

**Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Katedra botaniky**

**Charles University in Prague, Faculty of Science
Name of department**

Doktorský studijní program: Botanika
Ph.D. study program: Botany

Autoreferát disertační práce
Summary of the Ph.D. Thesis



**Dynamics of rare and threatened species on local and regional scale – from
theory to practice**

**Dynamika vzácných a ohrožených druhů na místní a regionální prostorové
škále – od teorie k praxi**

Anna Lampei Bucharová

Školitel/Supervisor: Doc. RNDr. Zuzana Münzbergová, Ph.D.

Praha, 2011

CONTENTS

List of Papers/Seznam článků.....	2
Abstrakt	3
Abstract.....	4
ČESKÁ ČÁST	
Úvod	5
Cíle studie	6
Materiál a metodika	7
Výsledky a diskuze	8
Závěr	10
ENGLISH PART	
Introduction	11
Aims of the study.....	13
Material and methods	13
Results and discussion	15
Conclusions	16
References /Citovaná literatura	18
Curriculum vitae	19

LIST OF PAPERS/SEZNAM ČLÁNKŮ

- 1. Population biology of two rare fern species: Long life and long lasting stability**
Anna Bucharová, Zuzana Münzbergová, Přemysl Tájek
American Journal of Botany (2010) 97 (8): 1260-1271
- 2. Limitation of distribution of two rare ferns in fragmented landscape**
Přemysl Tájek, Anna Bucharová, Zuzana Münzbergová
Accepted in Acta Oecologica
- 3. Gene flow among populations of two rare co-occurring fern species differing in ploidy level**
Anna Bucharová, Zuzana Münzbergová
Manuscript
- 4. Effect of land use and climate change on future fate of populations of an endemic species of Central Europe**
Anna Bucharová, Jiří Brabec, Zuzana Münzbergová
Manuscript

ABSTRAKT

Ke správnému zhodnocení stavu vzácných druhů je nutné nejprve porozumět faktorům které ovlivňují velikost populací a jejich počet. V této práci jsem studovala procesy působící na úrovni populací jednotlivých druhů (článek 1), faktory ovlivňující rozšíření druhů v krajině a schopnost obsazení nových stanovišť (článek 2) a vlastnosti druhů zodpovědné za genový tok mezi existujícími populacemi (článek 3). Jelikož pracuji se vzácnými druhy, soustředila jsem se také na převedení vědeckých teoretických poznatků do praxe ochrany přírody (článek 4), abych tak napomohla efektivní druhové ochraně.

V prvních 3 článcích jsem pracovala se 2 vzácnými druhy kapradin vázanými striktně na hadcové skalky, *Asplenium adulterinum* a *A. cuneifolium*, v modelovém území o velikosti 10 × 10 km. Zjistila jsem, že oba druhy jsou dlouhověké (několik desítek let) a ve studovaném regionu jsou populace v dobrém stavu a mírně rostou. Dokonce velmi malé populace (ca 10 jedinců) mají relativně dobrou šanci přežít (článek 1). U obou druhů jsem zjistila, že jsou ve svém rozšíření omezeny schopností šíření, což může být u kapradin překvapivé (článek 2). Studované druhy se liší ploidní úrovní a tudíž také systémem reprodukce. *A. adulterinum* je allotetraploid jeho hlavním systémem reprodukce je vnitrogametofytické samooplození. *A. cuneifolium* je diploid a preferuje mezigametofytické oplození (článek 3). Systém reprodukce ovlivňuje schopnost kolonizovat nová stanoviště – vnitrogametofytické samooplození je výhodné pro kolonizační schopnost, protože umožňuje kolonizaci jednou sporou (článek 2). Výsledkem je rychlejší metapopulační dynamika samooplozujícího druhu *A. adulterinum*. U *A. cuneifolium*, u kterého převažuje mezigametofytické oplození, je efektivnější genový tok mezi existujícími populacemi.

Oba druhy kapradin jsou vzácné, ale nejsou ohrožené v rámci studovaného území, proto nebylo třeba převádět teoretické vědecké poznatky do praxe ochrany přírody. To jsem provedla na jiném druhu, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, endemickém druhu polopřirozených trávníků střední Evropy. Počet a početnost populací tohoto druhu již delší dobu rychle klesá vlivem změn obhospodařování krajiny. Obhospodařování polopřirozených trávníků je pro přežití tohoto druhu naprosto klíčové. Dokonce i velmi malé populace (10 kvetoucích jedinců) jsou schopné přežít. Klimatické změny (simulované jako zvyšující se frekvence extrémně suchých let) budou mít relativně malý vliv na přežití populací. Na druhou stranu, neobhospodařované populace nejsou schopné z dlouhodobého hlediska přežít. Téměř vymřelé populace je možné obnovit ze semenné banky zavedením managementu. Výsledky studie byly začleněny do záchranného plánu pro tento druh v České Republice.

