Reálná záchytná schopnost pasti

Poslední úpravou bylo nutné vyjádřit schopnost pastí chytat semena vzhledem k šířce toku, rychlosti průtoku vody pastí a vzájemnému vlivu pastí (množství semen, které připlave z pasti předchozí). Údaj o záchytné schopnosti pastí s korekcí na rychlost průtoku byl tedy vynásoben množstvím semen, které připlavou z předchozí pasti.

3. 4 Dynamický prostorový model invaze

Údaje o šíření *Rumex alpinus* byly zpracovány pomocí programu metapop (Herben et al. 2006, Münzbergová et al. 2005). Program modeluje šíření druhu v krajině na základě parametrů popisujících stanoviště druhu, jeho počáteční rozšíření, populační dynamiku (populační přechodové matice) a dispersní schopnosti (křivka šíření). Údaje o populační dynamice poskytla Zita Červenková, získala je během své diplomové práce (Červenková 2007). Data o počátečním rozšíření *R. alpinus* pocházejí z diplomové práce Anny Bucharové (2003). Pro potřeby modelu je upravila Červenková (2007).

Červenková (2007) prováděla ve své diplomové práci dva typy simulací. První byly historické simulace s použitím historických údajů o inventarizačním mapování, které modelovaly invazi z minulosti do současnosti. Pomocí zjištěných parametrů pak prováděla druhý typ simulací – simulace do budoucna. Jednalo se o vývoj invaze *R. alpinus* na dvacet let dopředu na části území Krkonoš.

3. 4. 1 Území simulace

Simulace šíření šťovíku probíhala na dvou územích. Velké území – zahrnuje území Krkonošského národního parku. Malé území – Povodí Labe, bylo použito již v práci Červenkové (2007). Pro obě území byly provedeny simulace s daty z DP Červenkové (2007) a s daty získanými v průběhu této diplomové práce. Výsledkem byly rozdílné modely, které bylo možno porovnávat mezi sebou.

Oba typy sítí pro velké a malé území ve své DP zpracovala Z. Červenková, použila však jen malé území (Povodí Labe). Na všech plochách bylo užito pokrytí sítí se čtverci 100x100 m (celkem 371 čtverců, resp. 126). Pro simulaci v programu metapop byly čtverce v programu ArcGIS (2009) převedeny do rastru o stejné velikosti buněk, kde měly buňky spojitě číslování od 1 do n a byly pak exportovány jako ASCII. Buňky byly rozděleny na ty, které byly obyvatelné pro *R. alpinus* a na ty, které ne. Obyvatelným buňkám byla přidělena hodnota údajů o *R. alpinus* na stanovišti, neobyvatelné buňky měly hodnotu 0.

Faktory určující obsaditelnost/neobsaditelnost

Analýzu závislosti výskytu *R. alpinus* na faktorech prostředí provedla ve své diplomové práci Červenková (2007). Zde jsou uváděny jen nejdůležitější body analýzy nezbytné pro pochopení souvislostí v této práci.

Cílem analýzy výskytu bylo zjistit, jaké vlastnosti mají stanoviště, kde se šťovík vyskytuje. Na základě těchto vlastností potom predikovat jeho výskyt na větším území. Digitální data poskytl KRNAP a AOPK. Analýza pak spočívala ve zpracování vektorových vrstev v programu ArcGIS (2000).

Pro analýzu závislosti výskytu šťovíku na proměnných prostředí bylo použito území o rozloze necelých 10 % rozlohy KRNAP. Jednalo se o území zmapovaná v roce 2006 - okolí Špindlerova Mlýna, Benecka, Horní Rokytnice a Pece pod Sněžkou, (celkem 2474 ha) a území v okolí Klínovek, Špindlerovky, Davidovek a Míseček (celkem 1674 ha).

Celkové zájmové území, se kterým pracuje model, je upraveno na zhruba 80% rozlohy KRNAP a nezahrnuje podhůří. Je to proto, že se použité vymapované plochy nacházely v nadmořské výšce nad 600m a podhůří s odlišnými abiotickými podmínkami v nich nebylo zahrnuto.

Analýza měla zjistit závislost výskytu šťovíku na různých biotických a abiotických faktorech na krajině měřítku. Jako faktory byly použity digitální mapy geologie (podle Chaloupský 1989), klimatu, vzdušné vlhkosti a mapování přírodních biotopů NATURA 2000. Bližší výběr geologických podjednotek a biotopů viz Červenková (2007). Pro analýzu bylo vybráno 8 nezávislých faktorů prostředí (geologie, klima, vzdušná vlhkost, délka cest, délka břehů vod toků, rozloha biotopů NATURA, svažítost, nadm. výška – všechny ještě s dalšími podkategoriemi) a 1 závislá proměnná (přítomnost šťovíku – zmapovaný Bucharová 2003 a mapování 2006).

Pomocí logistické regrese byl vytvořen model pravděpodobnosti výskytu šťovíku ve čtvercích. Z modelu byla sestavena rovnice, podle které se vypočítávala pravděpodobnost výskytu šťovíku pro čtverce celého zájmového území (blíže viz Červenková 2007). Vznikly tak údaje o obsaditelných a neobsaditelných čtvercích.

3.4.2 Vstupní parametry simulací

Do vstupního souboru modelu jsou zadávány tyto parametry simulací (podle Červenková 2007, upraveno):

Stanoviště

Jedná se o soubor s koordinátami a hodnotami stanovišť - čtverců, které při analýze závislosti šťovíku na faktorech prostředí vyšly jako obsaditelné. Čtverce, kde má potok délku alespoň 10 metrů, mají hodnotu stanoviště 2 (potoky), ostatní hodnotu 1 (louky). K tomuto rozdělení bylo přistoupeno na základě pozorování v terénu – když se šťovík vyskytoval

v louce blízko potoka, rostl zpravidla i v potoce a nikdy opačně (Červenková 2007) V případě možnosti výskytu obou typů populací v jednom čtverci byla proto upřednostněna potoční varianta. Toto rozdělení bylo použito kvůli odlišnosti obou typů populací.

Pokud byl při kterémkoli mapování zaznamenán výskyt ve čtverci, který vyšel jako neobsaditelný, bylo to považováno za chybu způsobenou hrubým zrnem sítě, a se čtvercem se dál pracovalo jako s obsaditelným. Tato chyba se vyskytla asi u 5 % čtverců s výskytem šťovíku.

Nosná kapacita

Další nezbytnou součástí modelu je nosná kapacita prostředí. Nosná kapacita stanoviště omezuje počet jedinců těch velikostních kategorií, které se navzájem ovlivňují v růstu. Nosná kapacita prostředí vychází z informace, jaký maximální počet jedinců studovaného druhu je schopen žít na 1 m².

Je třeba znát maximální počet jedinců na ploše jen u těch stádií rostlin, která se navzájem ovlivňují. Do nosné kapacity prostředí proto nebyla zahrnuta hustota semen, podle předpokladu, že hustota semen nemá vliv sama na sebe, ani na hustotu semenáčků či fertálních jedinců a naopak.

Výpočet nosné kapacity pro obě území vychází z počáteční velikosti populací zjištěné při mapování 2003 a 2006 (viz níže). V mapovaných plochách byl odhadnut počet kvetoucích jedinců (kde to bylo možné, i počet vegetativních jedinců). Počet semen na stanovišti (případně počet vegetativních jedinců) byl dopočítán ze stabilního velikostního složení získaného z populační analýzy druhu (viz demografická měření Červenková 2007). Pro výpočet nosné kapacity prostředí byla použita nejvyšší nalezená hustota jedinců vegetativního a/nebo fertálního stádia (stage 2 a3).

Populační přechodové matice

Pro obě území byly použity matice získané demografickou studií z DP Červenková (2007). Programu je možné zadat víc matic v libovolném poměru pro každé stanoviště, podle nichž pak stochasticky simuluje vývoj populace. Bylo použito 6 lučních a 6 potočních matic získaných z 2 přechodových intervalů pro stanoviště hodnoty 1 (louky) a 2 (potoky). K šesti maticím byla v obou typech stanovišť přidána matice simulující disturbance. Matice měla všechny přechody nulové, pouze přechod z kvetoucí rostliny na semenáčky zůstal stejný – podle předpokladu, že se semenná banka se nezničí.

Počáteční velikosti populací na stanovištích

Hodnota byla odvozována od plochy zarostlé šťovíkem. Pro určení současných počátečních velikostí populací byly sjednoceny polygonové vrstvy z mapování 2003 a 2006 a vypočteny jejich rozlohy ve čtvercích sítě. Body a linie z mapy Bucharová (2003) byly převedeny univerzálně – body velikosti 10 m^2 , délky linií byly násobeny šířkou 2 m (viz metodika Bucharová 2003). V rámci čtverců byly tyto plochy sečteny a vynásobeny počtem ramet šťovíku na 1 m^2 , rozděleným do jednotlivých velikostních stádií. Při rozdělování do velikostních stádií byl použit průměr z pozorovaného velikostního složení na všech potočních a lučních lokalitách. Zarostlé plochy na lučních stanovištích byly tedy násobeny jiným počtem ramet a poměrem jednotlivých velikostních kategorií než plochy na potočních stanovištích (viz demografická měření Červenková 2007). Tyto úpravy byly provedeny pro malé i velké území simulací.

Interakce mezi velikostními stádii

Tato volba umožní zohlednit různé prostorové nároky jednotlivých stádií. Červenková (2007) pracovala s hustotně nezávislým vývojem a interakce mezi stádii nezářadávala.

Pro simulace na obou územích v této diplomové práci byla použita matice, která interakce mezi stádii zahrnuje. Interakce byly v matici kódovány jako stádium 1 – semena, která další stádia neovlivňují (0), stádium 2 – semenáčky, které ovlivňují další stádia málo (0,1), stádium 3 – vegetativní rostliny a stádium 4 – fertilní rostliny, které ovlivňují interakce mezi stádii hodně (1). Uspořádaní bylo stejné pro všechny přechody mezi stádii, kromě přechodu mezi fertilními stádii a semeny (4→1), což je vysemeňování. Počet tvořených semen je na ostatních stádiích nezávislý. Vysemeňování je hustotně nezávislé, hustota semen nemá vliv sama na sebe, ani na hustotu dalších stádií – semenáčků, fertilních stádií a naopak.

Dispersní matice

Tato matice určuje, které stadium životního cyklu rostliny slouží k přenosu mezi jednotlivými stanovišti. Byla použita matice Červenkové (2007). V matici byl určen pouze přechod z fertilních stádií na semenáčky, ačkoliv mezi sousedícími čtverci dochází k šíření šťovíku pravděpodobně i klonálním způsobem. Dispersní přechod má v matici hodnotu 1, ostatní přechody 0. Tato dispersní matice byla použita pro simulace na územích obou velikostí.

Časová variabilita stochasticity

Pro obě velikosti území byla zadána možnost, kdy stochastické simulace v jednotlivých populacích v rámci let vzájemně nekorelují (0).

Dispersní parametry diaspor

Jako dispersní křivka byla použita predikovaná exponenciální křivka vypočtená v programu SPSS (2002) (viz výše). Celkem byly použity tři křivky získané z dat z let 2008, 2009 (v terénu) a 2010 (pokus na poli).

Zadávány byly pouze parametry exponenciální křivky, hyperbolická část křivky byla nulová. Jednalo se o parametr a_1 a disperzní koeficient α exponenciály. Pro jednotlivé simulace a roky byly dosazovány parametry přepočtené pro síť daného simulovaného území. (Vzdálenost šířených semen v exponenciále byla upravena pro potřeby programu metapop: $1m = 1/37100$ resp. $1/12600$).

4 Výsledky

4.1 Dálkové šíření na loukách

4.1.1 Primární data

Louka pod Dvorskou boudou

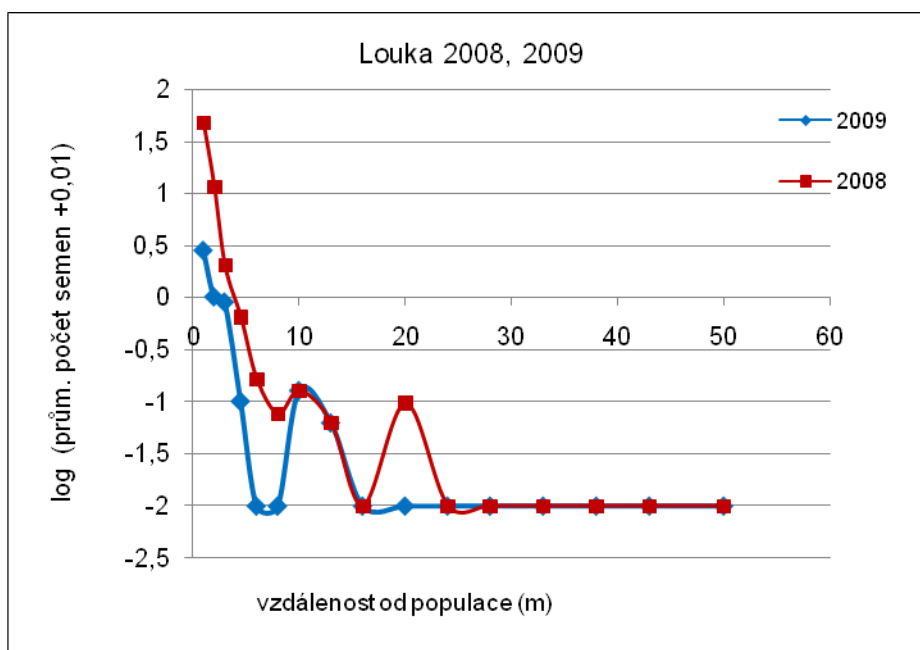
V lapacím pokusu na louce bylo v roce 2008 celkem zachyceno 345 semen *R. alpinus* a v roce 2009 jen 33 semen v celkové vzdálenosti 50 m od matečné populace – zdroje semen. V roce 2008 byla maximální vzdálenost šíření 20 m a v roce 2009 to bylo 13 m. Tabulka 4.1 ukazuje počet semen v měřených vzdálenostech a letech a průměrný počet semen na past a vzdálenost.

V datech se projevuje velká meziroční variabilita. V roce 2008 bylo celkem zachyceno 345 semen a v roce 2009 jen 33 semen. Variability je zřejmě způsobena bouřlivým počasím v roce 2008, které se projevilo výrazným přísunem diaspor zejména do prvních čtyř řad pastí.

Graf 1 zobrazuje logaritmičsky transformovaný počet semen našířených do daných vzdáleností.

Řada	Vzdálenost (m)	Počet semen		Průměr na past	
		2008	2009	2008	2009
1	1	232	14	46,40	2,80
2	2	80	7	11,43	1,00
3	3	18	8	2,00	0,89
4	4,5	7	1	0,64	0,09
5	6	2	0	0,15	0,00
6	8	1	0	0,07	0,00
7	10	2	2	0,12	0,12
8	13	1	1	0,05	0,05
9	16	0	0	0,00	0,00
10	20	2	0	0,09	0,00
11	24	0	0	0,00	0,00
12	28	0	0	0,00	0,00
13	33	0	0	0,00	0,00
14	38	0	0	0,00	0,00
15	43	0	0	0,00	0,00
16	50	0	0	0,00	0,00
Total		345	33		

Tab. 4.1 - Počet semen v měřených vzdálenostech



Graf 1 – Primární data – počet zachycených semen na danou vzdálenost
 Hodnota -1 na ose y odpovídá 1 chycenému semenu

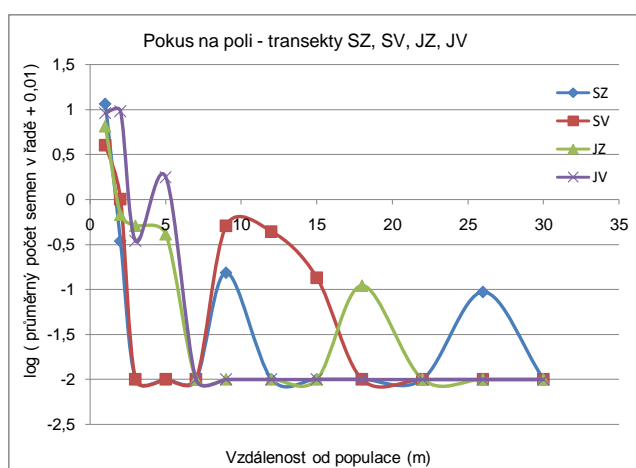
Pokus na poli

V roce 2010 proběhl experiment s vypouštěním semen na poli. Výsledky potvrdily schopnost šřovíku šířit se do vzdálenosti až 26 m. Ve čtyřech transektech, tvořících kruh, bylo celkově zachyceno 95 semen. Největší vzdálenost 26 m byla dosažena v severozápadním transektu. V dalších transektech (SV, JZ a JV) byla největší vzdálenost šíření 15, 18 m a 7 m. Rychlost větru se během doby měření pohybovala od 2–12,3 m/s. Tabulka zobrazuje počty semen našířené na měřené vzdálenosti a průměrné počty semen na vzdálenost a past.

