

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Porovnání diversity malakofauny přírodní rezervace U Nového hradu
na Blanensku a přilehlé zříceniny

Matěj Chytrý



Středoškolská odborná činnost

Obor č. 8, Ochrana a tvorba životního prostředí

Porovnání diversity malakofauny přírodní rezervace U Nového hradu a přilehlé zříceniny

A comparison of the mollusc diversity in the U Nového hradu Nature Reserve and the nearby castle ruin

| | |
|-------------|---|
| Autor: | Matěj Chytrý |
| Škola: | SPŠ chemická Brno Vranovská 65 614 00 Brno-Husovice |
| Konzultant: | prof. RNDr. Michal Horsák, Ph.D. Ústav botaniky a zoologie Přírodovědecká fakulta Masarykovy University Kotlářská 2, 611 37 Brno |

Brno 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně pod vedením prof. RNDr. Michala Horskáka, Ph.D., a použil jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu vloženém v této práci. Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Lipůvce dne podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval mému odbornému konzultantovi prof. RNDr. Michalu Horsákovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady při provádění výzkumu a za korekci práce. Dále děkuji také svému strýci prof. RNDr. Milanovi Chytrému, Ph.D., Mgr. Miroslavu Vymazalovi.

Také bych chtěl poděkovat Kryštofovi Chytrému za rady ke zpracování dat v programech R a R-studio. Za poskytnutí nezbytných materiálů patří dík Ing. Jaroslavu Možnému.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 8 |
| Cíle práce..... | 10 |
| 2. Hlavní faktory ovlivňující diverzitu a abundanci měkkýšů | 11 |
| 2.1 Obsah vápníku a pH..... | 11 |
| 2.2 Citrát a oxalát – listový opad | 11 |
| 2.3 Vlhkost..... | 11 |
| 2.4 Teplota a nadmořská výška | 12 |
| 2.5 Vliv působení člověka..... | 12 |
| 2.6 Úkryt..... | 12 |
| 3. Charakteristika studovaného území..... | 13 |
| 3.1 Historie hradů | 15 |
| 3.2 Přírodní poměry..... | 16 |
| 4. Metodika | 19 |
| 4.1 Sběr dat v terénu..... | 19 |
| 4.2 Zpracování dat | 20 |
| 5. Výsledky práce..... | 22 |
| 5.1 Základní informace | 22 |
| 5.2 Krabicové grafy..... | 22 |
| 5.3 Lineární regrese | 23 |
| 5.4 Nejčastěji se vyskytující druhy | 24 |
| 5.5 Ekologické skupiny..... | 25 |
| 5.6 Spearmanovy korelace | 26 |
| 5.7 Analýza NMDS..... | 27 |
| 6. Diskuze | 29 |
| 6.1 Shrnutí..... | 29 |
| 6.2 Vliv faktorů prostředí | 29 |
| 6.3 Hodnota půdního pH..... | 29 |
| 6.4 Vliv hradní zříceniny..... | 30 |
| 6.5 Zastoupení druhů v ekologických skupinách | 31 |
| 6.6 Interpretace druhové variability lokalit..... | 31 |
| 7. Závěr..... | 33 |
| 8. Seznam použitých zdrojů | 34 |
| Internetové zdroje: | 35 |

| | |
|--|------|
| 9. Přílohy | I |
| 9.1 Charakteristika ekologických skupin plžů zastoupených v rezervaci a na zřícenině (podle Lisického s drobnými aktualizacemi) | I |
| 9.2 Půdní konduktivita | II |
| 9.3 Půdní pH a počet druhů | II |
| 9.4 Abundance nejčastěji se vyskytujících druhů | III |
| 9.5 Použité funkce v programu R | IV |
| 9.6 Tabulka zahrnující počty druhů na jednotlivých stanovištích | V |
| 9.7 Zkratky použité v Analýze NDMS | VIII |

Anotace

Tato studie se zabývá malakologickým výzkumem v přírodní rezervaci U Nového hradu a přilehlé zříceniny v údolí Svitavy mezi Blanskem a Adamovem. Hlavním cílem bylo zjištění významných faktorů ovlivňující počet druhů a jedinců měkkýšů a porovnání druhové skladby rezervace a zříceniny.

Během léta 2015 jsem provedl vzorkování a odběr hrabanky ze 14 stanovišť, z nichž 10 náleželo rezervaci a 4 zřícenině. Na každé ploše byly zaznamenávány a odhadovány ekologické faktory – přítomnost padlého dřeva, zastoupení rostlin, stromů a kamenů. Dále byla měřena hodnota půdního pH a konduktivita. Data byla analyzována pomocí programů R a Microsoft Excel.

Celkem bylo nalezeno 44 druhů měkkýšů a 677 jedinců. Z toho v rezervaci bylo 38 druhů a 407 jedinců, na zřícenině 29 druhů a 270 jedinců. Na stanovištích na zřícenině se průměrně vyskytovalo více druhů i jedinců. Ze všech zkoumaných ekologických faktorů byla zjištěna signifikantní závislost pouze pro vztah druhové diversity a abundance malakofauny na půdním pH. Tento vztah predikuje větší α diversitu na stanovištích zříceniny s výjimkou stanoviště A3, které se nacházelo na území rezervace. Na této lokalitě bylo zjištěno 22 druhů, což je ze všech zkoumaných stanovišť nejvíce. Nejčastějšími nalezenými druhy byly *Monachoides incarnatus* (102 jedinců), *Alinda biplicata*, *Macrogastra plicatula* a *Discus rotundatus*.

Klíčová slova: Nový hrad, hradní zřícenina, malakologie, diverzita, ekologické faktory, lesní biotopy

Annotation

This study deals with land snails in the U Nového hradu Nature Reserve and the nearby castle ruin. The main goal was to determine factors effecting species diversity of molluscs and their abundance. Further, it also compared species richness and composition of the Nature Reserve and a castle ruin.

Snails were collected in summer 2015 by hand and sieving at 14 quadrats – 10 in the Nature Reserve and 4 in a castle ruin. In each quadrat plant cover, amount of coarse trees and stones was recorded. Soil pH and conductivity values were measured at each plot. I analysed the data in the R and Microsoft Excel programs.

In total, 44 species and 677 individuals of snails were found in all quadrats combined. In the Nature Reserve 38 species and 407 individuals were recorded. In the castle ruin, there were 29 species and 270 individuals of snails. However, on average more species and individuals per plot were found in the castle ruin than in the reserve. Based on Spearman correlations I found that soil pH was the only variable significantly influencing species diversity and abundance of molluscs. This variable predicts a higher α diversity in the castle ruin. An exception was the plot no. A3 located in the Nature Reserve. This plot contained the maximum species number of all plots – 22 land snails. Most sites contained a high number of common species such as *Monachoides incarnatus* (102 individuals), *Alinda biplicata*, *Macrogastra plicatula*, and *Discus rotundatus*.

Key words: Nový hrad, castle ruin, malakology, diversity, ecological factors, woodland biotopes

1. Úvod

Suchozemští měkkýši jsou důležitou součástí lesních ekosystémů. Protože jsou plošně rozšíření a jejich schránky se dobře zachovávají v podloží bohatém na vápník, dají se využít k rekonstrukci přírodních podmínek zejména kvartéru (*Ložek 1964*). Vzhledem k jejich malé pohyblivosti jsou těsně vázáni na podmínky prostředí. Míra aktivního šíření roste s velikostí plže. Malé druhy jako například ovsenka (rod *Chondrina*) žijí celý život na ploše 1 m². Mezi větší druhy patří např. plamatka lesní (*Arianta arbustorum*), která se za 1 rok může přesunout až o 20 m. Malé druhy se navzdory omezené schopnosti pohybu šíří rychleji díky zoochorii (blíže viz *Horsák & Horsáková 2015*). Většině suchozemských měkkýšů se daří na vápnatých půdách, zatímco na velmi kyselých substrátech najdeme jen málo druhů i jedinců. Alespoň minimální zásoba vápníku je totiž nezbytná pro stavbu ulity a reprodukci (*Wärebörn 1969*). Tyto faktory určují počet druhů a jedinců (*Ložek 1962*). Kromě přítomnosti vápníku ovlivňuje měkkýše podnebí a půdní mikroklima, především vlhkost.

Pro globální rozšíření druhů měkkýšů obecně platí jeden z nejstarších pozorovaných ekologických jevů, kterým je *latitudinální gradient druhové rozmanitosti* (*Darwin 1859, Wallace 1878*). Pokles počtu druhů a jedinců směrem od rovníku k pólům ovšem neplatí v případě rodu vrkočů (*Vertiginidae*), u kterých je tento vztah opačný.

Na našem území se vyskytuje 171 druhů suchozemských měkkýšů vyskytujících se převážně na lesních stanovištích (*Horsák et al. 2013*).

V přírodní rezervaci U Nového hradu nebyl dosud proveden malakologický průzkum. Z tohoto území byla publikována pouze jedna publikace týkající se vegetace (*Vymazalová 2013*), existuje zde však Plán péče o přírodní rezervaci U Nového hradu na období 2012-2022 (<http://slpkrtiny.cz>).

Tato práce se zabývá porovnáváním druhové rozmanitosti recentních společenstev lesních měkkýšů vyskytujících se celkem na 14 stanovištích v přírodní rezervaci a v přílehlé zřícenině Nový hrad. Proto také můžeme předpokládat jejich výskyt na podobných lokalitách poskytujících měkkýšům stejné životní podmínky. Byly vybrány různorodé lokality s ohledem na zahrnutí pestré škály ekologických podmínek, které by umožnily nalezení maximálního počtu druhů vyskytujících se na studovaném území.

Měkkýši jsou citliví na sucho, zvláště pak nazí plži, protože je před vysušením nechrání ulita. Nazí plži jsou oproti ulitnatým plžům mobilnější, jsou více závislí na schopnosti

ukrýt se do míst s vyšší vlhkostí (*Wäreborn 1992*). Jelikož během výzkumu extrémní sucho zabraňovalo reprezentativnímu průzkumu nahých plžů, zaměřil jsem se na ulitnaté plže.

Cíle práce

Pro tuto práci jsem si vytyčil následující cíle:

1. Průzkum malakofauny a zjištění druhového složení společenstev měkkýšů na vybraných místech přírodní rezervace U Nového hradu a přilehlé zříceniny Nový hrad.
2. Porovnání vlivu ekologických faktorů zkoumaných stanovišť na početnost druhů a jedinců.
3. Porovnání zastoupení druhů v rámci rezervace a zříceniny. Roztřídění druhů do ekologických skupin a analyzování dat na úrovni variability druhové skladby.

2. Hlavní faktory ovlivňující diverzitu a abundanci měkkýšů

Diverzita a abundance jsou variabilní i na relativně malých lokalitách. Mezi hlavní faktory způsobující rozdílnou diverzitu patří obsah vápníku, pH, lokální přítomnost citrátu nebo oxalátu, vlhkost prostředí, teplota a nadmořská výška, činnost člověka a možnost úkrytu před nepříznivými podmínkami (např. suchem).

2.1 Obsah vápníku a pH

Obsah vápníku v půdě patří k jednomu z nejdůležitějších činitelů ovlivňujících počty jedinců a druhů měkkýšů (Cameron 1973). Množství vápníku v půdě souvisí s hodnotou půdního pH. Vápník potřebují plži nejen na stavbu schránky a produkci vajíček, ale jeho nedostatek může také omezovat reprodukci (*Wäreborn 1969*). Obecně můžeme říci, že vyšší bazicita prostředí zaručuje větší počet druhů i jedinců (Ložek 1962). Měkkýši se proto často vyskytují na slatiništích a pěnovcových prameništích, která jsou bohatá na různé formy vápníku. Také zdi hradních zřícenin obsahují vápenec a ovlivňují tak druhovou variabilitu měkkýších společenstev (např. *Juříčková a Kučera 2005*). Na kyselých místech se daří v našich podmínkách jen málo druhům (*Horsák & Horsáková 2015*).