ABSTRACT

To assess the status of a rare plant species, we must first understand the factors that affect the size of populations and their numbers. In this thesis, I study processes affecting plant species prosperity on local scale (paper 1), factors influencing species distribution in landscape and ability of species to colonize new habitats (paper 2) and species traits responsible for gene flow between established populations (paper 3). Since I work with rare plants, I also aim to turn theoretical knowledge into practical recommendations for nature conservation (paper 4) to help effectively preserve rare and endangered species.

In the first 3 papers, I work with two rare fern species restricted to serpentine rocks, *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*, in a study system covering 10 × 10 km. I found that both species are long living (several decades) and in the study region, populations are in a good state and slowly growing. Even very small populations (10 individuals) have quite high chance to survive. In both fern species, I found dispersal limitation, which might be surprising regarding huge production of small spores in ferns (paper 2). The species differ in ploidy and thus, also mating system. *A. adulterinum* is tetraploid and its main breeding system is intragametophytic selfing. *A. cuneifolium* is diploid and is mainly outcrossing (paper 3). The breeding system has vast influence on colonization ability – the selfing species is better colonist of empty habitats, since it is able of single spore colonization (paper 2), resulting into faster metapopulation dynamics in this species. In the outcrossing species, there is more effective gene flow between already established populations (paper 3).

The two fern species are rare, but since they are not endangered within the study region, there was no need to transfer theoretical knowledge to the conservation practice. This I performed on another species, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, endemic species of Central European seminatural grasslands with rapidly declining number of populations due to the management change. I carried out population viability analysis using matrix model. I found that management of seminatural grasslands is of crucial importance for survival of this species. If management is performed, even small populations (10 individuals) of this species are able to survive. Climate change (simulated as increased frequency of dry years) will have small impact on the populations. However, unmanaged populations are not able to survive in long-term period (several decades). Extremely small populations may be recovered from the seed bank by management induction (paper 4). Results of the study were implemented into recently prepared action plan for this species in the Czech Republic.

ČESKÁ ČÁST

Úvod

Abychom pochopili proč jsou druhy vzácné, musíme nejprve porozumět faktorům, které ovlivňují velikost populací druhů a jejich počet. Většina druhů rostlin je na nějaké prostorové škále fragmentárně rozšířena (Schemske et al., 1994). Fragmentace populací je nadále zhoršována vlivem člověka, zejména díky destrukci biotopů. Abychom ohodnotili stav vzácného rostlinného druhu, potřebujeme ekologickou a evoluční informaci na více než jedné prostorové škále.

Populační dynamika na lokální úrovni

Na lokální úrovni je důležité, zda počet jedinců v populaci roste nebo klesá a jak se tyto procesy mění v čase. Užitečné informace o stavu populace je možné získat sebráním detailních informací o všech fázích životního cyklu rostliny a nakalibrovat model životního cyklu. Nejpoužívanějším typem modelů je projekční maticový model (Caswell, 2001). Byl použit ve výzkumu mnoha vzácných druhů cévnatých rostlin (Pino et al., 2007, Garcia, 2003, Garcia et al., 2008, Griffith and Forseth, 2005, Jongejans et al., 2008). Dokonce byl použit i pro mechorosty (Okland, 1995). Je překvapivé, že tento přístup nebyl nikdy použit pro kapradiny nebo plavuně. Jelikož je mnoho kapradin vzácných a jsou ve středu zájmu ochrany přírody (web1), znalosti o populační dynamice kapradin jsou velmi potřebné.

Populační dynamika na krajinné úrovni

U mnoha druhů rostlin mohou být faktory ovlivňující počet populací v rámci krajiny stejně důležité pro přežití druhu jako vnitropopulační dynamika. Dynamika takovéto „populace populací“ je popsána klasickým metapopulačním modelem, který vyvinul Ilkka Hanski (e.g. Hanski, 1991, Hanski, 1994). Jelikož hovoříme o vzácných rostlinách, nabízejí se následující otázky: Proč je druh vzácný? Co omezuje jeho rozšíření? Z pohledu metapopulační teorie jsou pro rozšíření druhu v podstatě 2 limitující faktory, které se mohou kombinovat: 1. druh nemá dostatek vhodných stanovišť, 2. je zde dostatek stanovišť, ale druh se na ně není schopný rozšířit – je omezen schopností šíření (Münzbergová and Herben, 2005). Mnoho prací studovalo typy omezení rozšíření u různých rostlinných druhů a dospěly k závěru, že velká

většina rostlin je omezena obojím – nedostatkem vhodných stanovišť i schopností se na vhodná stanoviště rozšířit (přehled v Turnbull et al., 2000, Clark et al., 2007, Moles and Westoby, 2002). Problematická zůstává definice vhodného neobsazeného stanoviště. Existence vhodných neobsazených stanovišť ukazuje, že druh je do nějaké míry omezen schopností šíření.