Řada	Vzdálenost (m)	Počet semen				Průměr na past			
		SZ	SV	JZ	JV	SZ	SV	JZ	JV
1	1	23	4	13	9	11,50	4,00	6,50	9,00
2	2	1	2	2	19	0,33	1,00	0,67	9,50
3	3	0	0	2	1	0,00	0,00	0,50	0,33
4	5	0	0	2	7	0,00	0,00	0,40	1,75
5	7	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
6	9	1	3	0	0	0,14	0,50	0,00	0,00
7	12	0	3	0	0	0,00	0,43	0,00	0,00
8	15	0	1	0	0	0,00	0,13	0,00	0,00
9	18	0	0	1	0	0,00	0,00	0,10	0,00
10	22	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
11	26	1	0	0	0	0,08	0,00	0,00	0,00
12	30	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		26	13	20	36				

Tab. 4. 2 – Počet semen v měřených vzdálenostech v pokusu na poli

V grafu 2 jsou zobrazena primární data o šíření na poli.



Graf 2 – Primární data – Pokus na poli 2010 – počet zachycených semen na danou vzdálenost ve čtyřech transektech, hodnota -1 na ose y odpovídá 1 chycenému semeni

4. 1. 2 Exponenciální křivky šíření větrem

Primární data o šíření větrem byla použita k nafitování predikčních křivek – exponenciál, v programu SPSS (2002). Pomocí zjištěných koeficientů byly sestrojeny predikční křivky šíření, které vyjadřovaly šíření na větší než měřenou vzdálenost.

Tabulka ukazuje koeficienty predikční exponenciální křivky šíření – $y = a_1 \cdot \exp(-1\alpha \cdot d)$, kde y – počet semen, d – vzdálenost od zdroje semen, α – disperzní koeficient, a_1 – váha disperzního koeficientu.

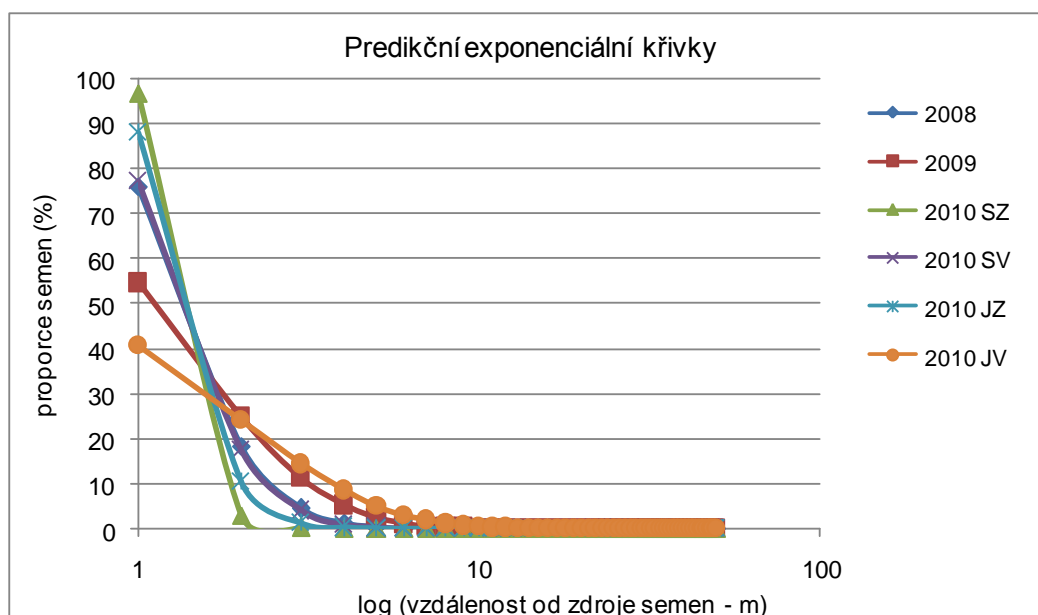
Koeficienty byly vypočteny z primárních dat pro jednotlivé roky. R^2 udává procento variability dat vysvětlené danými křivkami.

	2008	2009	2010 SZ	2010 SV	2010 JZ	2010 JV
a₁	193,54274	6,07037	385,87932	17,73588	55,06188	16,95145
α	1,42749	0,792	3,5123	1,48666	2,13756	0,52432
R²	99,967	97,615	99,973	96,525	99,077	82,495

Tab. 4.3 – Parametry predikčních exponenciálních křivek, procenta vysvětlené variability

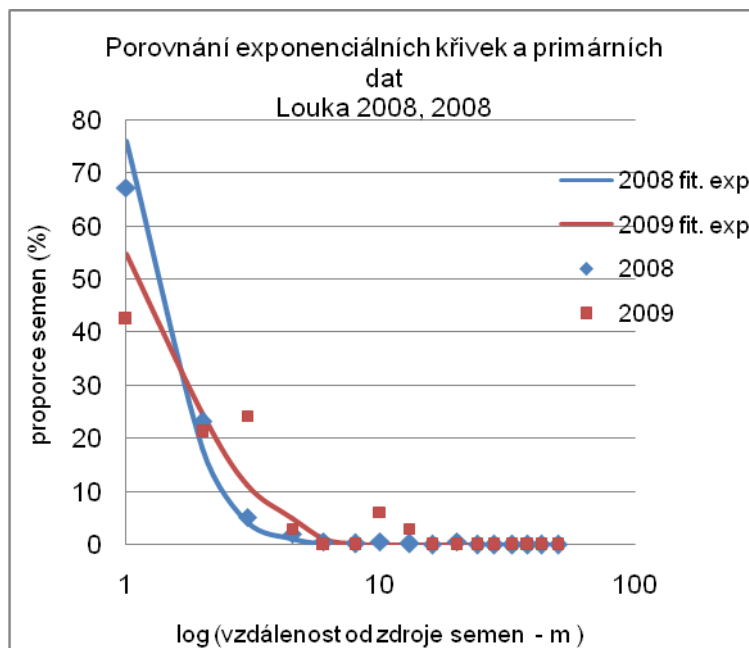
Vypočtené koeficienty byly dosazeny do křivky a bylo spočítáno množství semen, které se šíří ze zdroje až do vzdálenosti 50 m. Křivky byly poté upraveny tak, že hodnoty na ose y (počty semen) zobrazují proporce z celkového počtu šířených semen.

Graf znázorňující upravené exponenciální křivky. Maximální vzdálenost 50 m je na ose x zobrazena logaritmicky

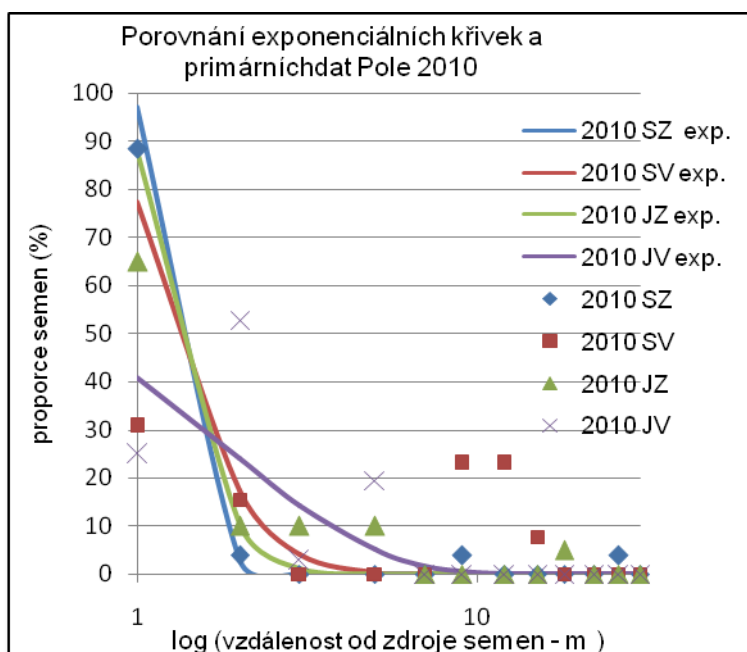


Graf 3 – Exponenciální křivky šíření větrem nafitované z terénních měření na louce z let 2008 a 2009 a z vypouštěcího pokusu na poli v roce 2010

Grafy 4 a 5 zobrazují vhodnost fitu predikčních exponenciálních křivek K primárním datům z měření na louce z let 2008 a 2009 a primárním datů z vypouštěcího pokusu na poli z roku 2010 jsou vždy vyneseny na odpovídající predikční exponenciální křivky. Hodnoty vysvětlené variability danými křivkami se pohybují přes 90% (až na křivku pro rok 2010 JV transekt), což značí správný fit křivek.



Graf 4 – Porovnání primárních dat z měření na louce (2008 a 2009) naitovaných exponenciálních křivek z téhož měření



Graf 5 – Porovnání primárních dat z vypouštěcího pokusu (2010) a naitovaných exponenciál z dat téhož pokus

4.2 Dálkové šíření podél potoků

4.2.1 Primární data

Měření v potocích

Měření dálkového šíření semen *R. alpinus* probíhalo pomocí lapacích pastí ve třech potocích v letech 2008 a 2009. Výsledky ukazují, že semena mají schopnost šířit se do vzdálenosti 100 m od zdroje semen. V roce 2008 do této vzdálenosti v Zeleném potoce doplávala 3 semena. V roce 2009 byla vzdálenost šíření 100 m zaznamenána pro lokality Modrý potok i Zelený potok, kde bylo chyceno dokonce 8 semen.

V datech se projevuje velká meziroční variabilita. Během měření v roce 2008 byly některé pasti poničeny bouřkou a přivaly vody, proto některé hodnoty pro pasti chybí. I tak ale bouřky a přivaly v roce 2008 způsobily vyšší počet celkově zachycených semen (1097 semen) oproti roku 2009 (563 semen).

Tabulky zobrazují počet našířených semen do jednotlivých pastí. Hodnoty vzdáleností v tabulkách odpovídají umístění jednotlivých pastí.

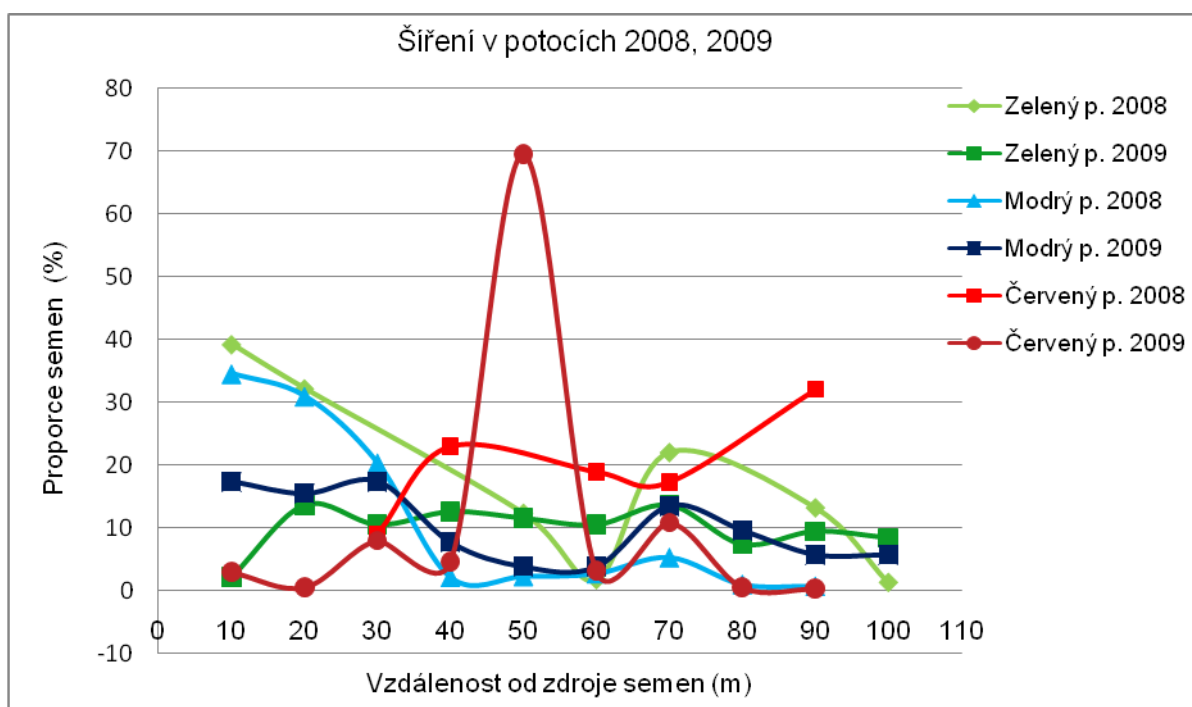
2008						
Vzdálenost (m)	Zelený p.	%	Modrý p.	%	Červený p.	%
10	89	32,1	241	34,5	N	N
20	73	26,4	216	30,9	N	N
30	N	N	142	20,3	11	9,02
40	N	N	15	2,1	28	22,95
50	28	10,1	16	2,3	N	N
60	4	1,4	19	2,7	23	18,85
70	50	18,1	37	5,3	21	17,21
80	N	N	7	1,0	N	N
90	30	10,8	5	0,7	39	31,97
100	3	1,1	N	N	N	N
Total	277	100%	698	100%	122	100%

Tab. 4. 4 – Počet semen našířených na dané vzdálenosti v roce 2008,
% – proporce odpovídající vzdálenostem, N – chybějící hodnoty

2009						
Vzdálenost (m)	Zelený p.	%	Modrý p.	%	Červený p.	%
10	2	2,1	9	17,3	12	2,9
20	13	13,7	8	15,4	2	0,5
30	10	10,5	9	17,3	33	7,9
40	12	12,6	4	7,7	19	4,6
50	11	11,6	2	3,8	289	69,5
60	10	10,5	2	3,8	13	3,1
70	13	13,7	7	13,5	45	10,8
80	7	7,4	5	9,6	2	0,5
90	9	9,5	3	5,8	1	0,2
100	8	8,4	3	5,8	N	N
Total	95	100%	52	100%	416	100%

Tab. 4. 5 – Počet semen našířených na dané vzdálenosti v roce 2009,
% – proporce odpovídající vzdálenostem, N – chybějící hodnoty

Grafické zobrazení proporcí zachycených semen z jednotlivých pastí z let 2008 a 2009, chybějící hodnoty jsou vynechány.



Graf 6 – Primární data – proporce našířených semen pro dané vzdálenosti v potocích v letech 2008 a 2009

Vypouštěcí pokusy

Pokusy proběhly v letech 2008 a 2010. Z místa populace šťovíku bylo vypuštěno 100 resp. 500 semen pro každou past v dané vzdálenosti. Vypouštěcí pokus ilustruje schopnost jednotlivých pastí chytat semena. V tabulce jsou uvedeny počty semen zachycených jednotlivými pastmi a proporce semen na past z celkového počtu chycených.