2.2 Citrát a oxalát – listový opad

Dalším důležitým faktorem je tvorba bazického prostředí pomocí rozkladu organické hmoty některých stromů na povrchu půdy, kde se měkkýši nejčastěji vyskytují. Některé stromy, např. javor, jasan, jilm a lípa, při tvorbě humusu uvolňují do prostředí vápník ve formě *citrátu* (citrátové kalcium), které jsou měkkýši schopni využít. Naopak většina zbývajících listnatých stromů (např. buk, dub) obsahuje *oxalát* (oxalátové kalcium), které měkkýši nedokáží využít (*Wäreborn 1979*). Přítomnost vhodných stromů tedy lokálně upravuje pH prostředí a ovlivňuje tak diverzitu a abundanci měkkýšů.

2.3 Vlhkost

Dalším významným vlivem ovlivňujícím početnost a druhovou skladbu měkkýšů je vlhkost prostředí (blíže *Hettenbergerová et al. 2013*). Ta ale není zdaleka tak dobře prozkoumána – odkazuje na ni málo studií, které podávají rozdílné výsledky. Jedním z důvodů může

být, že vlhkost se v čase měnila více než obsah vápníku (*Horsák & Horsáková 2015*). Kvůli měkkému charakteru těla jsou plži velmi náchylní na vyschnutí. Při suchu se schovávají v půdě, aby nevystavovali tělo slunečním paprskům, a zabránili tak výparu tekutin. Při vyšší vlhkosti vylézají.

2.4 Teplota a nadmořská výška

Teplota souvisí s nadmořskou výškou a ekologickými nároky plžů. Lze říci, že s rostoucí nadmořskou výškou klesá teplota a také početnost plžů.

2.5 Vliv působení člověka

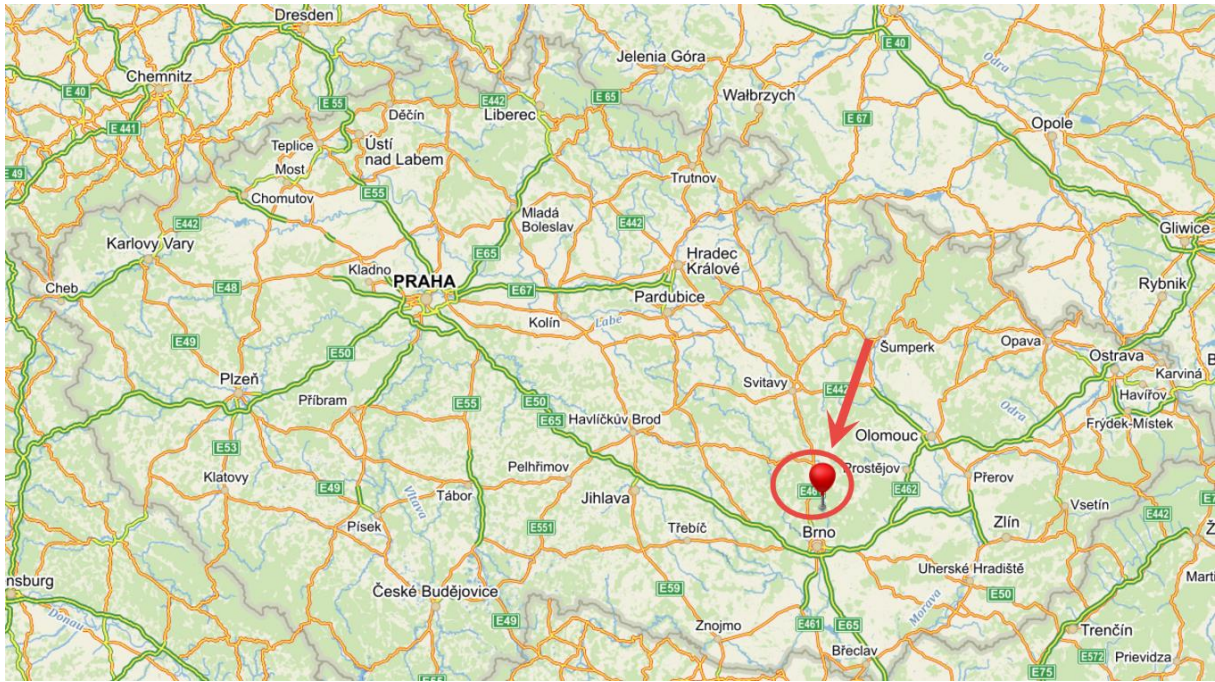
Některé citlivější druhy jsou náchylné na zásah člověka do krajiny. Proto jsou druhově bohatší nenarušené biotopy než ty, které byly v minulosti výrazněji pozměněny (*Horsák et al. 2013*).

2.6 Úkryt

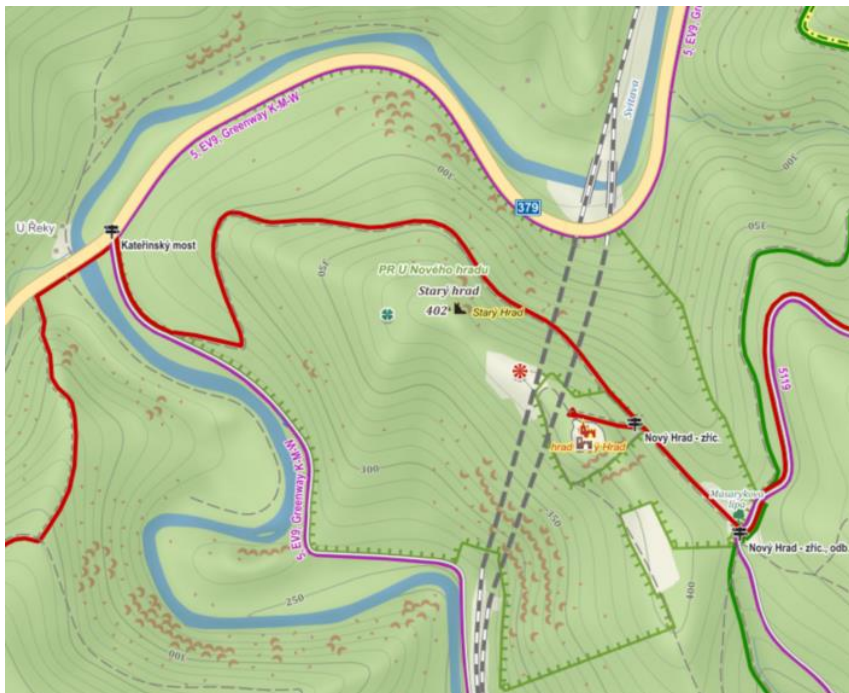
Posledním neméně důležitým faktorem je možnost úkrytu při nepřízni počasí (dlouhodobé sucho, chlad). Plži při těchto okolnostech vyhledávají skuliny (v padlém dřevě) a díry v zemi, kam se schovávají a zabraňují tak výparu tělních tekutin. S rostoucím stářím stromů do určitého věku se mění množství padlého dřeva a roste počet druhů měkkýšů (*Müller et al. 2005*). Vhodný vegetační porost a zapojení stromového patra také nabízí plžům úkryt a lepší podmínky, protože udržuje vlhkost. To je jedním z důvodů, proč se u nás vyskytuje jen málo druhů vázaných na otevřená stanoviště a převážnou většinu tvoří lesní malakocenózy (*Ložek & Horáček 2004*).

3. Charakteristika studovaného území

Rezervace se nachází nedaleko města Blanska, na katastrálním území Olomučany. Spolu se zříceninou situovanou v nejvyšších polohách plní významnou rekreační funkci. Zachovaná zřícenina Nový hrad pochází z konce 15. stol., ale přibližně už od 14. stol. bylo území rezervace a hradu intenzivně ovlivňováno člověkem (<http://novyhrad.eu>). Rezervace se rozkládá na ploše 44,598 ha. Byla vyhlášena 23. června 1975 kvůli ochraně přirozených smíšených porostů a rostlinných společenstev (Vymazalová 2013). Jedná se o skalnatý hřbet nad údolím Svitavy, která jej obtéká ze severní a západní strany, ale do samotné rezervace nezasahuje. Při obtékající řece Svitavě ze severní strany probíhá silnice II/379, ze západní strany je ohraničena asfaltovou cestou využívanou převážně cyklisty. Z východní strany činí hraniční bod Masarykova lípa a kratičký úsek cyklostezky č. 5119. Z jižní strany není ohraničení rezervace přirozeně znatelné. Hradní zřícenina Nový hrad se nachází přibližně ve středu území, ale do rezervace, která jej obklopuje, nepatří. Přímo v rezervaci leží historicky starší zřícenina Starý hrad. V rezervaci jsou dvě louky, jedna při hradní zřícenině, druhá u Masarykovy lípy. Celý prostor chráněného území je velmi členitý, nejnižší bod leží ve výšce 255 m n. m., nejvyšším bodem je skalnaté předhradí jihozápadně od Nového hradu s výškou 405 m n. m. Směrem od Adamova k Blansku protíná rezervaci železniční tunel o délce přibližně 450 m. Na jižně exponovaném svahu nedaleko ústí tunelu se nachází nejrozsáhlejší skalnaté území v rezervaci. Rezervace má svahy všech expozic. Územím prochází turisticky značená červená stezka stoupající ke hradní zřícenině a pokračující až k Masarykově lípě.



Obrázek 1 – Poloha přírodní rezervace U Nového hradu a zříceniny Nový hrad (<http://mapy.cz>).



Obrázek 2 – Území PR U Nového hradu a hradní zřícenina Nový hrad (<http://mapy.cz>).