U kapradin lze očekávat, že schopnost šíření je ovlivněna rozmnožovacím systémem, protože k oplození dochází až po rozšíření spor. U druhů neschopných vnitrogametofytického oplození to znamená, že na nové stanoviště musí do těsné vzájemné blízkosti dopadnout 2 spory, obě se musí vyvinout v gametofyt a teprve potom může dojít k oplození. Na druhou stranu, pokud je druh schopen vnitrogametofytického oplození, jedna spora, která se vyvine v gametofyt stačí, aby vznikl sporofyt a tudíž nová populace.

Naprosto jiné procesy ovlivňují genový tok mezi populacemi kapradin. Zatímco schopnost samooplození umožňuje kolonizaci nových stanovišť, křížení mezi gametofyty je výhodnější pro genový tok mezi existujícími populacemi, protože umožňuje zahrnutí nové genetické informace do genového poolu dané populace. Obvyklým přístupem ke studiu genového toku mezi populacemi je analýza genetické struktury populací. Tento přístup však nemůže rozlišit mezi genovým tokem a kolonizační schopností, k tomu jsou potřeba další informace.

Aplikace do praxe

Pokud máme dostatek informací o vzácném duhu a druh je skutečně ohrožen, společnost může požadovat převedení vědeckých poznatků do praxe. Proces odhadu životaschopnosti populací druhu a analýza rizik byl pojmenován analýza životaschopnosti populací, „Population viability analysis“ (Gilpin and Soulé, 1986). Praktická ochrana přírody požaduje ohodnocení stavu populací a pravděpodobnost jejich přežití/vymření, protože praktické rozhodování musí být podpořeno objektivní informací. Pravděpodobnost vymření, zejména odlišné scénáře za různých podmínek (např. plánování managementu) mohou mít vysokou praktickou hodnotu.

CÍLE STUDIE

V této studii jsem se zaměřila na lokální a regionální dynamiku populací dvou vzácných kapradin, *Asplenium adulterinum* a *A. cuneifolium*. U těchto druhů jsem zkoumala lokální (článek 1) a regionální dynamiku (článek 2), spolu genetickou diverzitou populací (článek 3).

Jelikož jsem zjistila že tyto druhy jsou sice vzácné, ale nejsou ohrožené, nebylo třeba poznatky převádět do praxe. To jsem provedla na jiném modelovém druhu, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, kde jsem se zaměřila na pravděpodobnost přežití malých populací pod vlivem různého managementu (článek 4).

MATERIÁL A METODIKA

Modelový systém pro A. adulterinum a A. cuneifolium (článek 1,2,3)

Studované druhy

Studovala jsem 2 druhy kapradin, *Asplenium adulterinum* Milde a *Asplenium cuneifolium* Viv. (Aspleniaceae), oba se vyskytují pouze na hadcích v Evropě (Tutin et al., 1980). V České republice se druhy vyskytují zejména v západních Čechách, v oblasti Slavkovského lesa.

Oba druhy jsou vzácné a ve středu zájmu ochrany přírody v celé Evropě (Tutin et al., 1980). *A. adulterinum* je dokonce zájmovým druhem NATURA 2000 (web1). Druhy se liší ploidii – *A. adulterinum* je allotetraploid (domnělí rodiče *A. viride* L. a *A. trichomanes* Huds. subsp. *Trichomanes*; Lovis, 1955), zatímco *A. cuneifolium* je diploid (Hejný and Slavík, 1980).

Studované území

Studii jsem provedla v oblasti Slavkovského lesa v Západních Čechách, Česká Republika. V této oblasti jsou hadcové skalky relativně hojné a jsou roztroušené v krajině, kde převládají smrkové a borové lesy a intenzivně obhospodařované louky. Oba druhy, *A. adulterinum* a *A. cuneifolium* jsou v oblasti relativně hojné, *A. adulterinum* je hojnější než *A. cuneifolium*.

Sběr a analýza dat

Lokální populační dynamika kapradin (článek 1)

Demografická data byla sebrána během 4 let (2004-2007) v 6 populacích *A. adulterinum* a v 4 populacích *A. cuneifolium*. Použili jsme projekční maticový model a zjistili jsme stochastickou populační růstovou rychlost, určili kritické fáze životního cyklu a další charakteristiky populací.

Regionální dynamika kapradin – obsazenost stanovišť (článek 2)

Na základě biotických a abiotických charakteristik hadcových skalek jsme identifikovali vhodná neobsazená stanoviště druhu v rámci modelového území. Poté jsme testovali, zda obsazenost vhodných stanovišť závisí na izolovanosti stanoviště od ostatních stanovišť.

Regionální dynamika kapradin – genetická struktura populací (článek 3)

Pomocí isoenzymů jsme analyzovali genetickou strukturu populací obou druhů v rámci modelového území.

*Analýza životaschopnosti populací *Gentianella praecox subsp. bohemica* (článek 4)*

Demografická data jsme sbírali 8 let na 4 lokalitách. Použili jsme periodický maticový model a spočítali jsme pravděpodobnosti extinkce malých populací za různých managementových podmínek – absence managementu, pouze kosení a kosení a narušení drnu (jako simulace bránování). Dále jsme studovali vliv klimatických změn (simulované jako zvýšená pravděpodobnost výskytu extrémně suchých let) a pravděpodobnost znovuoobnovení populace ze semenné banky.