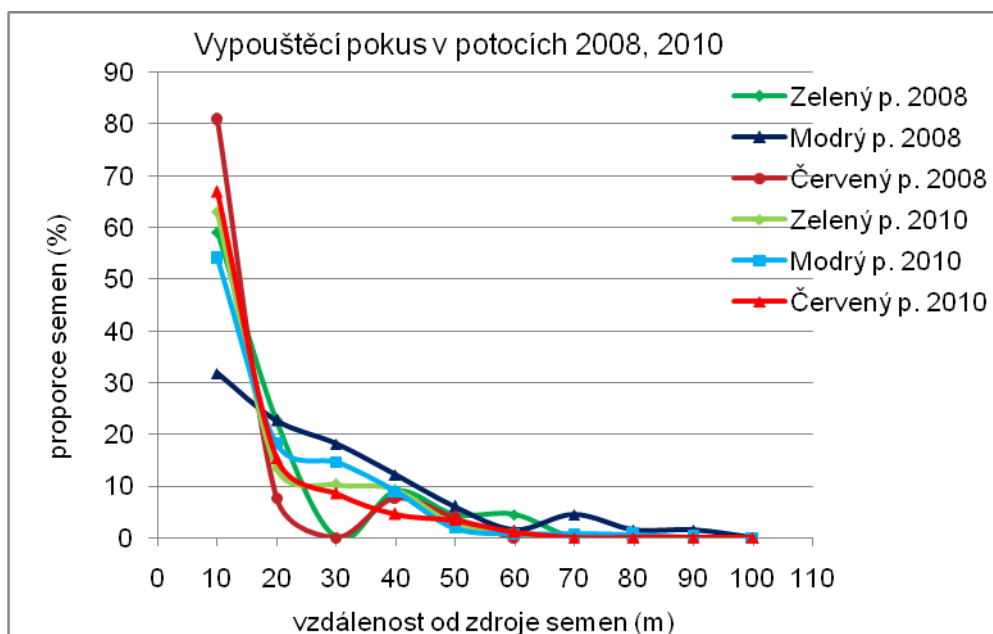
2008						
Vzdálenost (m)	Zelený p.	%	Modrý p.	%	Červený p.	%
10	13	59,1	21	31,8	21	80,8
20	5	22,7	15	22,7	2	7,7
30	0	0,0	12	18,2	0	0,0
40	2	9,1	8	12,1	2	7,7
50	1	4,5	4	6,1	1	3,8
60	1	4,5	1	1,5	0	0,0
70	0	0,0	3	4,5	0	0,0
80	0	0,0	1	1,5	0	0,0
90	0	0,0	1	1,5	0	0,0
100	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	22	100%	66	100%	26	100%

Tab. 4. 6 - Počet zachycených semen ve vypouštěcím pokusu v potoce 2008

2010						
Vzdálenost (m)	Zelený p.	%	Modrý p.	%	Červený p.	%
10	141	62,9	372	54,0	117	66,9
20	30	13,4	126	18,3	27	15,4
30	23	10,3	101	14,7	15	8,6
40	21	9,4	62	9,0	8	4,6
50	6	2,7	13	1,9	6	3,4
60	2	0,9	5	0,7	2	1,1
70	1	0,4	5	0,7	0	0,0
80	0	0,0	4	0,6	0	0,0
90	0	0,0	1	0,1	0	0,0
100	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	224	100%	689	100%	175	100%

Tab. 4. 7 - Počet zachycených semen ve vypouštěcím pokusu v potoce 2010

Graf 5 zobrazuje zachycování semen během vypouštěcích pokusů v potocích. Umístění první pasti odpovídá vzdálenost 10 m atp. Nejvíc semen bylo zachyceno v prvních pastech odpovídající vzdálenosti 10 m. Maximální vzdálenost, ve které bylo zachyceno jedno semeno, je 90 m (Modrý potok, 2008 i 2010).



Graf 7 - Primární data - proporce zachycených semen ve vypouštěcím pokusu v letech 2008 a 2010

4. 2. 2 Korekce dat o šíření podél potoků

Pro odfiltrování vlivu rychlosti průtoku a vzájemného vlivu pastí, byly provedeny korekce měřených dat. Data po koreci je možno porovnávat mezi sebou a s daty získanými z šíření na louce.

Podrobný postup úprav a zjištění relativní záchytné schopnosti pasti – viz metodika 2. 3. 4.

Korekce dat na rychlost průtoku vody

Získané počty semen v jednotlivých pastech byly vyděleny relativní rychlostí průtoku vody pro danou past (podrobná tabulka viz Přílohy).

Relativní rychlost průtoku vody (m/s) pro past je podíl rychlosti průtoku vody pro měřené pro jednotlivé pasti a celkové rychlosti průtoku vody. Relativná rychlost průtoku pak byla použita k úpravě záchytné schopnosti jednotlivých pastí.

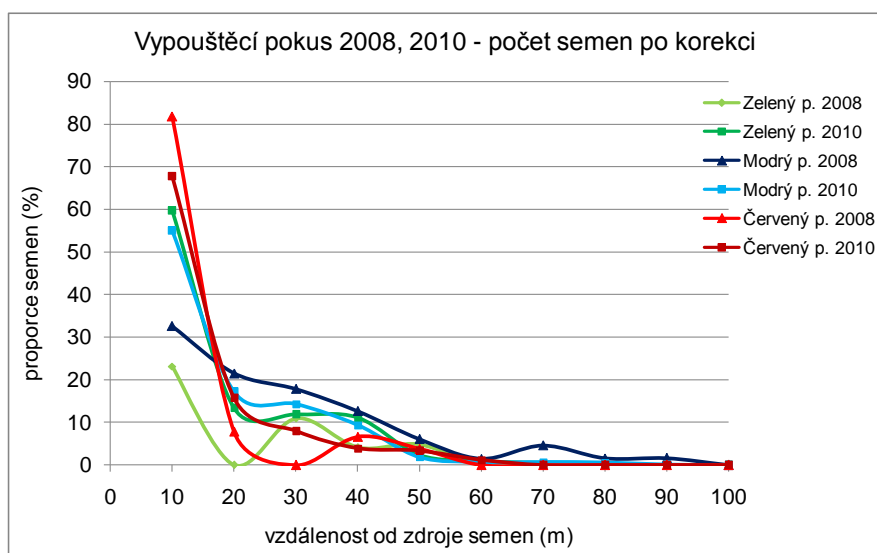
Takto byla upravena data z dlouhodobého měření z let 2008 a 2009 i data z vypouštění semen z let 2008 a 2010. Data z vypouštěcího pokusu nebyla dále upravována, protože pasti byly při vypouštění v toku umístěny vždy samostatně a nebylo tedy potřeba odfiltrovat vliv pastí na sebe navzájem.

Tabulka 4.8 ukazuje počet semen pro jednotlivé pasti po korekci na relativní rychlost průtoku vody. Počet semen chyceným v dané pasti je vydělen relativní rychlostí vody. Výsledky pak vyjadřují počty našířených semen v pastech bez vlivu průtoku vody danou pastí.

Past č.	Vzdálenost (m)	2008			2010		
		Zelený p.	Modrý p.	Červený p.	Zelený p.	Modrý p.	Červený p.
1	10	11,482	21,226	23,283	124,531	376,000	129,717
2	20	4,665	14,030	2,235	27,990	117,851	30,173
3	30	0,000	11,629	0,000	24,828	97,876	15,300
4	40	2,207	8,264	1,883	23,173	64,044	7,530
5	50	0,837	3,979	1,075	5,021	12,931	6,448
6	60	0,978	0,954	0	1,956	4,772	2,328
7	70	0	3,000	0	1,018	5,000	0
8	80	0	1,039	0	0	4,155	0
9	90	0	1,050	0	0	1,050	0
10	100	0	0	0	0	0	0

Tab. 4. 8 – Vypouštěcí pokus v potocích 2008 a 2010, počty semen pro jednotlivé pasti po korekci na relativná průtok vody (počet sem. /relativní rychlost průtoku),

Graf 8 zobrazuje počty semen zachycených při vypouštěcích pokusech po celkové korekci. Z grafu je patrné, že většina semen se zachycovala převážně v pastech do vzdálenosti 50 m od místa vypouštění. Souvislý pokles v počtech zachycovaných semen vykazoval pro oba roky pokusu. Modrý potok.



Graf 8 – Šíření v potocích - vypouštěcí pokus 2008 a 2010 – počet semen po celkové korekci

Korekce dat na rychlost průtoku vody a šířku toku

Data s úpravou rychlosti průtoku vody pak byla vydělena reálnou záchytnou schopností pasti a výsledek přinesl data, která byla nezávislá na rychlosti průtoku vody pastí i na šířce toku.

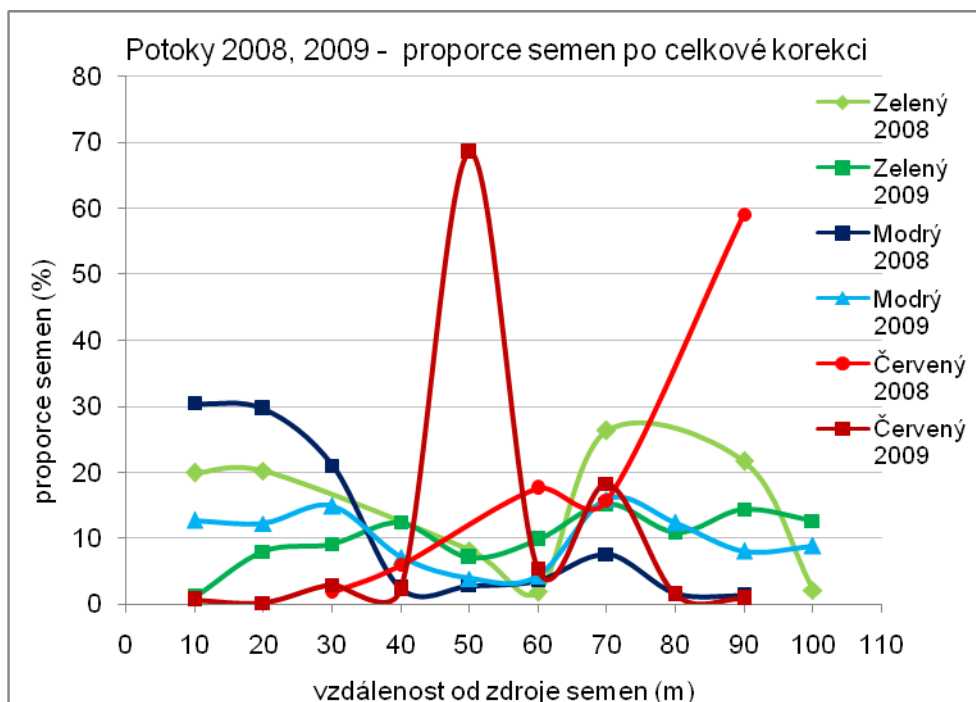
2008 Past č.	Vzdálenost (m)	Zelený p.		Modrý p.		Červený p.	
		n kor. rychlost	n kor. zách. schop.	n kor. rychlost	n kor. zách. schop.	n kor. rychlost	n kor. zách. schop.
1	10	78,605	797,977	243,591	3101,673	N	N
2	20	68,108	810,196	202,030	3016,853	N	N
3	30	N	N	137,608	2138,733	11,220	69,572
4	40	N	N	15,495	244,319	26,356	229,592
5	50	23,433	325,601	15,915	283,349	N	N
6	60	3,912	70,877	18,132	364,661	26,770	680,736
7	70	50,900	1053,870	37,000	767,003	20,242	609,625
8	80	N	N	7,271	157,333	N	N
9	90	32,860	867,700	5,251	122,247	34,401	2292,311
10	100	3,125	85,255	N	N	N	N

Tab. 4. 9 - Korekce dat z šíření v potoce z roku 2008, **n kor. rychlost** – počet semen po korekci na rychlost, **n kor. zách. schopnost** – počet semen po korekci na reálnou záchytnou schopnost (korekce na rychlost a šířku), N – chybějící hodnota

2009	Vzdálenost	Zelený p.		Modrý p.		Červený p.	
Past č.	(m)	n kor. rychlost	n kor. zách. schop.	n kor. rychlost	n kor. zách. schop.	n kor. rychlost	n kor. zách. schop.
1	10	1,766	17,932	9,097	115,830	13,304	42,144
2	20	12,129	144,281	7,483	111,735	2,235	10,429
3	30	10,795	163,851	8,722	135,553	33,660	208,716
4	40	13,241	223,468	4,132	65,152	17,884	155,795
5	50	9,206	127,915	1,989	35,419	310,592	4917,852
6	60	9,779	177,194	1,909	38,385	15,131	384,764
7	70	13,234	274,006	7,000	145,109	43,376	1306,340
8	80	7,860	196,280	5,193	112,381	1,996	97,764
9	90	9,858	260,310	3,151	73,348	0,882	58,777
10	100	8,334	227,345	3,082	79,866	N	N

Tab. 4. 10 - Korekce dat z šíření v potoce z roku 2009, **n kor. rychlost** – počet semen po korekci na rychlost, **n kor. zách. schopnost** – počet semen po korekci na reálnou záchytnou schopnost (korekce na rychlost a šířku), N – chybějící hodnota

Graf 9 zachycuje proporce šířených semen v potocích v letech 2008 a 2009 po celkových korekcích. Nápadné jsou kumulace semen v Červeném potoce, které jsou způsobeny jednak bouřkami (2008) a také morfologií potoka.

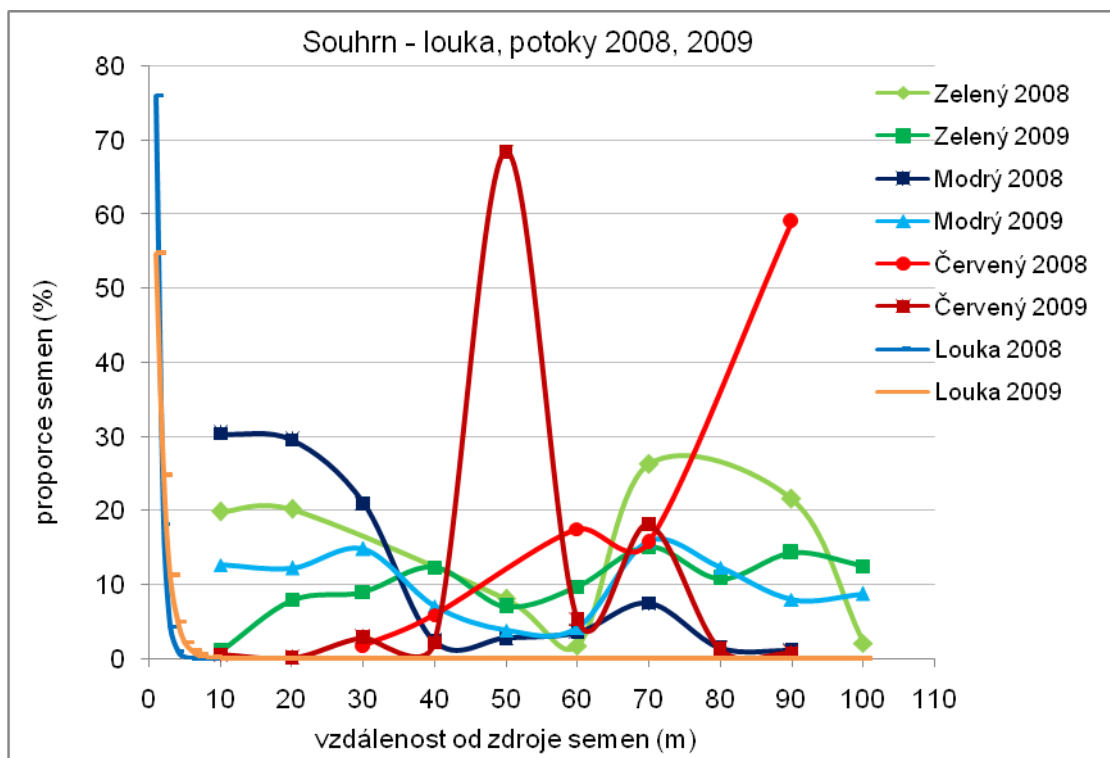


Graf 9 - Šíření v potocích 2008 a 2009 - proporce semen po celkové korekci

4. 3 Souhrnn dat o anemochorii a hydrochorii

Data z šíření na louce byla upravena integrací, aby mohla být vynesena společně s daty o šíření v potocích. Úprava byla nutná vzhledem k rozdílné povaze typů dat. Při odchytu do pastí v potoce se studuje ne trvalé zachycení, ale množství semen, která mají potenciál se šířit dál. Data o anemochorii tento potenciál nemají, pádem do pasti, jejich cesta končí. Proto byly počty semen na ose x disperzní křivky integrovány od daného čísla do nekonečna. Získaly se údaje o obsahu plochy pod křivkou - informace o potenciálním dalším šíření. Data pak mohly být porovnávány s daty hydrochorními.