3.1 Historie hradů

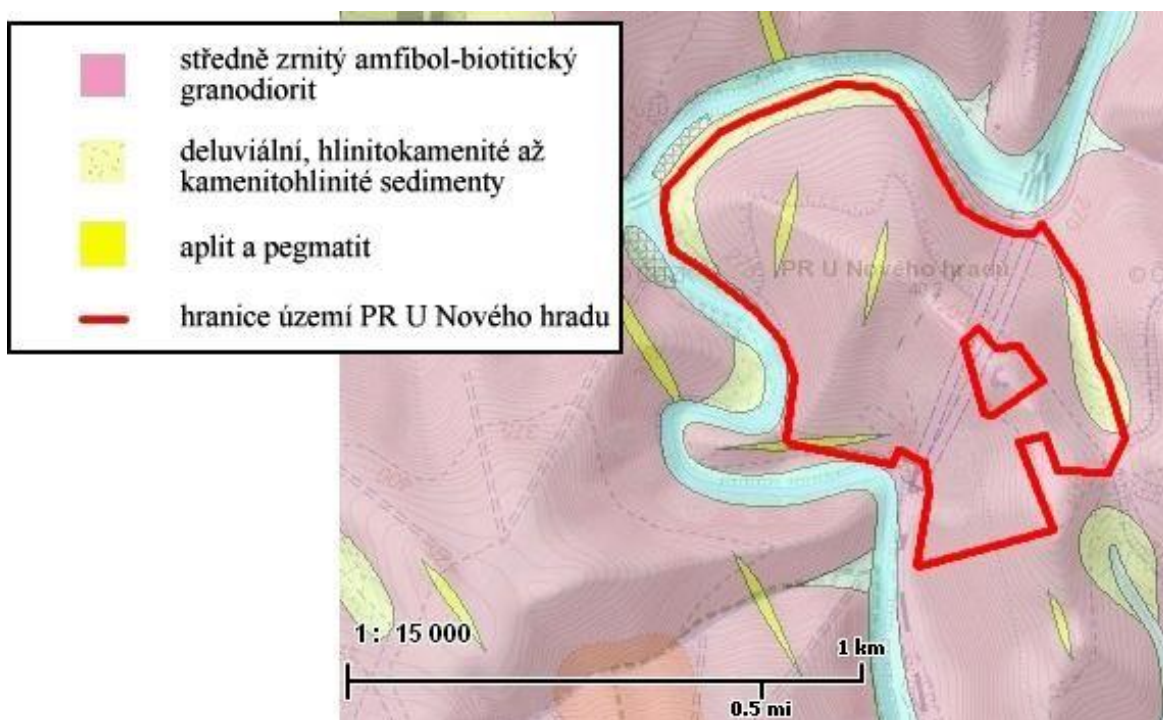
Oba hrady jsou situovány na nejvyšších místech sledovaného území. Jejich historie je těžko doložitelná a je opředená řadou teorií týkající se vzniku jádra hradu a Nového hradu. Jádrem hradu rozumíme zříceninu známou jako Starý hrad, která je předsunutím historicky mladšího Nového hradu. Starý hrad vznikl pravděpodobně ve 14. století. Existence Nového hradu je doložena od r. 1381, a to listinou, z níž vyplývá, že augustiniánský klášter sv. Tomáše v Brně dostával tímto rokem 200 fůr dřeva z novohradského panství. Starý hrad byl roku 1470 dobyt a rozbořen uherskými vojsky, která kolem hradu postavila šest opevněných stanovišť. V roce 1493 byl na jednom z těchto míst postaven Nový hrad. Horní části svahu byly už v té době značně ovlivněny člověkem, v nižších partiích probíhala těžba lesů a také lesní pastva. V roce 1645 byl hrad dobyt Švédy, kteří jej poté obývali. Zřícenina Starého hradu již obnovena nebyla a podlehla naprosté zkáze. V roce 1848 byl postaven novohradský tunel, který zapříčinil významný zásah do krajiny. Hradní věž musela být kvůli otřesům způsobených projíždějícími vlaky snížena. V 19. století sloužil Nový hrad jako lovecký zámeček. Dnes je zřícenina v soukromém vlastnictví Roberta Krafa (<http://novyhrad.eu>).



Obrázek 3 – Zřícenina Nový hrad (foto M. Chytrý).

3.2 Přírodní poměry

Geologické poměry: Území přírodní rezervace se rozkládá na okraji Českého masivu v regionu brunovistulikum, nazývaném také brněnská vyvřelina. Většina území je tvořena neutrálními hlubinnými assyntskými granodiority, převážně amfibolicko-biotitickým granodioritem. Malé zastoupení zde má také aplit a pegmatit. V severní, severozápadní a východní části jsou granodiority překryty sprašovými hlínami a svahovinami mocnosti 0,75 m (<http://geology.cz>).



Obrázek 4 - Mapa zobrazující geologické zastoupení v rezervaci (<http://geology.cz>).

Pedologické poměry: V rezervaci převažují kambizemě, ve skalnatých částech a na suťových polích můžeme najít rankery. Při západním a severním okraji se v nivě Svitavy nachází také fluvizem (<http://geology.cz>).

Klimatické poměry: Území přírodní rezervace se podle Quittovy klasifikace nachází v mírně teplé až teplé klimatické oblasti – MT11. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 7 °C, roční úhrn srážek činí cca 350-400 mm/rok (Quitt 1971).

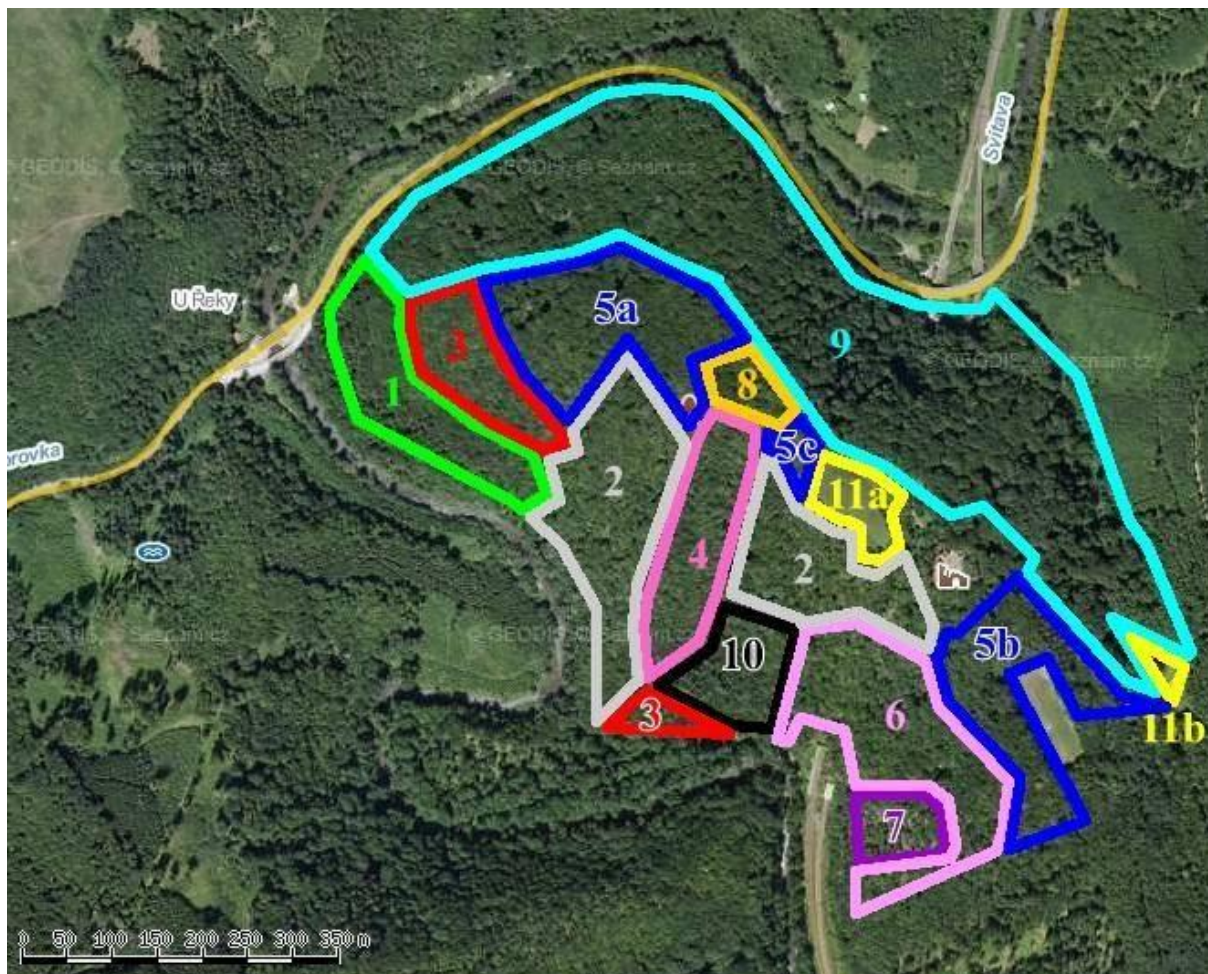
Tabulka 1 – *Klimatická charakteristika studovaného území.*

| klimatická charakteristika oblasti MT11 (Quitt 1971) | |
|---|---------|
| průměrná roční teplota vzduchu | 7 |
| počet letních dní | 50-60 |
| počet dní s průměrnou teplotou > 10°C | 140-160 |
| počet dní s mrazem | 110-130 |
| počet ledových dní | 30-40 |
| průměrná lednová teplota | -3 |
| průměrná červencová teplota | 17-18 |
| suma srážek ve vegetačním období | 350-400 |
| počet dní se sněhovou pokrývkou | 50-60 |
| počet zatažených dní | 120-150 |
| počet jasných dní | 40-50 |

Vegetace: V rezervaci bylo popsáno 11 typů biotopů. Největší zastoupení v rezervaci mají teplomilné acidofilní doubravy a porosty s dominancí buku (*Vymazalová 2013*).

Tabulka 2 – *Typy biotopů a vegetace v rezervaci (Vymazalová 2013).*

| | Typ biotopu, dominance druhů | Asociace |
|----|--|--|
| 1 | eutrofní bučiny | Mercuriali perennis-Fagetum sylvaticae |
| 2 | suťové lesy | Aceri-Tilietum |
| 3 | dubohabřiny přechodného typu | |
| 4 | acidofilní teplomilné doubravy - antropogenně ovlivněné | Sorbo torminalis-Quercetum |
| 5 | porosty s dominancí: a) buku b) habru, borovice c) pestré druhové složení | |
| 6 | acidofilní teplomilné doubravy | Sorbo torminalis-Quercetum |
| 7 | degradované borové porosty | |
| 8 | Starý hrad | |
| 9 | mezotrofní květnaté bučiny | Galio odorati-Fagetum sylvaticae |
| 10 | porosty douglasky tisolisté, na stanovištích dubohabřin | |
| 11 | luční porosty | |



Obrázek 5 – Mapa typů biotopů a vegetace v rezervaci viz Tabulka 2 (Vymazalová 2013).

4. Metodika

4.1 Sběr dat v terénu

Terénní vzorkování proběhlo během léta 2015. Vybral jsem celkem 14 lokalit – 10 na území přírodní rezervace U Nového hradu a 4 lokality nacházející se při hradní zřícenině nebo na jejím nádvoří. Při vybírání stanovišť jsem zohledňoval jejich heterogenitu, abych zahrnul veškerou diverzitu recentních měkkýších společenstev nacházející se na studovaném území. Zvláště pak záleželo na přítomnosti stromů, jejich průměrů kmenů, dřevin keřovitého vzrůstu, pokryvnosti bylinné vegetace, množství padlého dřeva a lokální vlhkosti či přítomnosti kamení. Na každé studijní ploše bylo zastoupení stromů, dřevin keřovitého vzrůstu, rostlin a padlého dřeva odhadováno v procentech. Průměry stromů jako orientační ukazatele stáří byly odhadovány v centimetrech. Každá studijní plocha měřila 10×10 m. Sběr měkkýšů jsem provedl nejprve ručně. Menší a středně velké měkkýše jsem sbíral do uzavíratelných epruvet, větší jedince do plátěných sáčků. Nazí plži byli buď určováni na místě, nebo fotografováni na Canon 100D (veškeré fotografie použité v práci jsou autorské). Všem plochám jsem věnoval přibližně stejné množství času – 1,5 h, abych dosáhl vzájemně porovnatelných výsledků. Ručním sběrem zachycujeme také dendrofilní druhy a nahé plže, které v hrabance nenajdeme (*Horsák et al. 2013*). Ruční sběr jsem doplňoval rozborem hrabanky, tj. vrstvy rostlinného opadu a svrchní vrstvy půdy, kterou obývá nejvíce našich druhů. Z odebraného vzorku půdy získáváme drobné druhy, které bychom mohli v terénu přehlédnout, a zároveň získáváme informaci o kvantitativních poměrech ve společenstvu měkkýšů (*Horsák et al. 2013*). Pro usnadnění sběru hrabanky jsem vytvořil dřevěný rámeček o rozměrech 30×30 cm a z každé plochy jsem z pěti různých míst odebral vzorek o hloubce 5 cm.