VÝSLEDKY A DISKUZE

*Lokální populační dynamika *Asplenium adulterinum* a *A. cuneifolium* (článek 1)*

Všechny studované populace mírně rostou. Stabilní velikostní složení založené na stochastických simulacích odpovídá aktuálnímu velikostnímu složení, dynamika populací je tudíž dlouhodobě stabilní. Kritickou fází životního cyklu je přežívání velkých dospělých rostlin. Reprodukce je pro dynamiku populací méně důležitá. Pravděpodobnost extinkce malých populací je relativně nízká. Průměrný věk rostlin obou druhů je 30-50 let. Při porovnání predikcí s reálnými daty o počtu jedinců v populacích model úspěšně předpověděl velikost populací za 10 let. *A. adulterinum* a *A. cuneifolium* jsou vzácné, ale ne ohrožené v rámci studovaného regionu.

*Regionální dynamika Asplenium adulterinum a A. cuneifolium – obsazenost stanovišť
(článek 2)*

Vhodná stanoviště pro oba druhy jsou definována zejména přítomností vhodných mikrostanovišť a výškou nejvyšší skalky, která reprezentuje velikost prostoru se sníženou konkurencí ostatních druhů. Další faktory určující vhodnost stanoviště se lišily mezi druhy. Ani jeden ze studovaných druhů nerostl na všech vhodných lokalitách, což indikuje omezenou schopnost šíření. Izolovanost stanoviště významně ovlivňovala obsazenost stanovišť *A. adulterinum*, ale ne *A. cuneifolium*. *A. adulterinum* roste na větším podílu vhodných stanovišť než *A. cuneifolium*, což naznačuje že *A. adulterinum* je schopno lépe kolonizovat nová stanoviště.

*Regionální dynamika Asplenium adulterinum a A. cuneifolium – genetická struktura populací
(článek 3)*

U *A. adulterinum* je genetická diverzita soustředěna spíše mezi populace než v rámci populací, u *A. cuneifolium* je tomu přesně opačně. To potvrzuje, že u *A. adulterinum* převažuje gametofytické samoopylení a u *A. cuneifolium* oplození z jiného gametofytu. U *A. adulterinum* byla nalezena korelace mezi genetickou a geografickou vzdáleností, ale u *A. cuneifolium* ne. To ukazuje na značný genetický tok mezi populacemi *A. cuneifolium* v rámci regionu. Schopnost kolonizace nových stanovišť (lepší *A. adulterinum*) a genový tok mezi existujícími populacemi (lepší u *A. cuneifolium*) jsou ovlivněny systémem reprodukce, ale v opačném směru.

Analýza životaschopnosti populace Gentianella praecox subsp. bohemica (článek 4)

Populace taxonu nejsou schopny přežít bez obhospodařování. Kvetoucí jedinci se mohou objevovat relativně dlouhou dobu po upuštění od managementu původně obhospodařovaných lokalit, ale extinkce je v dlouhodobém horizontu nevyhnutelná. Bez managementu vyhynou do 50ti let i velmi velké populace (1000 kvetoucích jedinců). K úplnému vymření (včetně semenné banky) dojde za několik let poté, co se přestanou objevovat kvetoucí jedinci. Nejvhodnější management je kosení a narušení drnu (simulace bránování), tento management je také nejlepší pro obnovu populací ze semenné banky. Pouhé kosení je méně vhodné, ale pro udržení velkých prosperujících populací je dostatečné. Dokonce i velmi malé populace (10-15 kvetoucích jedinců) jsou schopné přežít, pokud jsou obhospodařované. Budoucí klimatické změny budou mít spíše malý dopad na pravděpodobnost přežití druhu, pokud budou jeho

populace soustavně obhospodařované. U malých populací klimatická změna zvýší riziko vymření.

ZÁVĚR

V této práci jsem zkoumala populační dynamiku v rámci populací a na úrovni krajiny (10 × 10 km) dvou druhů vzácných kapradin vázaných na hadcový substrát, *Asplenium adulterinum* a *A. cuneifolium*. Dále jsem převedla teoretické vědecké poznatky do praktických doporučení pro ochranu přírody.

Oběma studovaným druhům kapradin se ve studovaném území daří dobře. Všechny studované populace mírně rostou a i poměrně malé populace (10 jedinců) mají relativně vysokou šanci přežít. Populační dynamika obou druhů je stabilní a druhy jsou dlouhověké – několik desítek let. Na krajinné úrovni je rozšíření obou druhů limitováno spíše schopností šíření a uchycení, než dostupností vhodných stanovišť. *A. adulterinum* má lepší schopnosti kolonizace nových stanovišť než *A. cuneifolium*, protože roste na větším podílu vhodných stanovišť. To je v souladu s naším očekáváním, protože u *A. adulterinum* převládá gametofytické samooplození a je tudíž schopné kolonizace jednou sporou. To může být problematické u *A. cuneifolium*, u kterého převládá oplození mezi gametofyty. Na druhou stranu, genový tok mezi existujícími populacemi je vyšší u *A. cuneifolium* než u samoolozujícího *A. adulterinum*, protože oplození mezi gametofyty umožňuje výměnu genů. To ukazuje, že kolonizace nových stanovišť a genový tok mezi existujícími populacemi závisí na rozmnožovacím systému, ale v opačném směru.