Souhrnný graf zobrazuje upravená data získaná terénním měřením šíření semen *R alpinus* na louce a v potocích



Graf 10 – Souhrnný graf proporcí zachycených semen z měření na louce a v potocích po provedení korekcí

Vzdálenost šíření pro dané proporce semen

Pro křivky disperze větre a upravené hydrochorní křivky, byly vypočítány vzdálenosti šíření pro 1%, 5% a 50 % semen. Pro šíření v potocích vychází pro rok 2008 vzdálenost šíření 1% semen až na 304,2 m (Modrý potok). Pro rok 2009 to je 126,9 m (opět Modrý potok). Největší vzdálenost dosažená 1% semen pro šíření na louce 57, 8 m pro křivku z roku 2008. V roce 2009 je to 29,9 m

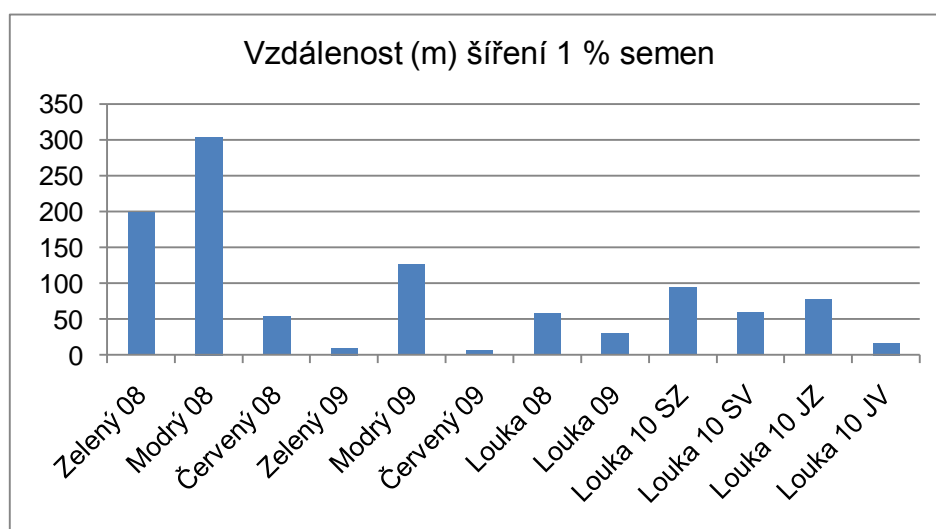
Vzdálenosti pro dané proporce a roky měření jsou uvedeny v tabulkách.

	2008	2009	2010 SZ	2010 SV	2010 JZ	2010 JV
1%	57,774	29,928	94,123	59,888	77,803	16,65
5%	11,555	5,986	18,825	11,978	15,561	3,321
50%	1,1555	0,5986	1,8825	1,1978	1,5561	0,332

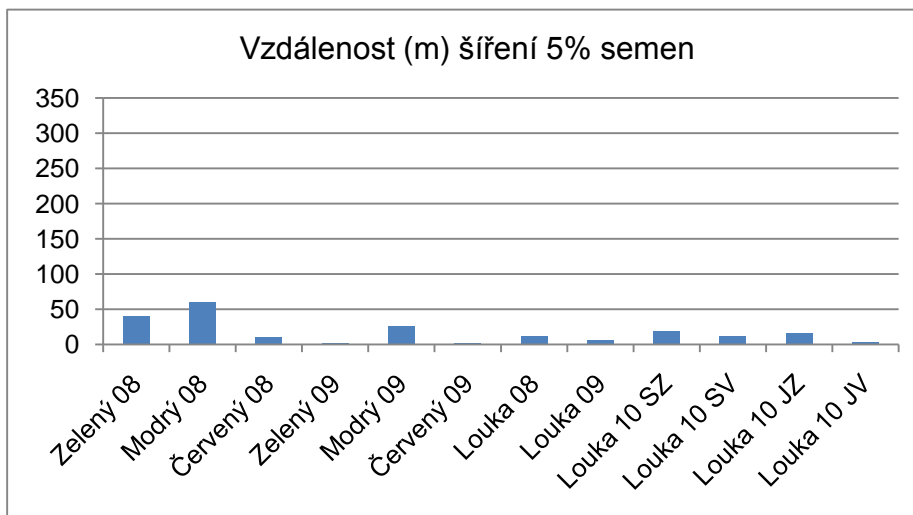
Tab. 4.12 – Šíření na louce - vzdálenosti šíření (m) semen pro dané proporce a roky měření

	2008			2009		
	Zelený p.	Modrý p.	Červený p.	Zelený p.	Modrý p.	Červený p.
1%	198,924	304,199	53,767	9,893	126,898	5,868
5%	39,785	60,834	10,753	1,979	25,380	1,174
50%	3,978	6,084	1,07534	0,1979	2,538	0,1174

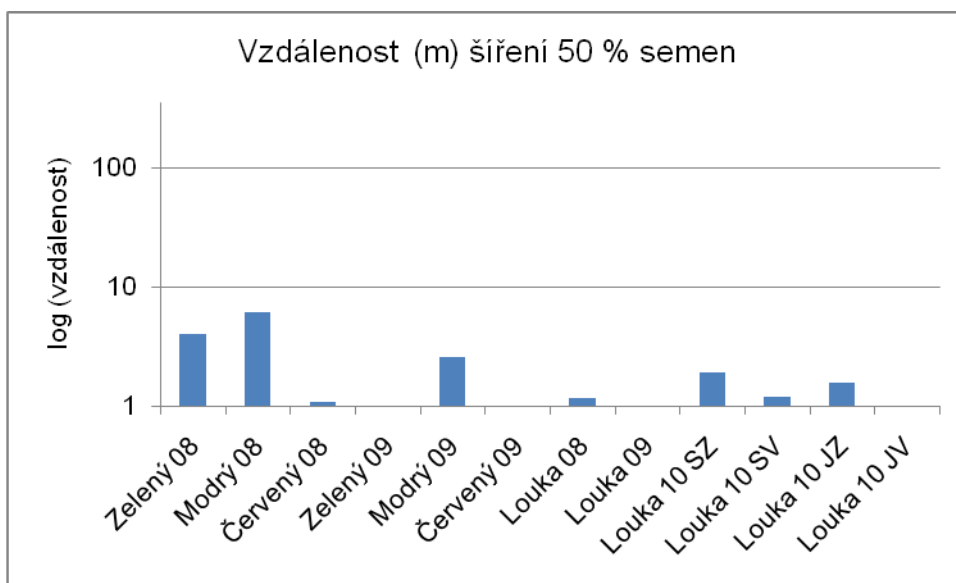
Tab. 4. 13 – Šíření v potocích – vzdálenosti (m) pro dané proporce a roky měření



Graf 11 - Souhrnný graf vzdáleností šíření 1% semen pro křivky z potoků a louky



Graf 12 – Souhrnný graf vzdáleností šíření 5% semen pro křivky z potoků a louky



Graf 13 – Souhrnný graf šíření 50 % semen pro křivky z potoků a louky, maximální vzdálenost šíření je 7 m pro Modrý p. 2008

4. 4. Porovnání simulací šíření (terénní křivky vs. teoretické křivky šíření)

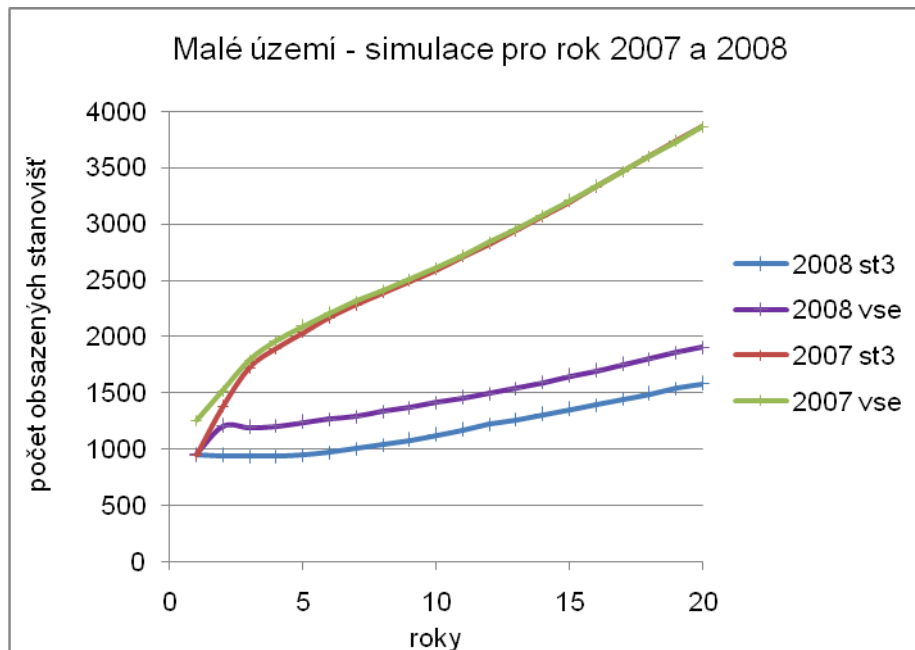
Terénní a teoretické křivky šíření byly spolu s dalšími údaji použity k simulaci šíření *R. alpinus* v programu metapop (Herben et al. 2006, Münzbergová et al. 2005). Simulace probíhala na dvou územích – menším území - „povodí Labe“ a na území zahrnující Krkonošský národní park – velké území (podrobněji viz metodika).

Na každém území byla provedena simulace pracující s parametry z teoretické křivky šíření a s parametry z křivky šíření z terénních dat. Simulace byly počítány pro šíření od roku 2006 (údaj o počátečním rozšíření invaze) na dvacet let do budoucnosti. Do simulací byla nově zahrnuta nosná kapacita území, se kterou se v předchozích simulacích nepočítalo.

Výstupní soubory programu metapop byly zpracovány tak, že byl pomocí kontingenční tabulky zjištěn počet obsazovaných čtverců v průběhu simulace.

4. 4. 1 Malé území

Graf 14 zobrazuje simulace obsazování čtverců pro malé území. Simulace proběhla pro teoretickou křivku (Červenková 2007, křivka pro dynamickou invazi) a pro křivku z terénních dat z roku 2008 – $y = 193,543 \exp(-17986,423*d)$. Vyneseny jsou souhrnné hodnoty pro všechna věková stádia a hodnoty pro stádium 3 (vegetativní rostliny), protože to se nejvíce vyskytovalo v mapovaných plochách. Simulace, s vypočítanou křivkou šíření (2007 st3), dosáhla ve 20. roce v průměru 3861 obsazených polí z celkového počtu 5900 obyvatelných stanovišť. Naproti tomu simulace s křivkou získanou z terénních dat (2008 st 3) dosáhla ve 20. roce simulace průměrně 1579 obsazených polí.



Graf 14 – Malé území - záznam obsazování stanovišť pro 1 – 20. rok simulace

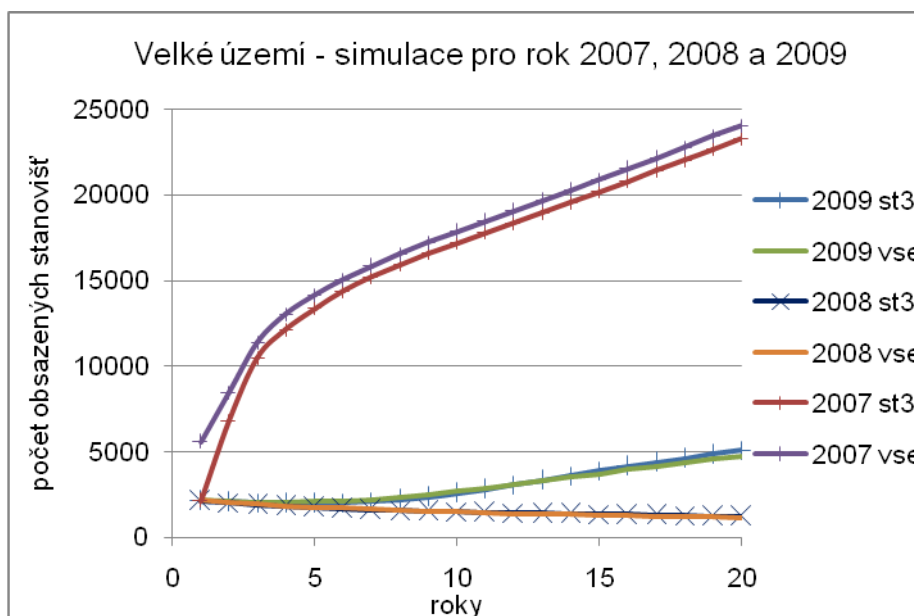


Graf 15 – Malé území počet obsazených čtverců ve 20. roce simulace, vyneseny hodnoty pro 10 opakování simulace (teoretická a terénní křivka 2008)

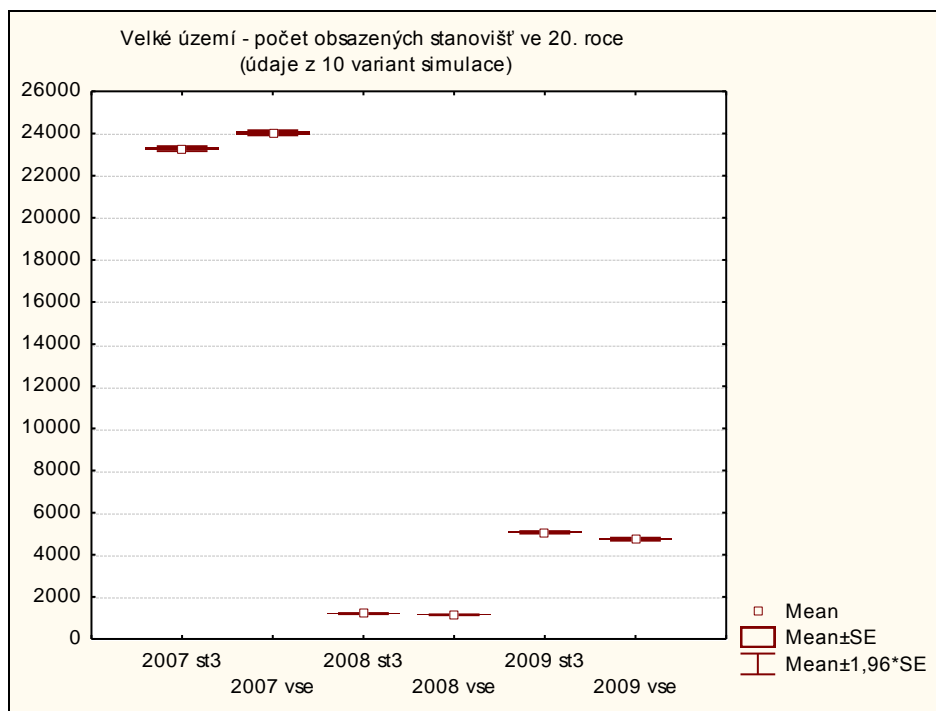
4. 4. 2 Velké území

Graf 16 zobrazuje simulace obsazování čtverců pro velké území. Proběhla pro stejnou teoretickou křivku, jako na malém území a pro křivky z terénních dat z let 2008 –

$y = 193,543 \cdot \exp(-17986,422 \cdot d)$ a 2009 – $y = 6,070 \cdot \exp(-9979,206 \cdot d)$. Vyneseny jsou hodnoty pro všechna věková stádia a hodnoty pro stádium 3 (vegetativní rostliny), protože to se nejvíce vyskytovalo v mapovaných plochách. Simulace pro stádium 3, počítající s teoretickou křivkou šíření, dosáhla ve 20 roce 23280 obsazených polí. Simulace pro stádium 3 s křivkou z terénních dat z roku 2009 dosáhla 5066 obsazených polí. Celkový počet obyvatelných polí v území je 33340.