Doma jsem hrabanku rozložil a nechal v tenké vrstvě proschnout. Poté jsem ji rozpustil ve vodě a na základě sedimentace oddělil od kamenů a hrubšího materiálu. Vrstvu, která plavala na hladině, jsem pomocí jemného síta s oky velkými přibližně $0,5 \times 0,5$ mm odebral a zbytek zeminy jsem spolu s měkkýši opět usušil. Následně jsem vyřídil měkkýše od organických zbytků, zařadil je do druhu a zaznamenal jejich početnost k dalším analýzám. Pro tyto účely jsem velmi staré ulity z analýz vyřadil a zabýval se pouze čerstvými ulitami. Tomuto třídění jsem věnoval přibližně 1,5 h u každého vzorku. K determinaci jsem používal určovací klíče Měkkýši České a Slovenské republiky (*Horsák et al. 2013*) a knihu Měkkýši (*Pfleger 1988*). Při manipulaci s měkkýši jsem používal entomologickou pinzetu a pro snadnější určování také mineralogickou lupu 30×21 mm.

Pro jednodušší orientaci jsem zapisoval zeměpisné souřadnice jednotlivých stanovišť pomocí GPS mobilního telefonu HTC Desire 500 a mobilní aplikace mapy.cz s přesností +/- 5 m.

Na závěr jsem měřil půdní pH a konduktivitu všech ploch, na jejichž základě jsem potom zkoumal vliv hradní zříceniny, jakož indikátoru bazického prostředí na počet druhů a jedinců. Půdní pH i konduktivita byly měřeny během dvou dnů v chemické laboratoři Ústavu botaniky a zoologie PřF MU. Během prvního dne jsem rozmíchal roztok hlíny a destilované vody v poměru 2:5 (10 g hlíny). Tato směs byla protřepána pomocí třepačky a nechala se ustálit. Třepání trvalo 5 min při úhlové rychlosti 280 rpm. Jako třepačku jsem použil přístroj Orbital Shaker PSU – 10i Biosan. Další den probíhalo měření pH metrem Multimetr HQ 40d Hach.

Kvůli suchu způsobenému nedostatkem dešťových srážek během výzkumu jsem se zaměřoval pouze na ulitnaté plže. Nazí plži jsou zaznamenáni do celkového počtu druhů, ale dále s nimi nepracuji.

4.2 Zpracování dat

Po provedení terénních prací jsem sestavil tabulku s nalezenými druhy a zařadil je do ekologických skupin měkkýšů podle Lisického (1991) s drobnými aktualizacemi (Horsák, ústní sdělení). Dále jsem doplnil do tabulky údaje o počtech druhů náležejících příslušným stanovištím. Data z tabulky jsem analyzoval a spočítal počet druhů a jedinců na každé lokalitě. Poté jsem sečetl všechny druhy a jedince rezervace a zříceniny a vypočítal jsem aritmetický průměr. Tyto základní výsledky jsem shrnul a prezentoval jako dvě porovnatelná území: rezervaci a zříceninu.

Pro analýzu nasbíraných dat jsem používal statistické metody vytvořené v programu R (viz přílohy; <http://R-project.org>). V něm jsem vytvořil krabicové grafy, které popisují průměrný počet druhů rezervace a zříceniny včetně krajních hodnot. Dále pomocí grafů zobrazujících vztah pH (vysvětlující proměnná) k počtu druhů a jedinců (závislé proměnné) byla vytvořena lineární regrese. K testům signifikance sledovaných ekologických faktorů jsem použil neparametrický Spearmanův korelační koeficient. Pro zjištění variability druhové skladby makrofauny bylo použito neparametrické ordinační metody NMDS z knihovny “vegan“ programu R (Oksanen et al., 2012).

V programu *Microsoft Excel* jsem vytvořil koláčové grafy, které ukazují zastoupení druhů v jednotlivých ekologických skupinách.

5. Výsledky práce

5.1 Základní informace

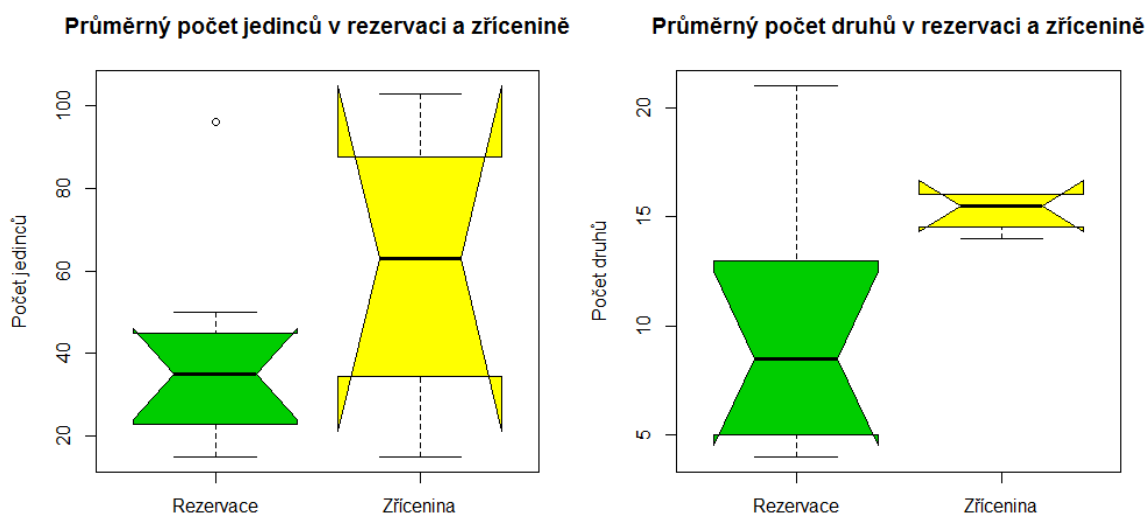
Ve studovaném území jsem našel celkem 44 druhů měkkýšů a 677 jedinců. Z toho bylo nalezeno v rezervaci 38 druhů a na hradní zřícenině 29 druhů. Tyto údaje však pocházejí z různého počtu stanovišť – 10 v rezervaci a 4 na hradní zřícenině.

Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 4,2–7,8, konduktivita dosahovala 89,5–559,0 $\mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$.

Tabulka 3 – Počty druhů v rezervaci a na zřícenině. Jsou zde započítáni všichni měkkýši včetně nahých plžů. V závorkách jsou uvedeny průměrné hodnoty na lokalitu.

| | počet | | |
|--------------------|-----------|------------|----------|
| | druhů | jedinců | lokality |
| celkem | 44 (12,5) | 677 (47,4) | 14 |
| přírodní rezervace | 38 (10,9) | 407 (40,7) | 10 |
| hradní zřícenina | 29 (16,5) | 270 (67,5) | 4 |

5.2 Krabicové grafy



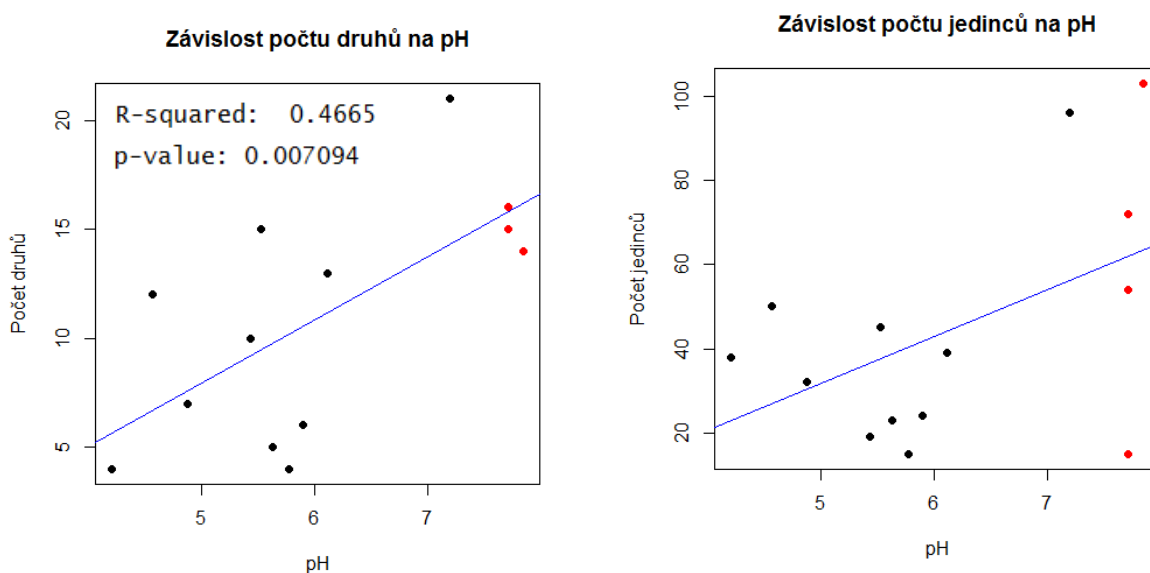
Obrázek 6 – Porovnání diversity a počtu jedinců pomocí krabicového grafu. Tento graf zahrnuje nalezené nahé plže. Krabicový graf (boxplot) zobrazuje data pomocí kvartilů. Horní část

boxplotu je ohraničena 3. kvantilem. Střední část se označuje jako medián, ukazuje střední hodnotu. V případě, že většina dat má vypovídající hodnotu, ale některé statisticky neodpovídají průměru použitelných hodnot a zkreslovaly by průměrnou hodnotu, se místo aritmetického průměru používá medián. Spodní část boxplotu je kvartil 1. Variabilita se udává pomocí vousků (whiskers) pod prvním a nad třetím kvantilem (<http://rstudio.com>).

Na obrázku 6 je porovnání průměrného zastoupení druhů a jedinců v rezervaci a na zřícenině. Průměrný počet druhů i jedinců byl na zřícenině vyšší než v rezervaci. Mediánová hodnota dat pocházejících ze zříceniny je také vyšší.

Největší počet druhů byl zaznamenán na stanovišti rezervace (lokality A3, viz přílohy) s 22 druhy. Na stejném stanovišti byl pozorován nejvyšší počet jedinců (93), ale pouze v rámci rezervace. Pro porovnání nejvyšší počet druhů na plochu studovanou na zřícenině (poloha Z1 viz přílohy) byl 20 a maximální zaznamenaná abundance byla 103 jedinců (poloha Z3).

5.3 Lineární regrese



Obrázek 7 – Závislost počtu druhů a jedinců na pH. Černé body znázorňují stanoviště rezervace, červené body stanoviště zříceniny. R-squared vyjadřuje podíl vysvětlené variability a p-value vyjadřuje hodnotu signifikance.

Grafy zobrazují pomocí lineární regrese vztah závislosti počtu druhů a jedinců na pH prostředí. Protože byla na dvou stanovištích zříceniny naměřena stejná hodnota pH a zároveň byl zaznamenán stejný počet druhů, splývají tyto body v grafu. Lineární přímka je rostoucí, s vyšším pH se zvyšuje počet druhů. Na všech stanovištích hradní zříceniny bylo naměřeno pH vyšší než 7. Tato hodnota byla zjištěna v rezervaci pouze na jednom místě, na lokalitě „U Starého hradu“, kde byl zároveň zaznamenán nejvyšší počet druhů a nejvyšší počet jedinců v rezervaci.