Oba druhy kapradin jsou vzácné, ale nejsou ohrožené v rámci studovaného území, proto nebylo třeba převádět teoretické vědecké poznatky do praxe ochrany přírody. To jsem provedla na jiném druhu, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, endemickém druhu polopřirozených trávníků střední Evropy. Počet a početnost populací tohoto druhu rychle klesá vlivem změn obhospodařování krajiny. Zjistila jsem, že obhospodařování polopřirozených trávníků je pro přežití tohoto druhu naprosto klíčové. Pokud jsou trávníky obhospodařovány, dokonce i velmi malé populace (10 kvetoucích jedinců) jsou schopné přežít, klimatické změny (simulované jako zvyšující se frekvence extrémně suchých let) budou mít relativně malý vliv na přežití populací. Na druhou stranu, neobhospodařované populace nejsou schopné z dlouhodobého hlediska přežít. Téměř vymřelé populace je možné obnovit ze semenné banky zavedením managementu. Výsledky studie byly začleněny do záchranného plánu pro tento druh v České Republice.

ENGLISH PART

INTRODUCTION

To assess the status of a rare plant species, we must first understand the factors that affect the size of populations and their numbers. At some spatial scale, most plant species are patchily distributed due to their sedentary lifestyle and the spatial heterogeneity of the environment (Schemske et al., 1994). Patchy distributions have been further exaggerated by the activities of humans through habitat destruction and fragmentation. Therefore, assessment of status of a rare plant species requires ecological and evolutionary information on more than one spatial scale.

Population dynamics on local scale

On the local scale, important information on population status is if the number of individuals in a population is increasing or decreasing and how are these processes changing over time. Useful insight into the population dynamics can be obtained only by collecting detailed information on all phases of the life cycle of a plant and integrating them in models of the whole life cycle of the species. The most commonly used type of models are projection matrix models (Caswell, 2001). It was employed in research of population dynamics of wide selection of rare vascular plants (Pino et al., 2007, Garcia, 2003, Garcia et al., 2008, Griffith and Forseth, 2005, Jongejans et al., 2008). It was also even used for bryophytes (Okland, 1995). Surprisingly, this approach was never used for ferns or lycophytes. Since many ferns are subject of interest of nature conservation (web1), detailed information on population dynamics of ferns is strongly needed.

Population dynamics on landscape scale

In many plants, the factors influencing the number of populations on the regional scale may be as important for determining its fate as within-population dynamics. Dynamics of such “population of populations” is described by classical metapopulation model developed by Ilkka Hanski e.g. (Hanski, 1991, Hanski, 1994). Since we are talking about rare plants, a question arises: Why is this species rare? What is limiting its distribution? In the light of metapopulation concept, there are basically 2 limiting factors, which may combine: 1. species

has not enough habitats, 2. there is enough habitats, but the species is not able to colonize them – it is dispersal limited (Munzbergova and Herben, 2005). Different types of distribution limitations for plant species in various systems were studied by many recent studies and they concluded that large majority of plant species is limited by both seed availability and/or dispersal ability and by availability of suitable habitats (reviewed in Turnbull et al., 2000, Clark et al., 2007, Moles and Westoby, 2002). Problematic issue is the definition of suitable but unoccupied habitats. Existence of suitable unoccupied habitats implies that the species is dispersal limited to some degree.

In ferns, dispersal abilities can be expected to be affected by breeding system, since fertilization is post dispersal process. For strictly outcrossing species, post dispersal fertilization means that on a new habitat, two spores have to fall in close proximity in favorable conditions; gametophyte has to develop from both of them with archegonia/anteridia and only then fertilization can occur. On the other hand, if the species is able of an intragametophytic selfing, one spore which develops in a hermaphroditic gametophyte is enough to establish a new population.

Totally different processes, however, influence gene flow among already established populations of fern species. While selfing should facilitate colonization of new habitats, outcrossing is more advantageous for enhancing gene flow between already established populations as it facilitates implementation of new genetic information into gene pool of the given population. Common approach to investigate gene flow between populations is to analyze genetic structure of populations. It alone, however, cannot differentiate gene flow among existing populations and colonization potential. For this, additional information is necessary.

Practical applications

When there is already enough information on species status and the species is really threatened or endangered, there may be a social request on turning scientific knowledge to practice. Process of assessing population viability and risks for the species existence was named “population viability analysis” (Gilpin and Soulé, 1986). Practical conservation and policy require evaluation state of the populations and probability of their survival/extinction, because the decision making needs to be supported by objective information. Thus, probability of extinction, especially under different conditions (e.g. case of management planning) is of a great value.