Graf 16 – Velké území – obsazování stanovišť pro 1 – 20. rok simulace



Graf 17 – Velké území počet obsazených čtverců ve 20. roce simulace, vyneseny hodnoty pro 10 opakování simulace (teoretická a terénní křivky 2008 a 2009)

4. 5 Dynamický model invaze

Výsledky simulací s terénními i teoretickými křivkami šíření, byly zobrazeny v programu ArcGis. Data z programu metapop (Herben et al. 2006, Münzbergová et al. 2005) byla zpracována pomocí kontingenčních tabulek tak, že bylo vypočteno obsazování stanovišť pro simulace od 1. – 20. roku. Počty obsazených čtverců pro růstové stádium 3 pro 5., 10., 15. a 20. rok simulace byly dosazeny do sítí území v programu ArcGis (viz metodika).

Hodnoty obsazenosti stanoviště zároveň ještě obsahovaly vnitřní informaci o míře „zamořenosti“ stanoviště. Simulace pro jednotlivé roky probíhaly v deseti opakováních. Výsledkem bylo tedy deset různých scénářů o obsazování stanovišť během dvaceti let. „Zamořenost“ stanoviště bylo tedy číslo od 1 – 10, podle toho v kolika opakováních bylo stanoviště obsazeno.

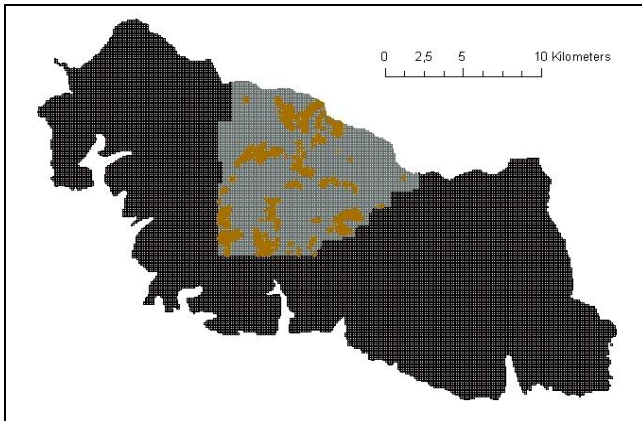
Mapky rozšíření šťovíku jsou si v obou případech simulací dost podobné. Důvodem je to, že data pro zobrazení v programu ArcGis byla zpracována jinak než předchozí výsledky obsazování stanovišť.

Výpočet obsazování stanovišť uvedený v oddílu 4.4 byl proveden přes všechny stanoviště pro daný rok a opakování simulace. Výsledný počet obsazených stanovišť tak byl průměrem z deseti opakování.

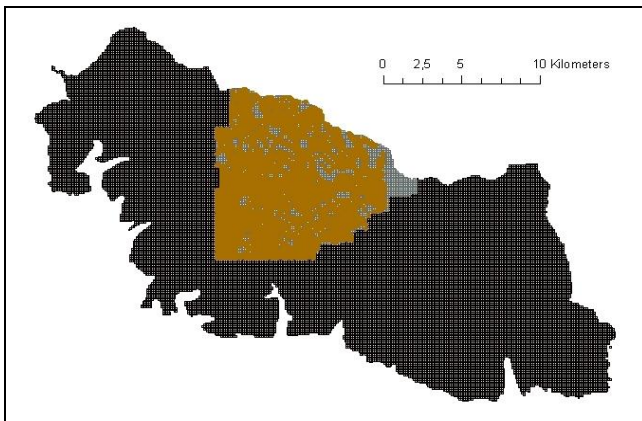
Výpočet obsazování stanovišť pro program ArcGis byl proveden, tak že nejdříve byla vyjádřena „zamořenost“ každého stanoviště. Hodnota byla získána z deseti variant simulace. Z této informace, pak byla sestavena tabulka udávající obsazenost pro všechny stanoviště a dané roky. Stalo se tedy, že některá stanoviště byla obsazena, i když obsazenost vyšla jen v jednom opakování (zamořenost = 1) To tedy nadhodnotilo obsazenost stanovišť při zobrazení v ArcGisu.

Malé území

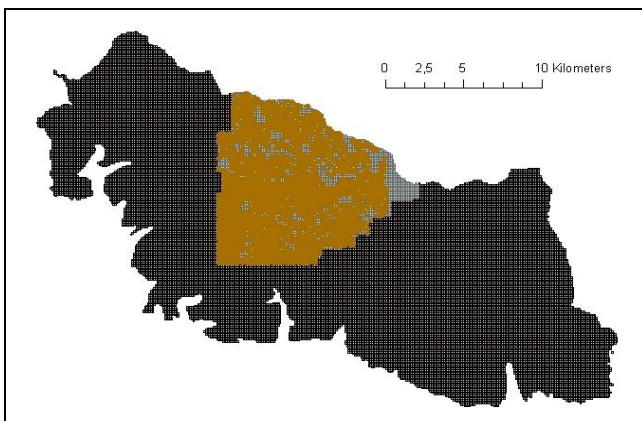
Na obrázcích je zobrazeno tmavě celé území KRNAP – velké území a světle je zobrazeno malé území. Obrázek 1 ukazuje iniciální rozšíření šťovíku (hnědě) na malém území. Obrázek 2 zobrazuje simulaci šíření s teoretickou křivkou. Obrázek 3 zobrazuje šíření s terénní křivkou z roku 2008.



Obr. 1 – Malé území (světlá), počáteční obsazení šťovíkem (hnědá)

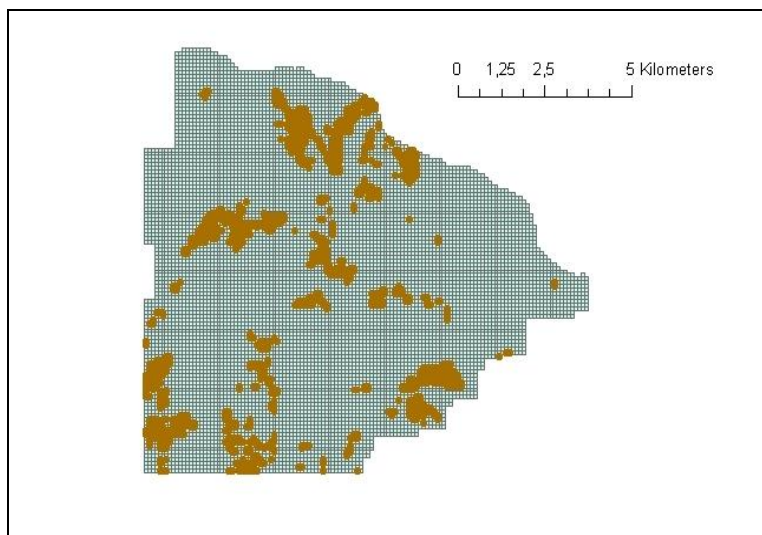


Obr. 2 – Simulace s teoretickou křivkou šíření z roku 2007, obsazení po 20 letech (hnědá)

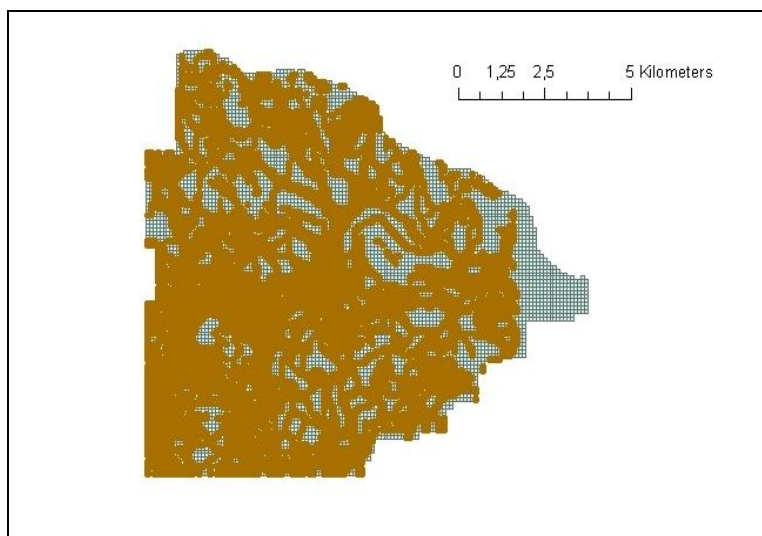


Obr. 3 – Simulace s křivkou z terénních dat z roku 2008 (hnědě)

Obrázky níže zobrazují detail malého území. Obrázek 4 zobrazuje iniciální rozšíření šťovíku (hnědě). Obrázek 5 zobrazuje rozšíření šťovíku po 20 letech modelované s teoretickou křivkou šíření.

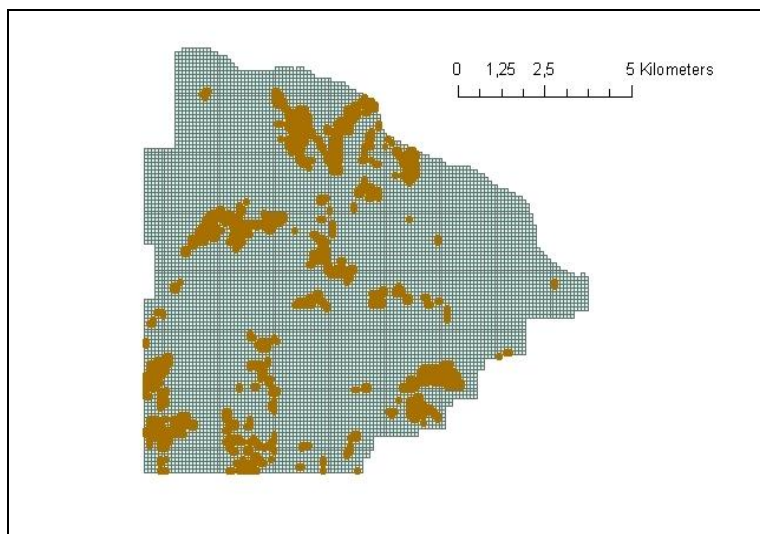


Obr. 4 – Počáteční obsazení šťovíkem (hnědě)

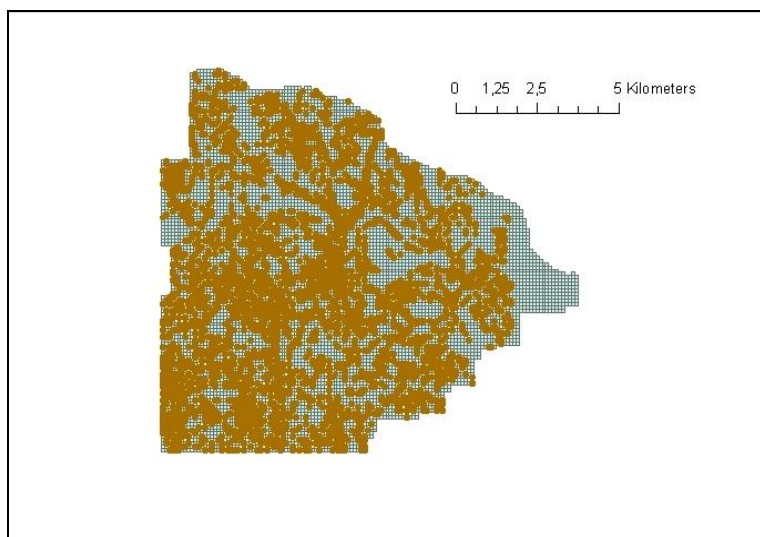


Obr. 5 – Simulace s teoretickou křivkou šíření z roku 2007, obsazení po 20 letech

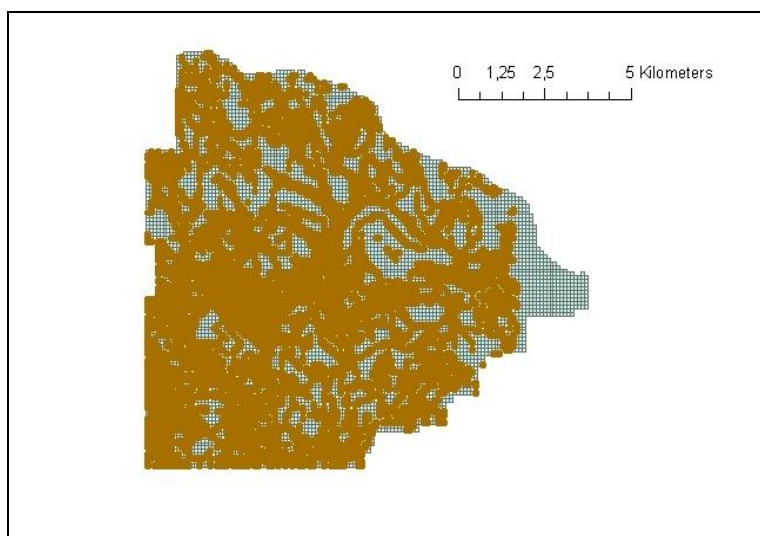
Obrázky simulací šíření s terénní křivkou z roku 2008. Obrázek 7 ukazuje rozšíření šťovíku po 10 letech simulace. Obrázek 8 ukazuje rozšíření šťovíku po 20 letech simulace.