5.4 Nejčastěji se vyskytující druhy

Tabulka 4 - Deset nejčastěji se vyskytujících druhů

| nejčastěji se vyskytující druhy | početnost | | | počet lokalit výskytu | | |
|--|-----------|-------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------|
| | celková | v rezervaci | na zřícenině | celkový | v rezervaci | na zřícenině |
| <i>Monachoides incarnatus</i> (O. F. Müller, 1774) | 102 | 73 | 29 | 11 | 8 | 3 |
| <i>Alinda biplicata</i> (Montagu, 1803) | 87 | 60 | 27 | 8 | 5 | 3 |
| <i>Macrogastra plicatula</i> (Draparnaud, 1801) | 67 | 33 | 34 | 8 | 4 | 4 |
| <i>Discus rotundatus</i> (O. F. Müller, 1774) | 61 | 19 | 42 | 7 | 4 | 3 |
| <i>Discus perspectivus</i> (M. von Mühlfeld, 1816) | 43 | 29 | 24 | 8 | 4 | 4 |
| <i>Vallonia costata</i> (O. F. Müller, 1774) | 43 | 10 | 33 | 10 | 6 | 4 |
| <i>Cochlodina laminata</i> (Montagu, 1803) | 28 | 17 | 11 | 8 | 5 | 3 |
| <i>Aegopinella pura</i> (Alder, 1830) | 25 | 24 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| <i>Helicigona lapicida</i> (Linné, 1758) | 24 | 20 | 4 | 7 | 5 | 2 |
| <i>Aegopinella minor</i> (Stabile, 1864) | 15 | 12 | 3 | 7 | 5 | 2 |

Druhem s největší početností nalezeným na stanovištích rezervace a zříceniny je vlahovka narudlá (*Monachoides incarnatus*). Je to druh s širokou ekologickou valencí (Vašátko et al. 2006), který se vyskytoval na 11 ze 14 studovaných stanovišť. Celkem bylo nalezeno 102 jedinců. Patří do ekologické skupiny 2SI(MS), kterou tvoří převážně druhy lesní, které mohou ale obývat i osluněná stanoviště.

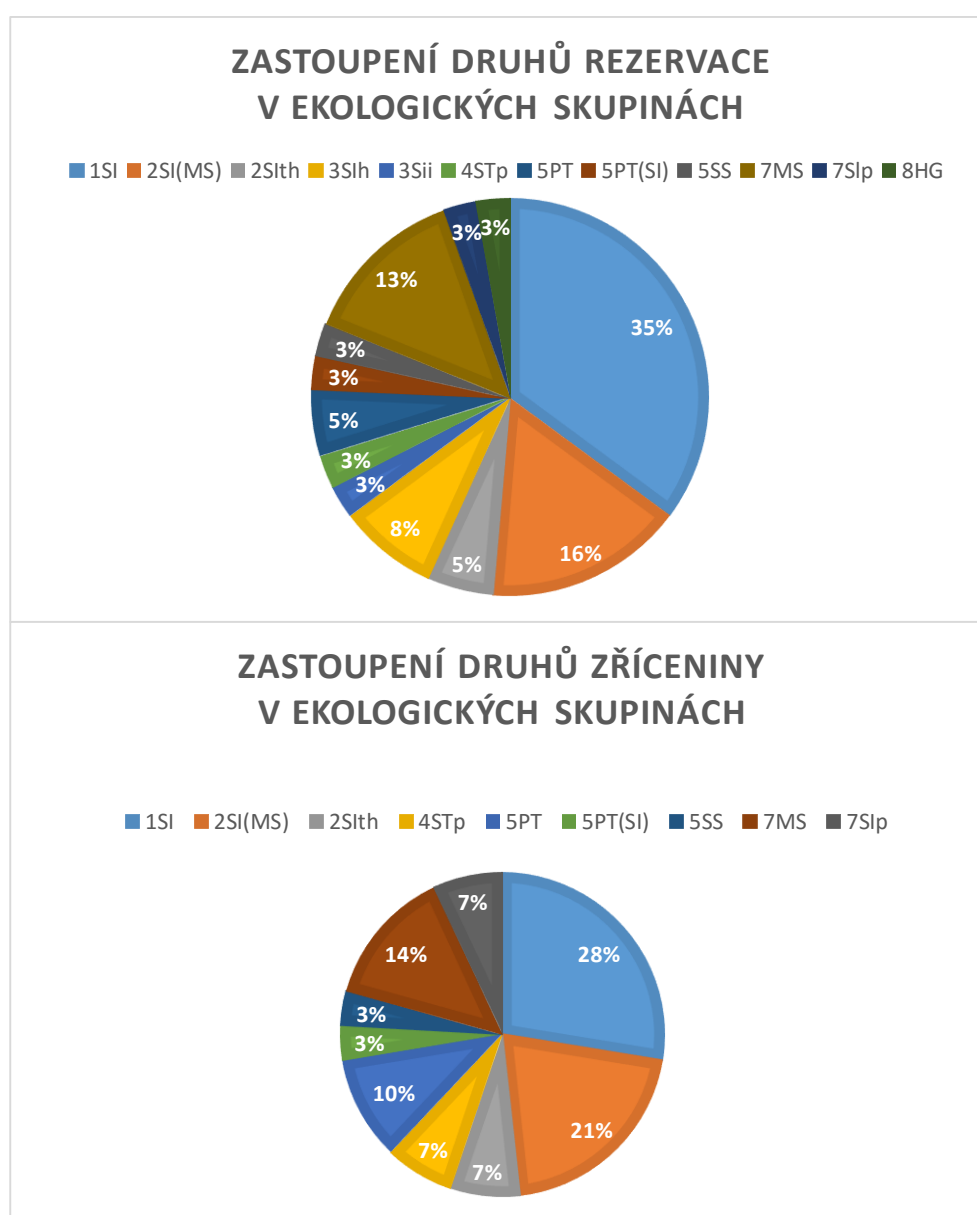
Druhým nejpočetnějším druhem je vřetenatka obecná (*Alinda biplicata*). Byla zaznamenána na 8 stanovištích s počtem 87 jedinců. Patří do ekologické skupiny 2SI(MS). Zdržuje se při kmenech stromů, ale i na skalách a mechu (Vašátko et al. 2006).

Dalším početným druhem je řasnatka lesní (*Macrogastra plicatula*), která byla nalezena na 8 stanovištích v počtu 67 jedinců. Tato řasnatka spadá do ekologické skupiny 1SI. Je to

lesní druh, žije zejména v suťových lesích. Prosperuje na kmenech stromů a často se vyskytuje při zdech hradních zřícenin (Horsák et al. 2013).

Za zmínku ještě stojí údolníček žebernatý (*Vallonia costata*), který byl nalezen na 10 stanovištích při počtu 43 jedinců. Je to drobný plž dosahující velikosti 2,7 mm. Obývá xerothermní otevřená stanoviště, ale snese i zastínění. Vyskytuje se i v řídkých slunných lesích. Patří do kategorie 5PT(SI) (Lisický 1991).

5.5 Ekologické skupiny



Obrázek 8 - Koláčové grafy zobrazující zastoupení ekologických skupin měkkýšů v rezervaci a na zřícenině (jsou započítány veškeré druhy včetně nahých plžů). 1SI – přísně lesní druhy,

1SI(p) – druhy obývající skály, 2SI(MS) – druhy žijící v lesních biotopech, 2SIth – druhy nelesních stanovišť, 3SIh silně vlhkomilné druhy, 3SIi druhy žijící v bahnitých lužních lesích, 4STp – druhy žijící na xerothermních stanovištích, 5PT – druhy otevřených krajín, 5PT(SI) druhy, které se mohou vyskytnout i v podmínkách řídkého zapojení lesa, 5SS – druhy xerothermních stanovišť snášející i řídké zapojení lesa, 7MS – druhy nenáročné na prostředí, 7SLp – druhy žijící na skalách i v lese, 8HG – druhy silně vlhkomilné (viz Přílohy – 9.1).

Nejvíce jsou zastoupeny druhy ekologické skupiny 1SI. Hojně se na obou stanovištích vyskytovaly druhy 2SI(MS). Na rozdíl od rezervace se na zřícenině nevyskytují skupiny 3SIh, 3SIi, 8HG se zástupci těchto druhů - *Macrogastra ventricosa*, *Monachoides vicinus*, *Urticola umbrosus*, *Perforatella bidentata* a *Carychium tridentatum* (viz Přílohy – 9.6). Na zřícenině se naopak vyskytovaly častěji druhy spadající do skupin 4STp a 5PT: *Oxychilus depressus*, *Oxychilus glaber*, *Cecilioides acicula*, *Pupilla muscorum*, *Cochlicopa lubrica* a *Clausilia dubia*.

5.6 Spearmanovy korelace

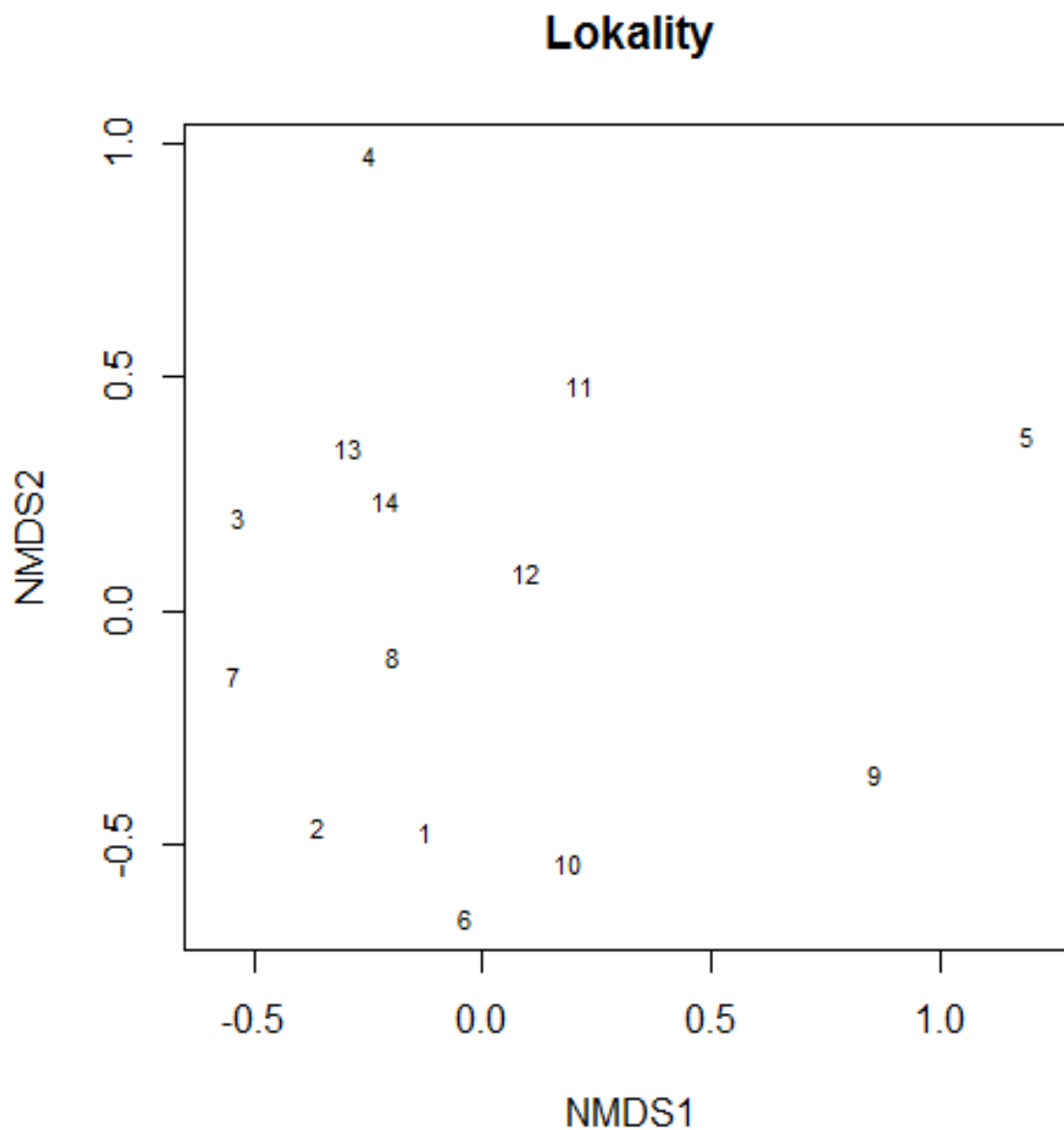
Tabulka 5 Použití Spearmanových korelací k vyjádření vztahu a testování signifikance faktorů prostředí na počet druhů.