AIMS OF THE STUDY

In this study, I focused on local and regional dynamics of two rare ferns, *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*. In these species, I assessed local (paper 1) and regional dynamics (paper 2), together with genetic diversity of its populations (paper 3). Since we found these species naturally rare, but not threatened, there was no need to transfer our knowledge to practice. This I did with other species, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, where I aimed on probability of population survival under different management regimes (paper 4).

MATERIAL AND METHODS

Study system for A. adulterinum and A. cuneifolium (Paper 1,2,3)

Study species

I study two fern species, *Asplenium adulterinum* Milde and *Asplenium cuneifolium* Viv. (Aspleniaceae), both restricted to serpentine substrates in Europe (Tutin et al., 1980). In the Czech Republic, the species occur mainly in western Bohemia (in the region of Slavkovský les).

Both species are rare and of conservation concern throughout Europe (Tutin et al., 1980). *A. adulterinum* is also a species of interest in the European ecological network Natura 2000 (web1). The species differ in ploidy levels — *Asplenium adulterinum* is an allotetraploid (hypothesized parental species are *A. viride* L. and *A. trichomanes* Huds. subsp. *trichomanes*; Lovis, 1955) whereas *A. cuneifolium* is a diploid (Hejný and Slavík, 1980).

Study site description

We conducted the study in the region of Slavkovský les, Western Bohemia, Czech Republic. In this region, serpentine rocks are scattered in the landscape dominated by pine and spruce forests and mown grasslands. Both *A. adulterinum* and *A. cuneifolium* are quite common in the area, *Asplenium adulterinum* is more frequent than *A. cuneifolium*.

Study system for Gentianella praecox subsp. bohemica (Paper 4)

Gentianella praecox subsp. *bohemica* is a small, strictly biennial plant. It used to commonly grow on wet pastures and meadows in Central Europe. With increasing intensification of agriculture, extensive pastures were often either abandoned, or changed into (sometimes) mown meadows. It led to considerable decrease of number populations of *Gentianella* in its

whole distribution range. Nowadays, the species has in total approximately 110 populations of the size from several individuals to several thousands. However, sizes of individual populations highly vary from year to year. The plant is currently of great interest of nature conservation (web1) and recently, action plan for restoration of this plant have been developed in the Czech Republic.

Data collection and analysis

Local dynamics of ferns (Paper 1)

Demographic data were collected within 4 years (2004-2007) at 6 localities of *A. adulterinum* and 4 localities *A. cuneifolium*. We employed population matrix models to assess stochastic population growth rate, determining critical phases of the life cycle, estimate mean life span and other characteristics of the populations.

Regional dynamics of ferns – habitat occupancy (Paper 2)

We identified suitable unoccupied habitats based on various biotic and abiotic characteristics of serpentine rocks within the study region. Then we tested, if locality occupancy by given species is dependent on isolation of the locality from other localities.

Regional dynamics of ferns – genetic structure (Paper 3)

We analyzed genetic structure of populations of both species within the study region using isoenzymes.

*Population viability analysis of *Gentianella praecox* subsp. *bohemica* (Paper 4)*

We collected demographic data over 8 years at 4 localities. We employed periodic matrix model to calculate extinction probabilities of small population under different management regimes – no management, mowing only and mowing plus disturbance (simulation of disturbance by harrow). Further, we studied impact of the future climatic change (as increased probability of extremely dry years) and probability of restoration of almost extinct population from a seed bank.

RESULTS AND DISCUSSION

Local dynamics of Asplenium adulerinum and A. cuneifolium (Paper 1)

All populations of both species are growing. Stable stage distribution based on stochastic simulation corresponds to the current stage distribution, population dynamics is thus stable. The most critical phase of the life cycle is stasis of large adult plants. Reproduction is of low importance. Extinction probability of small populations is low. Mean life span of individuals of both species is 30-50 of years. When compared with real data, the model successfully predicted population performance over 10 years. *A. adulerinum* and *A. cuneifolium* are rare, but they are not endangered within the study region.

Regional dynamics of ferns Asplenium adulerinum and A. cuneifolium – habitat occupancy (Paper 2)

Suitable habitats were positively defined mainly by the presence of appropriate microhabitats and the height of the highest rock, which represents the size of space with lowered competition. Other determinants of habitat suitability differed between the species. None of the species occupied all suitable localities, indicating dispersal limitation. Locality isolation significantly affected habitat occupancy in *A. adulerinum* but not in *A. cuneifolium*. *A. adulerinum* occupied higher percentage of suitable habitats than *A. cuneifolium*, suggesting that *A. adulerinum* is better colonist of empty habitats.