Obr. 6 – Počáteční obsazení šťovíkem (hnědě)



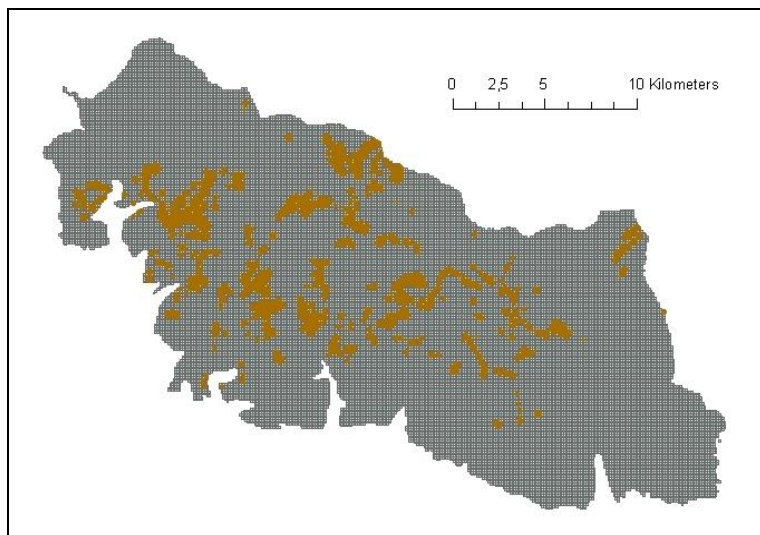
Obr. 7 – Simulace s terénní křivkou šíření z roku 2008, obsazení po 10 letech



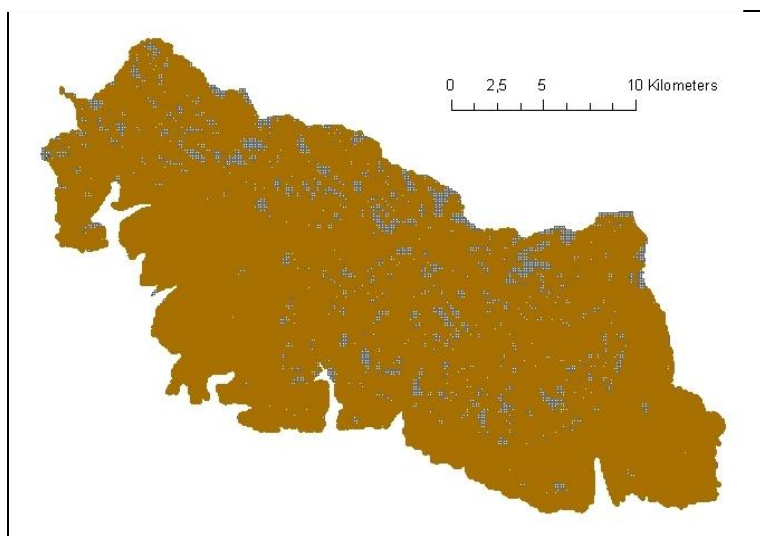
Obr. 8 – Simulace s terénní křivkou šíření z roku 2008, obsazení po 20 letech

Velké území

Na obrázcích je zobrazeno velké území simulací, které odpovídá rozloze KRNAP. Obrázek 8 opět zobrazuje iniciální rozšíření šťovíku (hnědě) na celém území. Na obrázku 9 je 20. rok simulace za použití teoretické disperzní křivky.

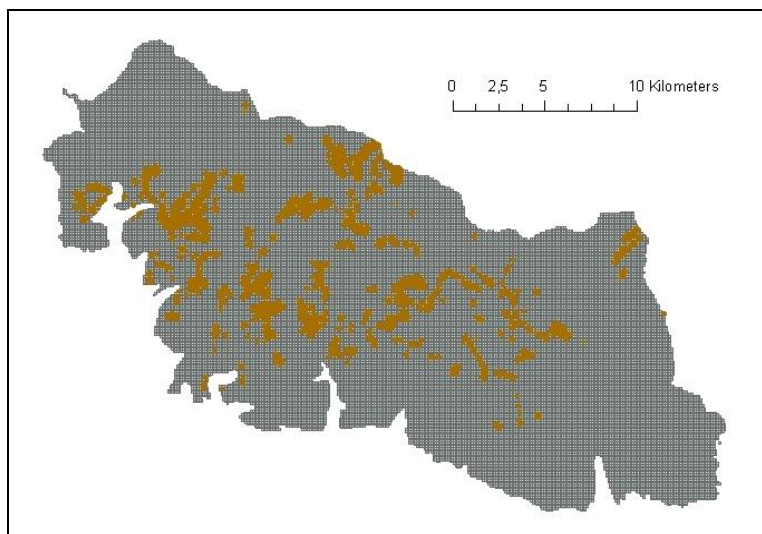


Obr. 9 – Počáteční obsazení šťovíkem (hnědě)

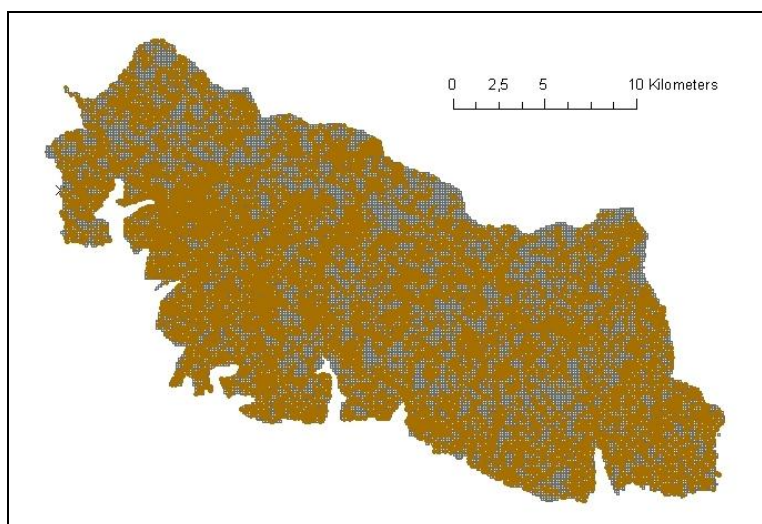


Obr. 10 – Simulace s vypočítanou křivkou šíření z roku 2007, obsazení po 20 letech

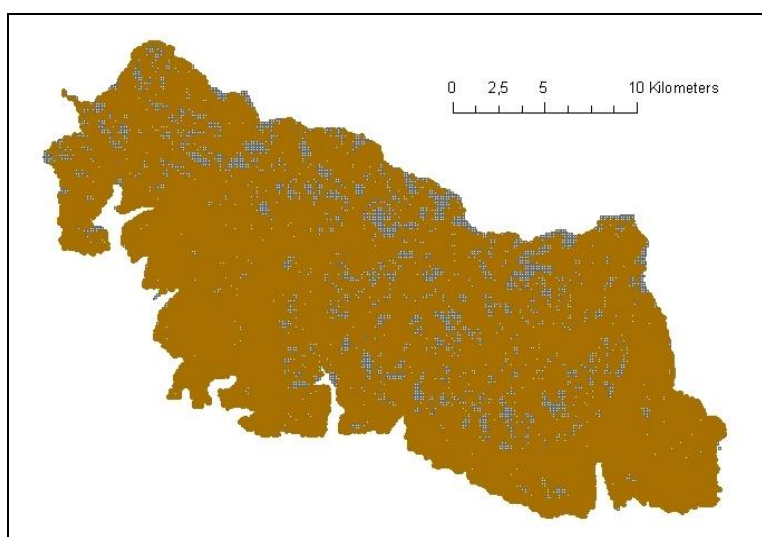
Obrázek 12 ukazuje obsazení stanovišť po deseti letech simulace s použitím terénní křivky z roku 2009. Obrázek 13 ukazuje stav simulace s téže křivkou po 20 letech.



Obr. 11 – Počáteční obsazení šťovíkem (hnědě)



Obr. 12 – Simulace s terénní křivkou šíření z roku 2009, obsazení po 10 letech



Obr. 13 – Simulace s terénní křivkou šíření z roku 2009, obsazení po 20 letech

5 Diskuse

5. 1 Dálkové šíření na loukách

Louka pod Dvorskou boudou

Údaje o počtu semen a vzdálenostech šíření svědčí o velké meziroční variabilitě, která je s největší pravděpodobností způsobena vlivem klimatických podmínek na stanovišti. Počet lat se semeny byl odhadem pro oba měřené roky stejný. Proto je nejspíš činitelem velké variability počasí – jeden z klíčových prvků, rozhodující o dálkovém šíření semen (Soons 2004).

Šíření *R. alpinus* bylo měřeno do 50 m, což se ukázalo jako dostačující vzdálenost. Podle jedné z definic, které uvádí Nathan (2006) je hranice dálkového šíření absolutní vzdálenost, do které jsou rostliny schopny se šířit na základě svých anatomických a morfologických vlastností. V podmínkách Krkonoš se zdá být touto vzdáleností 20 m. Podobný údaj přinesl i vypouštěcí pokus na poli, který simuloval šíření šťovíku za pozměněných podmínek. V pokusu na poli se semena šířila až do vzdálenosti 26 m. Z těchto výsledků, ale nelze paušálně usuzovat, že se semena šťovíku šíří na vzdálenost zhruba 25 m a dál již ne. Odporují tomu i výsledky z diplomové práce Kubátová (1994), kde byl příbuzný druh *Rumex longifolius* nalezen v Kopeckého válečcích 50 m od zdroje. Do této vzdálenosti se nejspíše dostal díky větru. Stavba semene druhu *Rumex* poskytuje potenciál šířit se i na větší vzdálenosti, svou roli ale opět sehrává počasí.

Arbitrárně stanovit hranici dálkového šíření pro určitý druh zřejmě nejde. Bullock et al. (2003) měřil šíření *Rhinanthus minor* také pomocí lapacích pastí a zjistil, že se semena šířila až do vzdáleností 19,1 m. Pasti umísťoval až 25,1 m daleko od zdroje semen. Semena *R. minor* váží v průměru 2,5 – 3 mg a mají rozměry 3 x 4 mm (Bullock et al. 2003). Výška květenství kokrhele je v průměru 0,3 m. Semena *Rumex alpinus* váží méně – 1,62 mg i s krovkami a jsou velká zhruba 4 – 6 x 3,5 – 5 mm (Šťastná 2009). Bullock et. al (2003) uvádí, že menší semena mají větší šanci být větrem šířena dál. Takže by na tom šťovík měl být, co se týče vzdálenosti doletu, ještě lépe.

Rozměry a váha semene však nejsou jedinou podmínkou ovlivňující vzdálenost šíření. Dalším faktorem je výška květenství rostliny, která je v případě šťovíku okolo 0,75 m (vlastní pozorování), výška okolní vegetace, rychlost větru v době uvolňování semen, management lokality apod. Bullock et Clarke (2000) ve své studii prováděli lapací pokus s druhy *Erica* a

Calluna na lokalitě bez okolní vegetace. Naměřili šíření až do vzdálenosti 80 m. I přes velký rozdíl v hmotnosti semen (59 μg a 23 μg vs. 1,62 mg) je výška okolní vegetace možný faktor, který zabraňuje šíření šťovíku na lokalitě na ještě delší vzdálenosti.

Lapací pokus na poli

Pro odfiltrování vlivu okolní vegetace byl proto proveden lapací pokus na podzim na poli, kde bylo pouze nízké strniště. Pasti byly rozmístěny podobným způsobem, jako na louce v Krkonoších, pouze s tím rozdílem, že pokrývaly kruh okolo simulované populace šťovíku. Bylo tak zaznamenáno šíření do všech světových stran, protože, na rozdíl od louky pod Dvorskou boudou, k tomu byl terén vhodný. Měření bylo provedeno na přelomu října a listopadu po dobu jednoho měsíce a bylo možno pasti pravidelně kontrolovat oproti luční lokalitě. Rychlost a síla větru v těchto měsících jsou více podobné podmínkám v Krkonoších než v jiných částech roku. Průměrné roční rychlosti větru v Krkonoších 10 m nad povrchem se pohybují okolo 6 - 8 m/s (Štekl 2008), těchto rychlostí bylo během měření na poli dosaženo celkem sedmkrát (ČHMÚ – Ruzyně). Největší dosažená vzdálenost byla 26 m v severozápadním transektu. Výsledek je tedy podobný, jako v pokusu na louce. Dalo by se tedy vyvozovat, že výška vegetace v lučním pokusu nehraje až takovou roli v šíření semen šťovíku. Zvláště po přihlédnutí k výšce květenství. K podobnému závěru došli i Jongejjans et Schippers (1999) při svých výzkumech modelování dispersních křivek bylin.

Z podobnosti výsledků na poli a na louce se dá také vyvozovat, že rozmístění pastí pouze v jednom transektu směru větru na Dvorské louce nehraje až takový význam. Na louce byl transekt pastí rozmístěn proti směru převládajícího větru. Výsledky z pokusu na poli ze tří transektů umístěných po směru větru nejsou velmi odlišné od výsledků na louce.

Exponenciální křivky šíření

Jako funkce pro křivky šíření byly zvoleny exponenciály, které jsou často používanou formou disperzních křivek a hodí se pro následnou práci s dynamickým modelem. Podle získaných dat byly nafitovány v programu SPPS (2002) reálné křivky šíření a predikční křivky šíření, které byly použity k výpočtu šíření na delší vzdálenosti než bylo měřeno v terénu. Procenta variability vysvětlená danými křivkami jsou dost vysoká, fit křivek by měl proto dobře odpovídat měřeným datům.

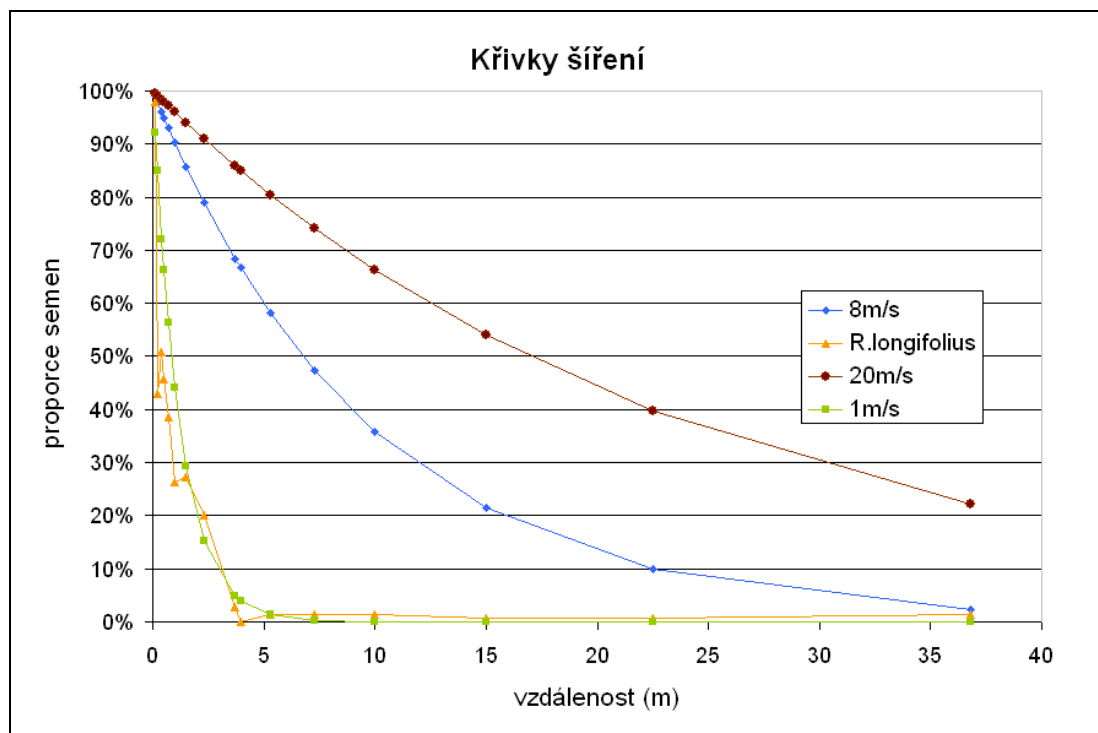
Pro dálkové šíření jsou důležité údaje o vzdálenostech ze zadní části disperzní křivky – „ohonu“ křivky (Bullock et Clarke 2000). Postihnout „ohon“ disperzní křivky je ovšem problém většiny měření. Je tu tedy dilema. První možností je snažit se získat data pro disperzní křivky v terénu a mít pak výsledky odpovídající reálným podmínkám, i když za

cenu horší informace o „ohonu“ křivky. Druhou možností je predikovat křivku s lepším „ohonem“ pomocí výpočtů a mechanistických modelů za cenu ztráty informací o klimatu. Výpočtem křivky se samozřejmě neztratí všechny informace o klimatických jevech, rychlost větru, někdy další informace o větru (např. síla) jsou součástí většiny výpočtů a modelů. Dojde ovšem k redukci informace o vzácných událostech, jakými jsou vichřice, bouřky a náhlé nebo turbulettní poryvy větru, které jsou s největší pravděpodobností činiteli dálkového šíření (Bullock et Clarke 2000, Soons et al. 2004, Nathan 2006). Problémem křivek vypočtených z údajů o diasporách a prostředí, může být naopak to, že informaci o vlivu klimatu nadhodnocují. Křivky pak zobrazují šíření také do vzdáleností, do kterých by se diaspora normálně nešířily.