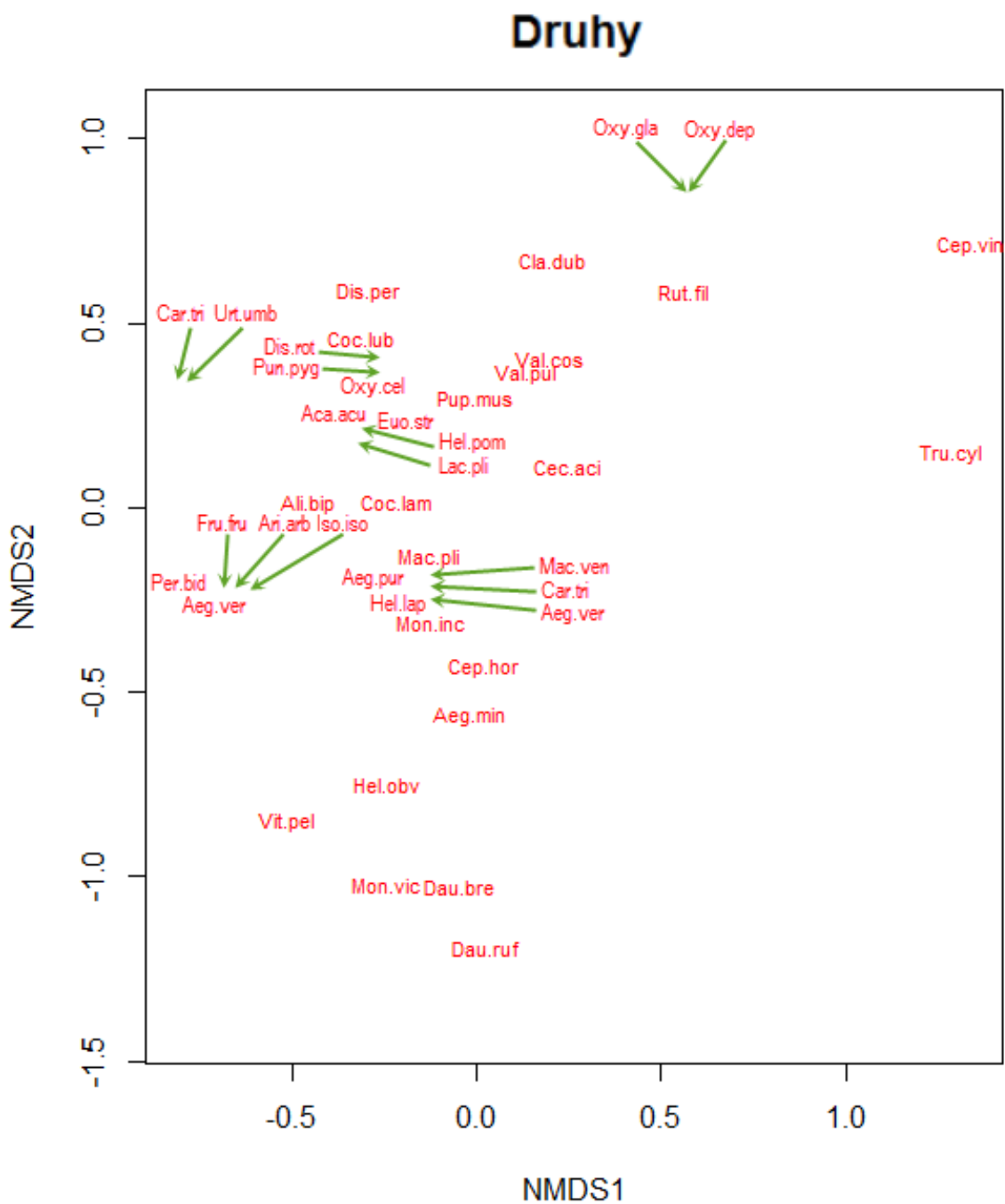
| Faktory prostředí: | Rho | p-value |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Půdní pH | 0,64 | 0,014 |
| Konduktivita | 0,19 | 0,254 |
| Pokryvnost stromů | 0,19 | 0,513 |
| Pokryvnost keřů | 0,11 | 0,717 |
| Pokryvnost rostlin bylinného patra | 0,02 | 0,952 |
| Padlé dřevo | -0,04 | 0,903 |
| Pokryvnost kamenů | 0,44 | 0,117 |
| Zastoupení stromů obsahujících citrát | 0,32 | 0,261 |

Tabulka číslo 5 ukazuje závislost faktorů prostředí na počtu druhů. Nejvýznamnějším faktorem korelujícím s počtem druhů byla hodnota pH v půdě. Tento vztah lze označit jako signifikantní. U ostatních sledovaných faktorů se korelace neprokázala. Množství kamení se

z pozorovaných faktorů nejvíce přibližovalo kritické hodnotě 0,05. Přesto se vztah nedá označit jako statisticky významný. Závislosti faktorů na počet druhů se nepotvrdily u pokryvnosti rostlin, padlého dřeva, keřů a stromů.

5.7 Analýza NMDS





Obrázek 9 – *MNDS analýza*. Pozice zkoumaných lokalit (nahore) a nalezených druhů (dole) na první a druhé ose NMDS na základě variability druhového složení zkoumaných společenstev. Použité zkratky např. Cep.vin – *Cepaea vindobonensis*, Mon.inc – *Monachoides incarnatus* jsou vysvětleny v Příloze –9.5). Pozice lokalit (1-14) odpovídá značení A1 – A10, Z11–Z14 vždy podle čísel. Zelené šipky, přidané kvůli lepší čitelnosti, vyznačují pozici druhů v analýze.

6. Diskuze

6.1 Shrnutí

Na území rezervace U Nového hradu a novohradské zříceniny byl proveden malakologický průzkum. Bylo zjištěno celkem 44 druhů a nalezeno 677 jedinců. Počty druhů i jedinců se lišily na jednotlivých stanovištích. V této práci jsem se primárně zaměřoval na porovnávání diverzity rezervace a zříceniny jako celků skládajících se z jednotlivých stanovišť. Stanoviště zříceniny jsou ovlivněna množstvím CaCO_3 z malty použité při stavbě hradu, který má příznivý vliv na pH půdy. V rezervaci jsou kromě stanoviště A3 – U Starého hradu všechny lokality kyselé (viz přílohy). Z vyhodnocení Spearmanových korelací vychází, že hodnota pH půdy má velký vliv na počet druhů i jedinců.

6.2 Vliv faktorů prostředí

Jako jediný signifikantní faktor způsobující vyšší počet druhů i jedinců byl zjištěn rostoucí obsah pH v půdě. Tento fenomén popisuje řada publikací (např. *Cameron 1973, Wäreborn 1989, Ložek 1962, Juříčková a Kučera 2005*). Obsah vápníku je pro plže velmi důležitý, potřebují ho ke stavbě ulit a také k reprodukci (*Wäreborn 1989*).

U ostatních sledovaných faktorů – měřené pokryvnost rostlin, padlého dřeva, keřů, stromů, konduktivity, stromů, jejichž listy obsahují citrát vápenatý a kamení – překročila hodnota p kritickou hranici 0,05. Z toho vyplývá, že u těchto ekologických faktorů nebyl zjištěn signifikantní vztah. Je pravděpodobné, že procentuální odhad přítomnosti faktorů nebyl změřen zcela exaktně a kvůli těmto nepřesnostem nezískaly vhodné pořadí a nevysvětlily tak signifikantní vztah proměnných. Nemůžeme ale zamítnout nulovou hypotézu, protože není dost velký počet lokalit. Citrát vápenatý ovlivňuje skladbu půdního prostředí a obsahuje látky, které jsou pro plže snadno dostupné. Lokálně tak ovlivňuje hodnotu půdního pH (*Wäreborn 1969*).

6.3 Hodnota půdního pH

Veškerá stanoviště zříceniny mají hodnotu pH vyšší než 7. V rezervaci byla pouze jedna plocha (A3 – U Starého hradu) zásaditá, kde byl zároveň zjištěn největší počet druhů. Toto stanoviště je ovlivněno přísunem CaCO_3 , protože se tam dříve s největší pravděpodobností nacházela zřícenina Starý hrad zvaná jádro hradu.

V případě rezervace průměrné množství nalezených ulit dosahovalo 40,7 – při průměrné hodnotě pH 5,52. Na zřícenině počet ulit činil 67,5 s naměřeným pH vyšším než 7,74.

Na zřícenině se průměrně vyskytovalo 16,5 druhů, v rezervaci 10,9.

Pomocí lineární regrese byl zjištěn silnější vliv pH na počet druhů než na počet jedinců. Měkkýši jsou úzce vázáni na počasí a hlavně vlhkost, která nemusela být vždy při sběru ideální. Muselo by se provést více sběrů během vegetační sezony a to i na větším počtu staniš, aby byly výsledky více objektivní.

6.4 Vliv hradní zříceniny

Nejvíce druhů a zároveň nejméně bylo nalezeno na stanovištích v rezervaci. Na zřícenině nejsou patrné takové rozdíly, průměrný počet druhů je vyrovnanější a zároveň vyšší. Počet jedinců byl na zřícenině také zaznamenán vyšší. Je zobrazeno ale větší rozpětí – variabilita dat. Pro lepší analýzu grafu je třeba porovnávat hodnotu mediánu, protože zamezuje odchylkám nejvyšších a nejnižších hodnot. Zároveň je ale třeba říci, že medián v rezervaci má větší vypovídající hodnotu, protože vycházíme z deseti různých stanoviš, na zřícenině pouze ze 4. Zřícenina se rozkládá na relativně malé ploše, ale více sběrů na dalších stanovištích by pravděpodobně neprokázalo přítomnost velkého množství dalších druhů, protože se stanoviště příliš nelišily. Pomineme-li rozdílné počty stanoviš, můžeme usoudit, že na zřícenině bylo průměrně nalezeno v jedné ploše více druhů i jedinců. Průměrný počet druhů zříceniny je totiž 16,5, rezervace pouze 10,9.

Na stanovišti A3 bylo objeveno 22 druhů včetně nahých plžů. Nejméně druhů (4) bylo zjištěno na stanovišti A9, což je xerothermní lokalita. Při dnešních poměrech je většina druhů měkkýšů lesních, proto se na vysloveně xerothermních lokalitách vykytuje méně druhů. Rezervace poskytovala měkkýšům více heterogenní prostředí, proto jsou výsledky nevyrovnané, celkově tam ale bylo nalezeno více druhů.

Na zřícenině bylo nalezeno nejvíce 20 druhů měkkýšů včetně nahých plžů na stanovišti Z1. Minimální počet druhů nalezených na zřícenině na stanovišti Z3 byl 14.

Výsledky průzkumu statisticky ukazují jednoznačně pozitivní vliv zříceniny na počet druhů a jedinců. Na lokalitě Z3 bylo nalezeno 103 ulit. Nejnižší počet je ale stejný na stanovišti rezervace A9 a zároveň i zříceniny - Z1. Přesto je ale třeba tyto hodnoty brát se pouze orientačně.