Regional dynamics of ferns Asplenium adulerinum and A. cuneifolium – genetic structure (Paper 3)

In *A. adulerinum*, genetic diversity is partitioned among populations rather than within populations, in *A. cuneifolium* other way around. It confirms, that in *A. adulerinum* prevails gametophytic selfing and in *A. cuneifolium* outcrossing. In *A. adulerinum*, there was correlation of geographic and genetic distance observed, in *A. cuneifolium* was no such a relationship detected. It suggests extensive gene flow among populations of *A. cuneifolium* on the landscape scale. Ability of colonization of new habitats (better in *A. adulerinum*) and gene flow between established populations (better in *A. cuneifolium*) are both driven by mating system, but in opposite directions.

Population viability analysis of Gentianella praecox subsp. bohémica (Paper 4)

Populations of the species without management are not able to survive. Flowering individuals can occur for long time after management cessation, but the extinction of the population is

inevitable in several decades. Even very large populations (1000 flowering individuals) will go extinct within less than 50 years without management. Total extinction (including seed bank) follows several years after last flowering plant have been observed. The most suitable management is mowing and disturbance (by harrow), which is also the best one for restoration of populations in bad state. Mowing is less suitable, but it is fully sufficient for large prospering populations. Even small populations (10-15 flowering individuals) are able to survive, when managed. Future climate change may have rather small impact on probability of survival of the species, when management is continuously applied. It will, however, increase the extinction probability of very small populations.

CONCLUSIONS

In this thesis I investigated population dynamics on local and regional scale (area 10x10 km) in two rare fern species restricted to serpentine rocks, *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*. Further, I attempted to transfer the theoretical knowledge to nature conservation to practice.

The two fern species are well prospering in the study region. All study populations are slowly growing and even very small populations (10 individuals) have quite high chance to survive. The dynamics of the populations is stable in both species and the species are long living – several decades. On the regional scale, distribution of both species is rather limited by dispersal and establishment abilities of the species than by availability of suitable habitats. *A. adulterinum* has better colonization abilities of new habitats than *A. cuneifolium*, since it occupies higher percentage of available suitable habitats. It is in concordance with expectations, since *A. adulterinum* is species with predominant intragametophytic selfing and thus, it is able of single spore colonization, which may be problematic in outcrossing *A. cuneifolium*. On the other hand, gene flow between already established populations is higher in outcrossing *A. cuneifolium* than in selfing *A. adulterinum*, since outcrossing facilitates gene exchange. It illustrates that colonization of new habitats and gene flow between already established populations both depend on breeding system but in opposite direction.

The two fern species are rare, but since they are not endangered within the study region, there was no need to transfer theoretical knowledge to the conservation practice. This I performed on another species, *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*, endemic species of Central European seminatural grasslands with rapidly declining number of populations due to

management change. I found that management of seminatural grasslands is of crucial importance for survival of this species. If management is performed, even small populations (10 individuals) of this species are able to survive, climate change (simulated as increased frequency of dry years) will have small impact on populations. However, unmanaged populations are not able to survive in long-term (several decades). Almost extinct populations may be recovered from the seed bank by management induction. Results of the study were implemented into the recently prepared action plan for this species in the Czech Republic.

REFERENCES /CITOVANÁ LITERATURA

- Caswell H. 2001.** *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation*, Massachusetts, Sinauer Associates, Sunderland.
- Clark CJ, Poulsen JR, Levey DJ, Osenberg CW. 2007.** Are plant populations seed limited? A critique and meta-analysis of seed addition experiments. *American Naturalist*, **170**: 128-142.
- Garcia MB. 2003.** Demographic viability of a relict population of the critically endangered plant *Borderea chouardii*. *Conservation Biology*, **17**: 1672-1680.
- Garcia MB, Pico FX, Ehrlen J. 2008.** Life span correlates with population dynamics in perennial herbaceous plants. *American Journal of Botany*, **95**: 258-262.
- Gilpin ME, Soulé ME. 1986.** Minimum viable populations: processes of species extinction. In: Soulé ME ed. *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sunderland, Sinauer Associates.
- Griffith AB, Forseth IN. 2005.** Population matrix models of *Aeschynomene virginica*, a rare annual plant: Implications for conservation. *Ecological Applications*, **15**: 222-233.
- Hanski I. 1991.** Single-Species Metapopulation Dynamics - Concepts, Models and Observations. *Biological Journal of the Linnean Society*, **42**: 17-38.
- Hanski I. 1994.** A Practical Model of Metapopulation Dynamics. *Journal of Animal Ecology*, **63**: 151-162.
- Hejný S, Slavík H. 1980.** Flora of Czech Republic (Květena České Republiky). Praha, Academia.
- Jongejans E, de Vere N, de Kroon H. 2008.** Demographic vulnerability of the clonal and endangered meadow thistle. *Plant Ecology*, **198**: 225-240.
- Moles AT, Westoby M. 2002.** Seed addition experiments are more likely to increase recruitment in larger-seeded species. *Oikos*, **99**: 241-248.
- Münzbergová Z, Herben T. 2005.** Seed, dispersal, microsite, habitat and recruitment limitation: identification of terms and concepts in studies of limitations. *Oecologia*, **145**: 1-8.
- Okland RH. 1995.** Population Biology of the Clonal Moss *Hylocomium Splendens* in Norwegian Boreal Spruce Forests .1. Demography. *Journal of Ecology*, **83**: 697-712.
- Pino J, Pico FX, De Roa E. 2007.** Population dynamics of the rare plant *Kosteletzkya pentacarpos* (Malvaceae): a nine-year study. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **153**: 455-462.
- Schemske DW, Husband BC, Ruckelshaus MH, Goodwillie C, Parker IM, Bishop JG. 1994.** Evaluating Approaches to the Conservation of Rare and Endangered Plants. *Ecology*, **75**: 584-606.
- Turnbull LA, Crawley MJ, Rees M. 2000.** Are plant populations seed-limited? A review of seed sowing experiments. *Oikos*, **88**: 225-238.
- Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Valentine DH, Walters SM, Webb DA. 1980.** Flora Europaea. Cambridge University Press.
- web1.** ec.europa.eu/environment/nature/natura2000.