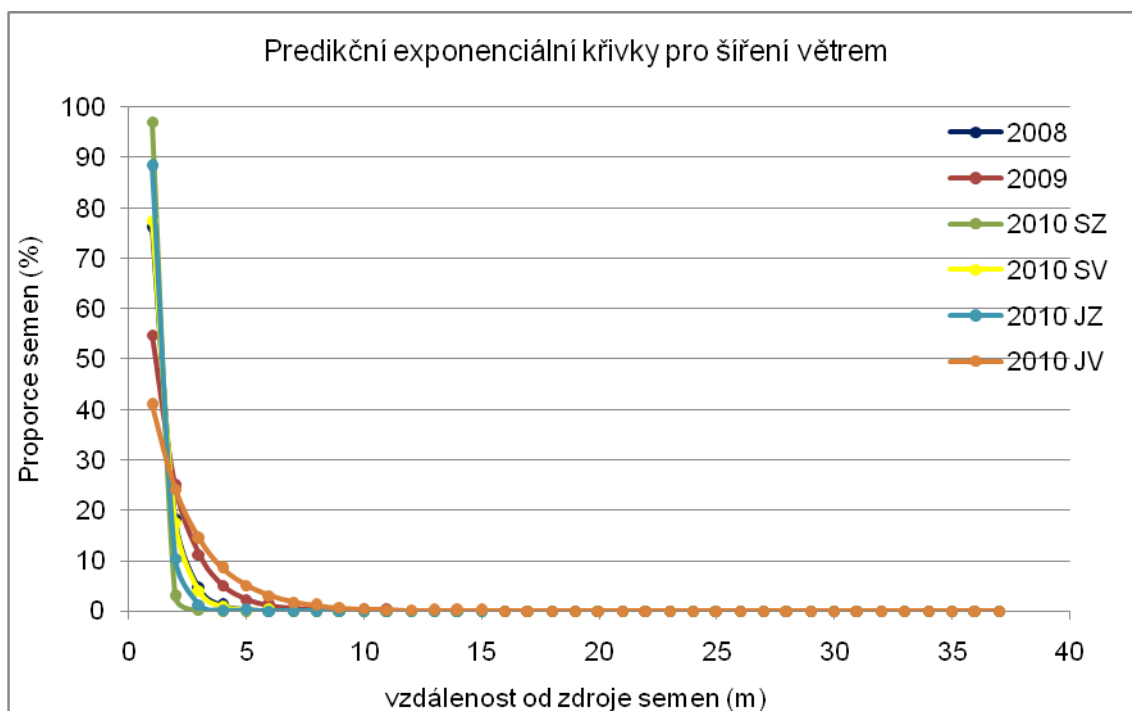
Nahodnocování rychlosti větru se zdá být právě problémem vypočítaných křivek šíření z roku 2007 (Červenková 2007). Křivky byly sestrojeny pomocí výpočtu doletu semen z terminal velocity, výšky květenství a rychlosti větru. Ze znalosti průměrného doletu semene byl potom rovnicí pomocí integrálů dopočten parametr α exponenciální křivky šíření. Výsledné křivky šíření pak popisují disperzi až na vzdálenost 100 m (křivka s rychlostí 20 m/s ve 37 m předpovídá 20% šířených semen). Dosazení takových rychlostí větru nebude chyba, v Krkonoších jsou celkem časté. Otázkou je do jaké míry ovlivňují šíření semen z rostliny šťovíku 0,75 m nad zemí a s jakou frekvencí.

Pro ilustraci je zobrazen graf s teoretickými křivkami šíření - Červenková (2007) a graf s terénními křivkami šíření z této práce. Křivky z roku 2007 předpovídají šíření na větší vzdálenosti než terénní křivky, především při vysokých rychlostech větru. Poslední nenulové hodnoty terénních křivek se pohybují okolo 9 m, což je velký rozdíl v porovnání s 37 m u vypočítané křivky s rychlostí větru 8m/s. Vzdálenosti disperze se u těchto křivek zdají být v porovnání s terénními křivkami nadhodnocené.

Roli může hrát ještě výška vegetace. Lapací pasti vyčnívají zhruba 20 cm nad povrch země, tím se snižuje efektivní velikost rostliny při vypouštění semen. Rostliny jsou zemi – pasti blíže než při výpočtech teoretických křivek. Za úvahu by tedy stálo, zda nezkusit předělat výpočty teoretických křivek (snížit výšku rostliny o 20 cm) a porovnat výsledné křivky s křivkami z terénních dat.



Graf 5. 1 - Srovnání predikovaných exponenciálních křivek šíření při různých rychlostech větru s křivkou šíření *R. longifolius*. Graf zobrazuje jen prvních 37m. Transekt *R. longifolius* končil ve vzdálenosti 50m od zdroje, kde bylo nalezeno 1 semeno (Červenková 2007).



Graf 5. 2 – Predikční exponenciální křivky šíření z terénních dat získaných v roce 2008, 2009 v pokusech na louce a v roce 2010 v pokusu na poli.

5. 2 Dálkové šíření v potocích

Výsledky měření v potocích naopak přinášejí data o dálkovém šíření probíhající na vzdálenosti až 100 m a možná dále. Lapací pasti byly umístovány do maximální vzdálenosti 100m. Vzhledem k tomu, že v Zeleném potoce bylo v roce 2009 zachyceno dokonce 8 semen v poslední pasti, je velká pravděpodobnost, že šíření probíhá na větší vzdálenosti. V literatuře neexistuje studie zkoumající dálkové šíření jednoho konkrétního druhu pomocí lapacích pastí. Studie, které měří disperzi semen odchycením do pastí, většinou zkoumají pohyb více druhů dohromady. Do proudu jsou umístěny pasti, které zachytávají všechny diaspory proplouvající profilem toku (Boedeltje et al. 2003, Vogt et al. 2004, Wolters et al. 2004). Zachycené propagule jsou pak srovnávány se skladbou okolní vegetace. Z počtu a druhu semen a podle struktury okolní vegetace je usuzováno, jak daleko se asi semena šíří a jak šíření ovlivňuje pobřežní vegetaci. Boedeltje et al. (2003) uvádí, že minimální disperzní vzdálenost u chycených druhů se pohybovala v rozmezí 0 – 100 m (např. *Glyceria maxima* a *Cardamine pratensis*). V této studii se podařilo naměřit i vzdálenosti 800 – 900 m pro druhy *Holcus lanatus* a *Scirpus sylvaticus* a až 5400 m pro druh *Ranunculus aquaticus*. Nejedná se tedy pouze o vodou šířené druhy. Zřejmé je, že i luční druhy se mohou tokem šířit na velkou vzdálenost.

Walker (2003) pomocí molekulárních markerů zjistil, že semena *Heracleum mantegazzianum* se tekoucí vodou mohou šířit až na vzdálenost 5 km. Taková schopnost je pro invazní druh klíčová. Z výsledků se, zdá, že také šťovík tento šířící potenciál má. Z vlastního pozorování podél potoků je pouhým okem patrné, že invaze každý rok postupuje a šíření po proudu je markantnější než v loukách. Ostatně i demografická měření populací *R. alpinus*, prokázala vyšší generativní růstovou rychlost pro rostliny podél potoků (Červenková 2007). Semena podél potoků lépe klíčí a to díky vlhku a menší konkurenci okolního porostu (Červenková 2007).

K zamyšlení vede i systém kanalizace okolo krkonošských bud, odpadní voda totiž nejčastěji končí v okolních potocích. Velký přísun dusíku invazi mohutně podporuje.

Během pokusů bylo patrné, že počasí má i na šíření vodou velký vliv. V prvním roce pokusů došlo dokonce k poničení a odtržení některých pastí. Markantní jsou rovněž rozdíly v počtu chycených semen mezi jednotlivými lety. Například v Modrém potoce bylo v roce 2008 chyceno celkem 698 semen a v roce 2009 jen 52. Z toho je patrné, že voda během

bouřek a jarních příválů působí jako silný disperzní vektor a že tyto vzácné události mají na šíření semen velký vliv.

Pasti se během dlouhodobých pokusů vzájemně ovlivňují ve schopnosti lapat semena. Do výsledků měření také vstupují další faktory, jako je vliv počasí, vliv přísunu diaspor, vliv rychlosti průtoku vody nebo vliv geomorfologie potoka (Meritt 2002). Data se pak proto musí podrobovat různým korekcím, aby se upřesnilo, jak vypadá prosté šíření semen potokem bez vlivu těchto faktorů. Pro odfiltrování některých z těchto faktorů (vlivu počasí vliv, vzájemný pastí na sebe) byly provedeny vypouštěcí pokusy. Simulovaly šíření definovaného počtu semen z místa populace, každá past přitom byla v toku samostatně.

Výsledky ukazují, že počet semen kontinuálně klesá s rostoucí vzdáleností. Změřené výsledky poskytují celkem pěkné primární šířící křivky. V žádném z případů ovšem nebylo zjištěno šíření až do maximální hranice měření – 100 m. Poslední údaje končily nejdále u sedmé pasti, tedy ve vzdálenosti 70 m od populace. Tento fakt opět nahrává domněnce, že vliv bouřek a příválů, je pro šíření klíčový.

Podobný pokus s vypouštěním prováděla Vogt et al. (2004), aby zjistila, jaká je záchytná schopnost pastí, které byly umístěny v řece při dlouhodobém lapacím pokusu. V případě této studie byly podmínky zjednodušeny tím, že pasti byly čtyři vedle sebe napříč vodním tokem. Nenastal tedy případ, že by se pasti v lapací schopnosti ovlivňovaly. Pomocí průměru pasti a šířky toku, bylo vypočítáno, kolik místa zabírá past v rámci toku. Procentuálně pak bylo možné vyčíslit s jaké množství semen má past možnost chytit. Semena byla vypouštěna z různé vzdálenosti a testoval se i vliv vzdálenosti na počet zachycených semen v pastích. Výsledky práce Vogt et al (2004) přinesly zjištění, že záchytná schopnost pastí je v reálu nižší než vypočítaná. Vliv na počet zachycených semen měla tedy vzdálenost vypouštění semen, charakter toku, umístění pasti i rychlost vody, která pastí protékala a délka doby expozice pasti při zachytávání. Jedná se o velké množství faktorů, které ovlivňují počet zachycených semen. V případě této diplomové práce ještě do hry vstupuje fakt, že pasti byly v toku umístěny za sebou a v lapací schopnosti se navzájem ovlivňovaly.

Proto byly provedeny korekce počtu zachycených semen v jednotlivých pastech. První korekcí byla úprava počtu semen v pastech pro rychlost průtoku vody. Vycházela z rychlosti průtoku vody pro celý měřený úsek a pro místa s jednotlivými pastmi. Problém v této korekci může být ve velké meziroční variabilitě průtoku vody daným úsekem v rámci jednotlivých potoků. Rozdíl je patrný z různého počtu chycených semen v jednotlivých letech. Průtok vody se tedy zřejmě velmi mění i během doby měření. Rychlosti průtoku vody ale byly vzhledem

k dostupnosti lokalit měřeny pouze jednou. Mohlo to tedy vnést určité procento nepřesnosti do korekcí.

Dalším postupem bylo zjištění záchytné schopnosti v rámci šířky potoka a pasti, podobná úprava, jakou provedla Vogt et. al (2004) a odfiltrování vlivu pastí na sebe navzájem. Důležitým faktorem tedy bylo, kromě toho kolik semen je past schopná chytnout, i to kolik semen poplave dál do další pasti. Nevýhodou této úpravy je možná to, že vychází ze záchytné schopnosti pasti (v rámci šířky potoka). Právě tato hypotetická hodnota potvrdila Vogt et al. (2004) může být nadhodnocována. Na druhou stranu citovaná studie probíhala v řece o šířce 8 m, což je ve srovnání s nejširším potokem (4 m) o polovinu větší šíře toku a procento nepřesnosti se tedy zvyšuje. I rozměry pastí byly dost rozdílné, Vogt et al. (2004) pracovala s pastmi o průměru 16 cm. V této práci byly použity pasti o průměru 35 cm. V menších tocích, s použitím širších pastí, by tedy měl být výpočet záchytné schopnosti přesnější.

Posledním typem korekce bylo sdružení všech korekcí dohromady, výsledkem byla reálná záchytná schopnost jednotlivých pastí. Tedy čistá informace o šíření semen v měřených úsecích.

Právě tato čistá informace by mohla být v budoucnu použita ke konstrukci exponenciálních křivek šíření. Křivky by se daly zařadit do dynamického modelu šíření šťovíku v Krkonoších. Zejména údaje z vypouštěcích experimentů by byly pro fit křivky vhodné, protože vykazují, na rozdíl od dlouhodobých měření, pokles v datech v závislosti na vzdálenosti. Sestrojit disperzní křivku z dat dlouhodobého měření bude oříšek, protože pokles hodnot není úměrný nárůstu vzdálenosti. V datech se vyskytují kumulativní nárůsty počtu semen, které se nepodařilo odstranit ani korekcemi. Ke kumulacím semen mohlo dojít vlivem náhody (např. uvolnění laty se semeny z mateční populace) nebo vznikly díky členitostem toků a působením náhlých přívalů vody. Došlo by tak k hromadění semen v pastech v místech, která byla ke kumulacím geomorfologicky příhodná. Výsledky práce Meritt et al. (2002) prokazují vliv morfologie toku na šíření semen. Studie prokázala, že na depozici semen mají vliv jak vodní režimy toku, tak jeho morfologie. Pokusy se semeny ze zmiňované studie prokázaly sedimentaci diaspor zejména v širších oblastech toku s mírným průtokem vody, ve zúženějších částech, s rychlejších průtokem vody, byla semena unášena dál. Tyto závěry tak podporují i výsledky získané v této diplomové práci.

5. 3 Souhrn dat o anemochorii a hydrochorii

Z pouhého porovnání primárních dat je jasné, že voda je efektivnější disperzní vektor než vítr (100 m vs. 20 m).

Podobné výsledky poskytuje i literatura. Boedeltje et al. (2003) uvádí šíření vodou pro druh *Holcus lanatus* na 800–900 m, kdežto Peart (1989) zaznamenává šíření tohoto druhu větrem pouze na vzdálenost 4 m. Lonsdale (1993) uvádí, že reálné šíření invazního australského druhu *Mimosa pigra* vodou, je čtyřikrát rychlejší než jeho modelované šíření větrem. Hydrochorie *Rumex alpinus* bude tedy v invazi v Krkonoších hrát nemalou roli.

Pro disperzní křivky šíření větrem a upravené křivky šíření vodou, byly vypočítány vzdálenosti šíření pro vybrané proporce semen. Největší vzdálenost šíření 1% semen v potocích je 304,2 m. Největší hodnota dosažená 1% semen při šíření na louce 57, 8 m. Jednou z definic dálkového šíření, kterou uvádí Nathan (2006) je, že dálkové šíření odpovídá danému percentilu „ohonu“ disperzní křivky (např. vzdálenost, na kterou se rozšíří 1% všech šířených semen). Vzdálenosti šíření proporcí semen vypočítané z dat této práce jsou dosti různorodé. Vzdálenosti proporcí semen šířených větrem si ale zachovávají jedno společné, nikdy nepřevyšují vzdálenost 100 m. Pouze se k ní blíží a to v případě vypouštění semen na poli - severozápadního transekt (1% - 94 m). Podle výše zmíněné definice Nathana (2006) se tedy dálkové šíření odehrává okolo této vzdálenosti. Ve světle výsledků primárních dat se ovšem tyto výpočty vzdálenosti zdají být pouze teoretické. Hodnoty jsou přemrštěné a těžko ověřitelné v terénu.

Výsledky šíření vodou mají blíže k výše popsané definici. Nejvyšší vzdálenost pro 1% semen je 304 m, což je vzdálenost od reálných měření také dost odlišná. Výsledky z terénu ale naznačují, že semena by měla potenciál se šířit i dále, než probíhala měření. Reálné dálkové šíření šťovíku v potocích by se tedy klidně mohlo blížit teoretické vzdálenosti, kterou by mělo dosáhnout 1% semen (300 m.)