6.5 Zastoupení druhů v ekologických skupinách

Nejvíce jsou zastoupeny druhy ekologických skupin 1SI, 2SI(MS). Tyto druhy jsou převážně lesní, patří sem např. nejhojněji se vyskytující plži v celém území - *Monachoides incarnatus*, *Alinda biplicata*, *Macrogastra plicatula*, *Discus rotundatus*, *D. perspectivus*.

Ekologické skupiny 3SIh, 3SIi, 8HG nefigurují na zřícenině. Druhy patřící do těchto skupin vyžadují velmi vlhké prostředí a zřícenina jim je neposkytuje. Zřícenina naopak oplývá osluněnými otevřenějšími stanovišti, která jsou typická pro druhy ekologických skupin 4STp a 5PT. Tato ekologická různorodost zvyšuje β diverzitu rezervace a zříceniny.

6.6 Interpretace druhové variability lokalit

Z grafu je patrné, že pozice stanovišť zříceniny tvoří skupinu oddělenou od ostatních objektů. To znamená, že společenstva malakofauny jsou si navzájem podobnější na zřícenině než v rezervaci. Grafy ukazují 4 hlavní směry variability druhů inklinujících k určitým stanovištím. Společenstva malakofauny se utvářejí na základě ekologických nároků měkkýšů (Vašátka et. al 2006).

Druhy *Truncatellina cylindrica* a *Cepaea vindobonensis* inklinují ke xeroterminálnímu stanovišti A5. Jsou to suchomilné druhy otevřených stanovišť (Horsák et. al 2013).

Vlevo nahoře jsou zobrazeny druhy mající vztah ke stanovištím zříceniny – *Carychium tridentatum*, *Discus rotundatus*, *Discus perspectivus*, *Cochlicopa lubrica*, *Punctum pygmaeum*, *Oxychilus cellarius*, *Euomphalia strigella*, *Helix pomatia*, *Laciniaria plicata*, *Cecilioides acicula*, *Pupilla muscorum*, *Vallonia pulchella*, a *Vallonia costata*. Tyto druhy žijí často na stanovištích křovinného charakteru, osluněných místech, nebo jiných částečně otevřených lokalitách. (Vašátka et. al 2006). Nahoře uprostřed jsou dva náročnější lesní druhy – *Clausilia dubia* a *Ruthenica filigrana*, které mají pozitivní vztah ke stanovišti Z1.

Ke stanovišti A8 mají vztah následující druhy: *Cepaea hortensis*, *Macrogastra ventricosa*, *Carychium tridentatum*, *Aegopis verticillus*, *Monachoides incarnatus*, *Helicigona lapicida* a *Aegopinella pura*. Většina těchto jmenovaných lesních druhů je vlhkomilných. Ke stanovišti A7 mají vztah druhy s širší ekologickou valencí, vázané na vlhké biotopy - *Fruticicola fruticum*, *Isognomostoma isognomostomos*, *Arianta arbustorum*. Je zde také zastoupen silvikolní druh *Alinda biplicata*. Mezi nalezené náročnější druhy patří *Perforatella bidentata* a *Aegopis verticillus*. (Vašátka et. al 2006).

Druhy umístěné vlevo dole jsou ubikvisté (obývají nejrůznější stanoviště). Patří sem *Vitrina pellucida*, *Daudebardia brevipes*, *Daudebardia rufa* a *Monachoides vicinus*. (Horsák et. al 2013).

7. Závěr

Na území přírodní rezervace U Nového hradu a zřícenině Nový hrad byl proveden malakologický průzkum celkem na 14 lokalitách. Byla porovnávána diverzita rezervace a zříceniny. Také byl zaznamenán a vyhodnocen vliv ekologických faktorů na počet druhů. Výsledky byly shrnuty do tabulky a druhy byly zařazeny do ekologických skupin. Data byla analyzována pomocí Spearmanových korelací a lineární regrese. Diverzita a vztah druhů k jednotlivým stanovištím byl porovnáván krabicovými grafy a ordinační analýzou (NMDS).

Z výzkumu vyplývá, že půdní pH má pozitivní vliv na počet druhů měkkýšů. Na zřícenině se průměrně vyskytovalo na jedné lokalitě více druhů než v rezervaci. Je to dáno obsahem CaCO_3 v maltě použité při stavbě hradu, která zapříčiňuje vyšší hodnotu půdního pH. Na zřícenině se také vyskytovalo průměrně více jedinců. Přesto se ale nepotvrdila významnost vztahu mezi počtem jedinců a hodnotě půdního pH.

8. Seznam použitých zdrojů

- CAMERON, R.A.D. (1973): Some woodland mollusc faunas from southern England. *Malacologia*.14, 355-370.
- DARWIN CH. (1859): *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* 1. vydání. Londýn.: John Murray.
- HETTENBERGEROVÁ E. et al. (2013): *Species richness and composition along a moisture gradient*: *Preslia* 85: 369 388.
- HORSÁK M. et al. (2013): *Měkkýši České a Slovenské republiky Zlín*: Kabourek
- HORSÁK M. & HORSÁKOVÁ V. (2015): *Malakozoologův průvodce (makro)ekologií Praha*. Nakladatelství Academia. *Živa*. Květen 245 248.
- JUŘIČKOVÁ L., KUČERA T. (2005): *Ruins of medieval castles as refuges of interesting land snails in the landscape* In: Tajovský, K., Schlaghamerský, J. & Pižl, V. (eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe*, 41 46. České Budějovice ISB AS CR,.
- LISICKÝ M. (1991): *Mollusca Slovanska Bratislava*: Veda.
- LOŽEK V. (1962): *Soil conditions and their influence on terrestrial gastropoda in Central Europe* In: MURPHY P. W. (ed.), *Progress in Soil Zoology*, Oxford. Butterworths.
- LOŽEK V. (1964): *Quartärmollusken der Tschechoslowakei* Praha. Československá akademie věd.
- LOŽEK V. & HORÁČEK J. I. (2004): V. 2004: *Ledová doba z pohledu zoologa I. Glaciální fauna a historie její výpovědi*. *Živa* 52
- MÜLLER J. et al. (2005): *Habitat factors for land snails in European beech forests with a special focus on coarse woody debris* *European Journal of Forest Research*
- PFLEGER V. (1988) *Měkkýši Praha*. Artia.
- VAŠÁTKO J., LOŽEK V., HORSÁK M. (2006): *Měkkýši Moravského krasu Blansko*. Reproncentrum a.s.
- VYMAZALOVÁ M. (2013): *Botanický inventarizační průzkum Přírodní rezervace U Nového hradu Brno*.

WALLACE A. R. (1878): *Tropical Nature and Other Essays*. London & New York: Macmillan & Co.

WÄREBORN I. (1969): *Land molluscs and their environments in an oligotrophic area in southern Sweden*. *Oikos*, 20: 461–479.

WÄREBORN I. (1979): *Reproduction of two species of land snails in relation to calcium salts in the Foerna layer*. *Malacologia*, 18: 177–180.

WÄREBORN I. (1992): *Changes in the land mollusc fauna and soil chemistry in an inland district in southern Sweden*. *Ecography*, 15: 41–44

Internetové zdroje:

<http://slpkrtiny.cz> datum návštěvy listopad 2015

<http://mapy.cz> datum návštěvy leden 2016

<http://rstudio.com> datum návštěvy leden 2016

<http://novyhrad.eu> datum návštěvy listopad 2015

<http://geology.cz> datum návštěvy listopad 2015

(OKSANEN et al., 2012): *Vegan: community ecology package*. R package version 2.0-5. dostupný na: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan> datum návštěvy leden 2016

9. Přílohy

9.1 Charakteristika ekologických skupin plžů zastoupených v rezervaci a na zřícenině (podle Lisického s drobnými aktualizacemi)

- 1SI Pouze lesní druhy, které se výjimečně vyskytují i mimo les.
- 1SI(p) Druhy žijící na skalách.
- 2SI(MS) Druhy obývající lesní biotopy, ale i jiná stanoviště, např. zahrady, parky.
- 2SIth Druhy žijící na nelesních stanovištích.
- 3Sih Silně vlhkomilné druhy.
- 3Sii Druhy žijící v bahnitých, lužních lesích.
- 4STp Skalní druhy žijící na suchých vysluněných místech často ovlivněných vápencem.
- 5PT Druhy otevřených krajín.
- 5PT(SI) Druh, který se může vyskytnout i v podmínkách řídkého zapojení lesa.
- 5SS Jeden druh, který se vyskytuje na slunných xerothermních stanovištích, proniká i do řídkého lesa.
- 7MS Druhy s širokou ekologickou valencí, málo citlivé a polní druhy.
- 7Slp Druhy žijící na skalách i v lese.
- 8HG Druhy silně vlhkomilné, nejsou bezprostředně vázané na vodu.

(Lisický 1991)

9.2 Půdní konduktivita

Tabulka 1 - Měřená půdní konduktivita stanovišť.

| stanoviště rezervace č. | půdní konduktivita ($\mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$) |
|-------------------------|--|
| A1 | 89,5 |
| A2 | 333 |
| A3 | 358 |
| A4 | 108,1 |
| A5 | 305 |
| A6 | 255 |
| A7 | 156,7 |
| A8 | 303 |
| A9 | 559 |
| A10 | 295 |

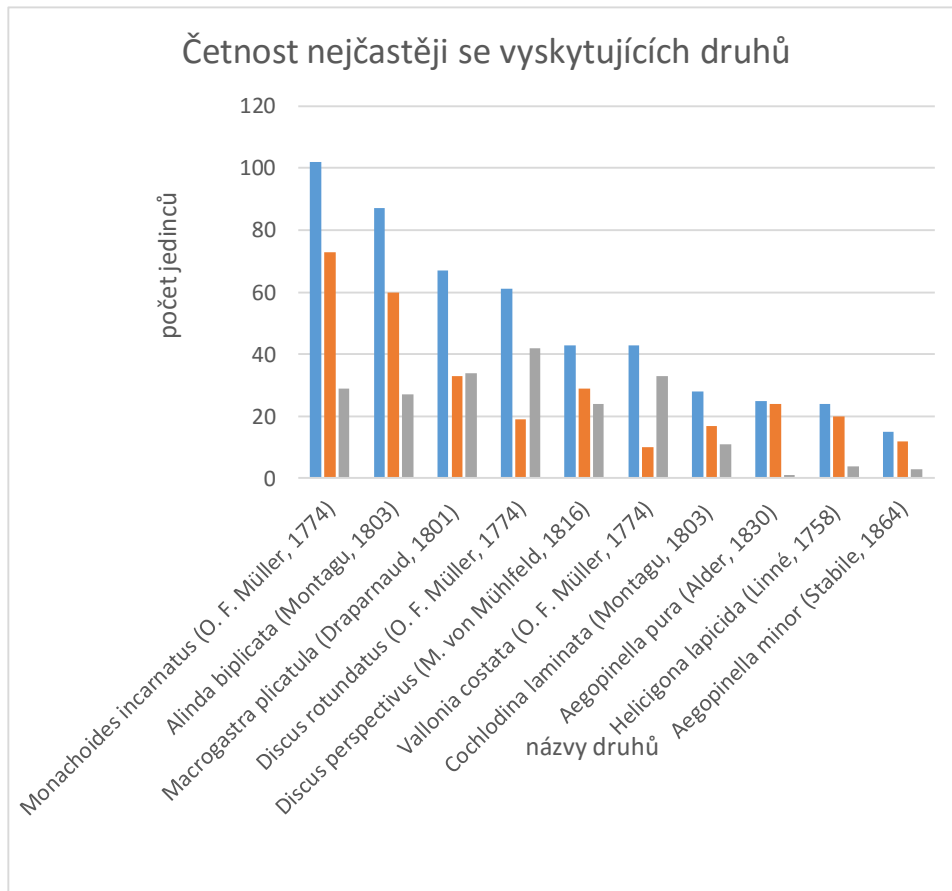
| stanoviště zříceniny č. | půdní konduktivita ($\mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$) |
|-------------------------|--|
| Z1 | 291 |
| Z2 | 149 |
| Z3 | 334 |
| Z4 | 561 |

9.3 Půdní pH a počet druhů

Tabulka 2 – Naměřená hodnota půdního pH a počet nalezených druhů.

| Stanoviště | pH | počet druhů |
|------------|------|-------------|
| A1 | 4,88 | 7 |
| A2 | 5,52 | 15 |
| A3 | 7,19 | 21 |
| A4 | 4,21 | 4 |
| A5 | 5,63 | 5 |
| A6 | 5,43 | 10 |
| A7 | 4,57 | 12 |
| A8 | 6,11 | 13 |
| A9 | 5,77 | 4 |
| A10 | 5,89 | 6 |
| Z1 | 7,71 | 15 |
| Z2 | 7,71 | 16 |
| Z3 | 7,84 | 14 |
| Z4 | 7,71 | 16 |

9.4 Abundance nejčastěji se vyskytujících druhů



Obrázek 1 Nejčastěji se vyskytující druhy v rezervaci a na zřícenině. Modrá celková početnost, Oranžová v rezervaci, Šedá na zřícenině.