CURICULUM VITAE

Anna Lampei Bucharová, publications under name **Anna Bucharová**
born 13.12.1978 in Prague
contact: bucharka@email.cz

Education:

since 2003: Ph.D. study: Department of Botany, Faculty of Sciences, Charles University, Prague, topics: Dynamics of rare and threatened species on local and regional scale – from theory to practice; supervisor Doc. RNDr. Zuzana Münzbergová, Ph.D.

2003: Master degree in botany, thesis „*Rumex alpinus* L. in Krkonoše Mts. – distribution and management of an invasive plant“; supervisor RNDr. František Krahulec, CSc.

Employment

Since 2008 – researcher, Institute of Botany ASCR

2004 – 2009 – botanist, Municipal museum Mariánské Lázně

2000-2005 – independent work for the project NATURA 2000

Grants

2009-2010 – EEA and Norway grants – Preparation of an action plan for *Gentianella praecox* subsp. *bohemica*. Applicant – Anna Bucharová.

2009-2010 – EEA and Norway grants - Realization of a part of an action plan for *Gentiana verna* subsp. *verna*. Applicant – Zuzana Münzbergová; Anna Bucharová team member, project manager.

2005 – FRVŠ - Population biology and metapopulation dynamics of two rare ferns: *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*. Applicant – Anna Bucharová

2006 -2007– GAUK - Population biology and metapopulation dynamics of two rare ferns: *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*. Applicant – Anna Bucharová

Conferences (international)

2010:

Gesellschaft für Oecologie: Plant Population Biology: Crossing Borders, Nijmegen 13-15 May 2010. Oral presentation: Limitation of distribution of two rare ferns in fragmented landscape.

2008:

Gesellschaft für Oecologie, Luxembourg, May 2008: Oral presentation: Population biology of rare ferns – long life and long-lasting stability.

Neobiota: Towards a Synthesis, Prague, September 2008: Poster: Introduction history and biological species traits as determinants of naturalization success of North America woody plant species in Europe.

2007:

Gesellschaft für Oecologie, Basel. Poster: Population biology of rare ferns: *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*.

2005:

Gesellschaft für Oecologie, Potsdam, Germany. Poster: Population biology and metapopulation dynamics of two rare ferns: *Asplenium adulterinum* and *A. cuneifolium*.

2003:

Geocological problems of Krkonoše Mts., Sklarska Poreba, Poland. Oral presentation: Management of invasive plant *Rumex alpinus* L.

Publications:

Tájek P., Bucharová A., Münzbergová Z. (in press): Limitation of distribution of two rare ferns in fragmented landscape. *Acta Oecologica*.

Bucharová A., Münzbergová Z., Tájek P. (2010): Population biology of two rare fern species: long life and long-lasting stability. *American Journal of Botany* 97: 1260-1271

Bucharová A. et van Kleunen M. (2009): Introduction history and species characteristics partly explain naturalization success of North American woody species in Europe. *Journal of Ecology* 97 (2): 230-238

Münzbergová Z., Křivánek M., Bucharová A., Juklíčková V. & Herben T. (2005): Ramet performance in two tussock plants - do the tussock-level parameters matter? – *Flora*, pp 275-284.

Many publications in local nature conservation magazines.

Unpublished materials:

Bucharová A. (2003): *Rumex alpinus* L. in Krkonoše Mts. – distribution and management of an invasive plant. Master thesis. Ms. dep in. Library of the Department of Botany, Charles University, Prague. (in Czech)

Various materials for nature conservation: surveys of many nature reserves, methods of preservation of *Asplenium adulterinum* etc.

Research visits abroad:

March – August 2008 (6 months) – Institute of Plant Sciences, University of Bern, Switzerland, co-operation with Mark van Kleunen and Markus Fisher on invasive plants.

Others:

2004-2009: head of the editorial office of a regional magazine “Arnika – nature and history of Karlovy Vary region” (in Czech)

2004-2009: member of the editorial office of regional magazine “Český Les” (in Czech)