5. 4. Porovnání simulací šíření (terénní vs. teoretické křivky šíření)

Pro simulace v programu metapop (Herben et al. 2006, Münzbergová et al. 2005) byly použity parametry území, které během své diplomové práce sestavila Červenková (2007).

Simulace probíhaly jednak pro malé území, se kterým bylo počítáno v roce 2007 a pak pro velké území – území KRNAP. Do simulací byla nově zahrnuta nosná kapacita území, se kterou se v předchozích simulacích nepočítalo.

Výsledky simulace šíření s terénní a teoretickou křivkou na malém i velkém území vykazují velký rozdíl v obsazování stanovišť během simulace. Podle terénních křivek se počet obsazených čtverců na malém území zvýší 1,5 x. Naproti tomu podle teoretických křivek se počet obsazených čtverců na malém území zvýší 4 x.

Rozdíly v simulacích z velkého území jsou ještě markantnější. Simulace s terénními křivkami mají počet obsazených polí 2,5 x vyšší než na začátku. Teoretické křivky predikují na konci simulace 10 x více obsazených stanovišť.

Simulace s terénní disperzní křivkou jsou tedy, co se týče obsazování stanovišť, velmi pomalé. Vyplyvá to i z porovnání samotných disperzních křivek (viz výše grafy 5.1 a 5.2).

Parametry teoretické disperzní křivky byly vypočítávány tak, aby seděly do vybrané velikosti buněk sítě (buňka 100 x 100 m) a zároveň odpovídaly přírodním podmínkám (rychlost větru). Křivky počítají s tím, že na vzdálenost 100 m se ještě šíří celočíselné počty semen.

Terénní křivky šíření také vzdálenosti dálkového šíření nedosahují. Na vzdálenost 100 m se šíří jen tisíce procent. Prakticky se tak na takovou vzdálenost nešíří žádné celé semeno.

V důsledku toho, pak tedy probíhá disperse semen do okolních stanovišť, ale nejedná se o obsazování celými semeny. Nárůst v počtu stanovišť je způsoben vegetativním šířením, protože simulace šíření probíhá pro všechny velikostní stádia.

Problémem je tedy rozměr buněk (stanovišť) sítě, ve které simulace probíhá. Buňky jsou pro terénní disperzní křivky příliš velké. Proto bude dalším úkolem do budoucna vytvořit síť s menšími buňkami, ve které by mohly proběhnout nové simulace. Buňky velké sítě se budou muset rozdělit tak, aby menším buňkám odpovídaly charakteristiky velkých buněk. Podle předchozích zkušeností bude zřejmě potřeba i upravit program metapop, protože díky rozdělení bude do simulace vstupovat mnohonásobně více buněk než v současném případě.

5.5 Dynamický model

Výsledky simulací s terénními i teoretickými křivkami šíření, byly zobrazeny v programu ArcGis (2009)

V dynamických modelech chybí disperzní křivky šíření podél potoků. Program metapop zatím není schopný pracovat s těmito křivkami. Šíření v programu je modelováno plošně. Šíření podél potoků probíhá liniově, proto bude nutná úprava programu, která umožní začlenění křivek šíření podél potoků.

Z výsledných obrázků jasně vyplývá, že invaze pokračuje, i když je šíření semen podceňeno.

Nielsen et al. (2008) modelovala šíření invazního druhu *Heracleum mantegazzianum* a uvádí, že v případech, kdy probíhá šíření na kratší vzdálenosti do vhodných sousedních stanovišť, je dálkové šíření méně důležité.

Nehrbass et al. (2007b) modeloval šíření stejného invazního druhu na území ČR. Při tvorbě modelu byly řešeny otázky, jaký vliv má na invazi bolševníku dálkové šíření a jaký vliv mají na průběh invaze změny ve využívání lokalit. Simulace ukázaly, že jen malý zlomek semen se šíří dálkovým transportem. Dálkové šíření vyjádřené modelem bylo v porovnání s terénními pozorováními nadhodnocené.

Z těchto výsledků lze předpovídat, že role dálkového šíření v invazi šťovíku v Krkonoších nebude tak rozhodující. Invaze nebude zřejmě postupovat tak dramatickým tempem, jaké je vyjádřeno v modelu z 2007. Ten předpovídá, že za 20 let bude obsazenost stanovišť 3 - 4 x vyšší než v roce 2006. To, že průběh invaze bude mírnější je patrné i z pouhého srovnání teoretických a terénních křivek (viz výše). Rozhodující roli ve stále postupující invazi má tedy zřejmě šíření na kratší vzdálenosti, které nelze podceňovat.

Z iniciálního rozšíření šťovíku z roku 2006 lze ale jasně identifikovat zdroje invaze. Informace jsou k dispozici správě KRNAP již od roku 2007 a dodneška nebylo zahájeno organizované likvidování porostů *Rumex alpinus*. Pro veřejnost jsou vydávány letáky s doporučením likvidace invazního druhu (včetně použití chemických postřiků). Nejedná se ale o efektivní postup, který by se soustředil na ohniska invaze.

6 Závěr

Měření anemochorie *Rumex alpinus* bylo prováděno do vzdálenosti 50 m od zdroje semen. Měření prokázalo schopnost semen šířit se na louce na vzdálenost 20 m. Podobné výsledky přinesl i pokus s vypouštěním semen *R. alpinus* na poli, kde se semena šířila do vzdálenosti 26 m.

Prostřednictvím hydrochorie se semena *R. alpinus* šířila až do vzdálenosti 100 m, kde měření končila. Z výsledků je ale patrné, že semena mají potenciál se šířit ještě dál.

Byl zaznamenán zásadní vliv klimatických událostí v podobě bouřek a přívalů vody. i anemochorii i hydrochorii semen na delší vzdálenosti

V porovnání s anemochorním šířením, vychází hydrochorie jako účinnější způsob šíření, který bude v budoucnu hrát důležitou roli při invazi *R. alpinus* v Krkonoších.

Teoretické exponenciální disperzní křivky jsou v porovnání s křivkami získanými z terénních dat nadhodnocené. Teoretické křivky předpovídají šíření na více než 100 m, což se terénními měřeními nepotvrdilo.

U simulací šíření *R. alpinus* s terénními disperzními křivkami bylo podceněno dálkové šíření. Semena v reálu šířila na kratší vzdálenosti, než se původně předpokládalo při tvorbě sítě. Buňky sítě, ve které simulace probíhala, byly moc velké a mezi buňkami se nešířila celá semena.

Výsledky modelování šíření *R. alpinus* s terénními křivkami ale i tak přinesly informaci o tom, že invaze, i při potlačení disperze, neustále postupuje a to díky vegetativnímu množení.

7 Literatura

2002. *SPSS for Windows (Release 11.5.1)*. SPSS, Inc.
- 2004 *Statsoft - Statistica 7*
- 2007 *Microsoft Office Excel*
2009. *ArcGIS 9.3*. Environmental Systems Research Institute, Redlands
- Boedeltje, G., Bakker JP, Bekker RM, et al (2003) Plant dispersal in a lowland stream in relation to occurrence and three specific life-history traits of the species in the species pool. *Journal of Ecology* 91:855–866
- Bucharová, A. (2003) *Rumex alpinus v Krkonoších – rozšíření a management*, Diplomová práce, Katedra botaniky, Univerzita Karlova v Praze
- Bullock, JM, et Clarke, RT.(2000) Long distance seed dispersal by wind: measuring and modelling the tail of the curve. *Oecologia*,
- Bullock JM, Moy IL, Coulson SJ et al (2003) Habitat-specific dispersal: environmental effects on the mechanisms and patterns of seed movement in a grassland herb *Rhinanthus minor*. *Ecography* 26:692–704
- Cain, ML, Milligan, BG, et Strand, AE. (2000) Long-distance seed dispersal in plant populations. *American journal of botany*,
- Cavers, P.B, et Harper, J.L. (1964): *Rumex obtusifolius* L. and *Rumex crispus* L. *Journal of ecology*
- Červenková, Z. (2007) *Invaze druhu Rumex alpinus v Krkonoších na krajinné úrovni*. Diplomová práce, Katedra botaniky, Univerzita Karlova v Praze
- Hadincová, V., Herben, T., Kovářová, M., Krahulec, F. & Pecháčková S. (1997): Změny v produkci jednotlivých druhů Krkonošských luk v průběhu deseti let, *Opera Corconica* 34: 59-77
- Herben, T., Münzbergová, Z., Mildén, M., Ehrlén J., Cousins, S. A. O. et Eriksson, O. (2006) Long-term spatial dynamics of *Succisa pratensis* in a changing rural landscape: linking dynamical modelling with historical maps. *Journal of Ecology* 94 (1): 131-143.
- Higgins, SI, Richardson, DM, et Cowling, RM. (1996) Modeling invasive plant spread: The role of plant-environment interactions and model structure. *Ecology*

- Higgins, SI, Richardson, DM, et Cowling, RM (2000) Using a dynamic landscape model for planning the management of alien plant invasion. *Ecological Application* 10: 1833-1848
- Husáková, J. (1978): The phytocenological comparisons of stands with *Rumex alpinus* L. in the Sudeten and Carpathians. *Acta botanica slovacica acad. sci. slovacae, ser A*,
- Geologická mapa Krkonošského národního parku, (1968): Praha: ÚÚG
- Chaloupský, J. (1989). *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. Praha: Ústř. úst. geol.
- Jeník, J. (1961) Alpínská vegetace Krkonoš, Kralického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Praha: Nakladatelství ČSAV.
- Jongejans, E, et Schippers, P. (1999) Modeling seed dispersal by wind in herbaceous species. *Oikos* 87: 362-372
- Klimeš, L. (1992): The clone architecture of *Rumex alpinus* (Polygonaceae). *Oikos*
- Klimeš L., Klimešová, J. et Osbornová, J. (1993): Regeneration capacity and carbohydrate reserves in a clonal plant *Rumex alpinus*: effect of burial, *Vegetatio* 109: 153-160
- Kolektiv autorů. (2007). *Atlas podnebí Česka..* Praha – Olomouc: ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci
- Krahulec, F, Blažková, D, Balátová-Tuláčková, E, Štursa, J, Pecháčková, S, & Fabšičová, M. (1996): Louky krkonoš: Rostlinná společenstva a jejich dynamika. *Opera corcontica*
- Kubátová, D. (1994): Ekologická studie invazního druhu *Rumex longifolius* v Krkonoších. Diplomová práce, Katedra botaniky, Univerzita Karlova v Praze
- Lokvenc, T. (1978): Toulky krkonošskou minulostí. Hradec Králové: Kruh
- Lonsdale, W. M. (1993). Rates of spread of an invading species *Mimosa pigra* in northern Australia. *Journal of Ecology* 81, 513–521
- Meritt, DM., et Wohl, EE (2002) Processes governing hydrochory along rivers: Hydraulics, hydrology, and dispersal phenology
- Münzbergová, Z., Mildén, M., Ehlén, J. et Herben, T. (2005) Population viability and reintroduction strategies: a spatially explicit landscape-level approach. *Ecological Applications* 15 (4): 1377-1386.
- Münzbergová, Z, Hadincová, V., Wild, J., Herben, T., Marešová, J. (2010) Spatial and temporal variation in dispersal pattern of an invasive pine. *Biol Invasions* 12:2471–2486
- Nathan R, Safriel UN, Noy-Meir I et al (2000) Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. *Ecology* 81:2156–2169

- Nathan, R. (2006) Long-distance dispersal of plants. *Science* 11:786–788
- Nehrbass, N, Winkler, E, et al.(2007a) A simulation model of plant invasion: long-distance dispersal determines the pattern of spread. *Biological invasions*
- Nehrbass, N, Winkler, E, Müllerová, Pergl, J. et al (2007b) A simulation model of plant invasion: long-distance dispersal determines the pattern of spread. *Biol Invasions* 9:383–395
- Nielsen, C., Hartvig, P et Kollman, J.(2008): Predicting the distribution of the invasive alien *Haracleum mantegazzianum* at two different spatial scales. *Diversity and Distribution* 14: 307-317
- Peart, DR. (1989) Species interactions in successional grassland.I. Seed rain and seedling establishment. *Journal of Ecology*, 77, 236–251.
- Pyšek, P.et Sádlo, J. (2004): Zelení cizinci a nové krajiny 1 (Zavlečené rostliny, Sklízíme, co jsme zaseli?). *Vesmír* 83
- Tackenberg, O., Poschlod, P. et Bonn, S. (2003a) Assessment of wind dispersal potential in plant species. *Ecological Monographs* 73: 191-205.
- Tackenberg, O., Poschlod, P. et Kahmen, S. (2003b) Dandelion Seed Dispersal: The Horizontal Wind Speed Does Not Matter for Long-Distance Dispersal – it is Updraft! *Plant biology* 5: 451-454.
- Tremlová, K., Münzbergová, Z. (2007) Importance of species traits for species distribution in fragmented landscapes. *Ecology*, 88(4): 965–977
- Slavík, B. (1986): Fytokartografické syntézy. Průhonice: BÚ ČSAV
- Soons, M.B,Heil, G.W, Nathan,R. & Katul, G.G. (2004): Determinant sof long-distance seed dispersal by wind in grasslands, *Ecology* 85(11): 3056-3068
- Svoboda et kol. (1984): Atlas ČSSR, Praha: Geodetický a kartografický podnik
- Šmarda, J., Šeda, Z., Chládek, F., Kunert, J., & Ondráčková, F. (1963): Druhotná rostlinná společenstva v tatraskomnárodnomparku. Knižnica sborníka prác o tatraskom národnom parku.
- Šomšák,L. et kol.(1997): Velká kniha rostlin, hornin, minerálů a zkamenělin, Bratislava: Příroda, a.s.
- Šourek, J. (1969): Květena Krkonoš. Praha: Academia.
- Šťastná, P., Klimeš, L., Klimešová J. (2009). Biological flora of CentralEurope: *Rumex alpinus*. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*

- Štekl, J. (2008) Časová variabilita rychlosti větru a předpověď výroby větrnými elektrárnami, Konference ČK CIRED
- Vogt, K., Rasran, L. et Jensen, K. (2004) Water-borne seed transport and seed deposition during flooding in a small river-valley in Northern Germany. *Flora* 199: 377–388
- Wagenitz, G. (1981): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Publischer. kap. Polygonaceae.
- Walker, N.F., Hulme, P.E. et Hoelzel, A.R. (2003) Population genetics of invasive species, *Heracleum mantegazzianum*: implications for role of life history, demographics and independent introductions. *Molecular Ecology* 12: 1747–1756
- Wolters, M., Geertsema, J., Chang, E.R., Veeneklaas, R.M., Carey, P.D. et Bakker, J. P. (2004). Astro turf seed traps for studying hydrochory. *Functional Ecology* 18, 141–147.

8 Přílohy

Past č.	Zelený p.		Modrý p		Červený p.	
	rychlost pro past	relativní rych.	rychlost pro past	relativní rych.	rychlost pro past	relativní rych.
1	0,506	1,132	0,186	0,989	0,253	0,902
2	0,479	1,072	0,201	1,069	0,251	0,895
3	0,414	0,926	0,194	1,032	0,275	0,980
4	0,405	0,906	0,182	0,968	0,298	1,062
5	0,534	1,195	0,189	1,005	0,261	0,930
6	0,457	1,023	0,197	1,048	0,241	0,859
7	0,439	0,982	0,188	1,000	0,291	1,037
8	0,398	0,891	0,181	0,963	0,281	1,002
9	0,408	0,913	0,179	0,952	0,318	1,134
10	0,429	0,960	0,183	0,973	0,336	1,198

Tab 1 – Rychlosti pro past naměřené v terénu a relativní rychlosti průtoku vody pro jednotlivé pasti

Mapa 1 - lokality, kde probíhal výzkum