9.5 Použité funkce v programu R

Nahrání knihovny použité pro ordinaci NMDS

```
> library(vegan)
```

Nahrání dat

```
> Malakofauna <- read.delim("D:/Project/export.txt")
```

Vytvoření boxplotu

```
> boxplot(Malakofauna$pocet.druhu ~ Malakofauna$skupina,)
```

Pojmenování os, názvu grafu

```
> ... ylab='Počet druhů', xlab='konduktivita', main= 'Závislost počtu druhů na konduktivitě',  
data= Malakofauna)
```

Logaritmování dat

```
> speL <- log1p(spe)
```

Spearmanovy korelace – test

```
> cor(Malakofauna$pocet.druhu, Malakofauna$pH, method = "spearman")  
> cor.test(Malakofauna$pocet.druhu, Malakofauna$pH, method = "spearman",  
exact = FALSE)
```

Vytvoření bodového grafu a lineární regrese, barevné odlišení typů dat

```
> plot(pocet.druhu ~ pH, data=Malakofauna, col = Malakofauna$skupina, pch = 16)  
> abline(model2,col=4)
```

Vytvoření ordinace NMDS

```
> nMDSL <- metaMDS(speL, distance = "bray")  
> plot(nMDSL, display = "sites", main = "Sites", type = 't')  
> plot(nMDSL, display = "sites", main = "Sites")  
> points(nMDSL, display = "sites", col = barva[b], pch = 16)  
> plot(nMDSL, display = "species", main = "Species", type = 't')
```


9.6 Tabulka zahrnující počty druhů na jednotlivých stanovištích

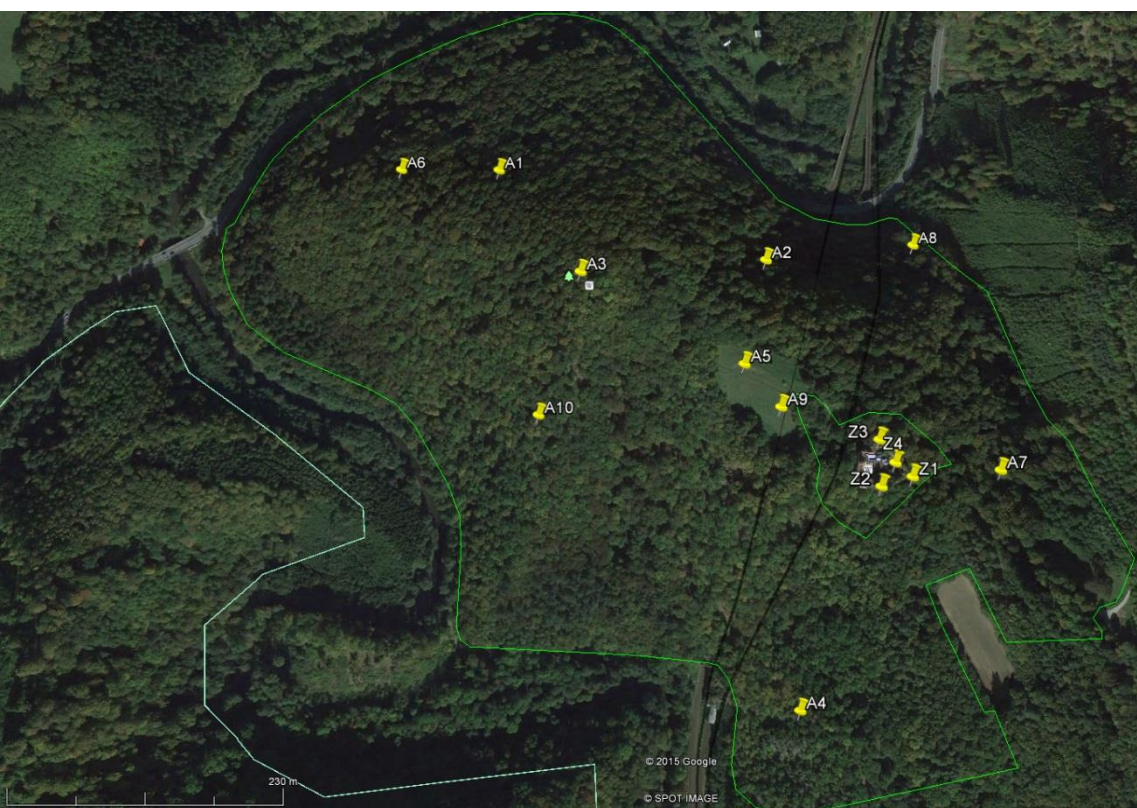
Tabulka 3 - Početnost druhů na všech stanovištích a jejich zastoupení v ekologických skupinách. Žlutě jsou vyznačeni názi plži, kteří jsou vyřazeni z analýz získaných dat.

| Ekologická skupina | druh | Zkoumaná stanoviště | | | | | | |
|---|--|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | | Přírodní rezervace U Nového hradu | | | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| 1 | Acanthinula aculeata (O.F. Müller, 1774) | | | 3 | | | | 1 |
| | Cochlodina laminata (Montagu, 1803) | | | 5 | | | 1 | 2 |
| | Macrogastra plicatula (Draparnaud, 1801) | 9 | 15 | | | | 4 | |
| | Ruthenica filograna (Rossmässler, 1836) | | | 1 | | 1 | | |
| | Aegopis verticillus (Lamarck, 1822) | | 2 | 1 | | | | 3 |
| | Aegopinella pura (Alder, 1830) | | 2 | 2 | 1 | | | 7 |
| | Oxychilus depressus (Sterki, 1880) | | | | | | | |
| | Daudebardia brevipes (Draparnaud, 1805) | 1 | | | | | 1 | |
| | Daudebardia rufa (Draparnaud, 1805) | | | | | | 1 | |
| | Arion silvaticus Lohmander, 1937 | 1 | | | | | 1 | |
| | Discus perspectivus (M. von Mühlfeld, 1816) | | | 4 | 20 | | | 2 |
| | Deroceras turcicum (Simroth, 1894) | 1 | | | | | | |
| | Faustina faustina (Rossmässler, 1835) | | | 1 | | | | |
| | Isognomostoma isognomostomos (Schröter, 1784) | | 1 | | | | | 1 |
| Causa holosericea (Studer, 1820) | | | 2 | | | | | |
| SI Helicodonta obvoluta (O. F. Müller, 1774) | | 1 | | | | 1 | | |
| SI(p) Lehmannia marginata (O.F. Müller, 1774) | | 1 | | 3 | | 1 | | |
| 2 | Alinda biplicata (Montagu, 1803) | 5 | 3 | 40 | | | | 7 |
| | Discus rotundatus (O.F. Müller, 1774) | | | 1 | 15 | | 1 | 2 |
| | Arion fuscus (O. F. Müller, 1774) | 2 | | 1 | | 1 | 2 | |
| | Oxychilus glaber (Rossmässler, 1835) | | | | | | | |
| | Cepaea hortensis (O. F. Müller, 1774) | | 3 | 2 | | | | |
| | Limax cinereoniger Wolf, 1803 | | | | 1 | | 10 | |
| | Arianta arbustorum (Linnaeus, 1758) | | 1 | | | | | 2 |
| | Monachoides incarnatus (O. F. Müller, 1774) | 12 | 7 | 5 | | | 6 | 20 |
| | SI(MS) Fruticicola fruticum (O. F. Müller, 1774) | | 1 | 1 | | | | |
| Sith Aegopinella minor (Stabile, 1864) | 2 | 3 | | | | 1 | 1 | |
| Sith Helix pomatia Linné, 1758 | | 3 | 5 | | | | | |
| 3 | Macrogastra ventricosa (Draparnaud, 1801) | | | | | | | |
| | SIh Monachoides vicinus (Rossmässler, 1842) | | 1 | | | | 1 | |
| | Sli Urticicola umbrosus (Pfeiffer, 1828) | | | 1 | | | | |
| 4 | STp Perforatella bidentata (Gmelin, 1791) | | | | | | | 1 |
| | STp Ceciliooides acicula (O. F. Müller, 1774) | | | | | | | |
| 5 | STp Cepaea vindobonensis (C. Pfeiffer, 1828) | | | | | 3 | | |
| | PT Pupilla muscorum (Linné, 1758) | | | | | | | |
| | PT(SI) Vallonia pulchella (O. F. Müller, 1774) | | | 1 | | 1 | | |
| 7 | SS Truncatellina cylindrica (A. Férussac, 1807) | | | | | 15 | | |
| | PT(SI) Vallonia costata (O. F. Müller, 1774) | | | 2 | 2 | 3 | | |
| | SS Euomphalia strigella (Draparnaud, 1801) | | | | | | | |
| 7 | Punctum pygmaeum (Draparnaud, 1801) | | | 1 | | | | |
| | Vitrina pellucida (O.F. Müller, 1774) | | 1 | | | | | |
| | Trochulus hispidus (Linné, 1758) | | | 2 | | | | |
| | Arion distinctus Mabilie, 1868 | | | | | | | |
| | Cochlicopa lubrica (O. F. Müller, 1774) | | | | | | | |
| | MS Arion vulgaris Moquin-Tandon, 1855 | 1 | | | | | | |
| | MS Laciniaria plicata (Draparnaud, 1801) | | | 1 | | | | |
| MS Oxychilus cellarius (O. F. Müller, 1774) | | | | | | | | |
| 8 | Slp Clausilia dubia Draparnaud, 1805 | | | | | | | |
| | HG Helicigona lapicida (Linné, 1758) | 3 | 1 | 15 | | | 2 | |
| 8 | HG Carychium tridentatum (Risso, 1826) | | | | | | | |

| Ekologická skupina | druh | Zkoumaná stanoviště | | | | | | |
|---|--|-----------------------------------|----|-----|------------------|----|----|----|
| | | Přírodní rezervace U Nového hradu | | | hradní zřícenina | | | |
| | | A8 | A9 | A10 | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
| 1 | Acanthinula aculeata (O.F. Müller, 1774) | | | | 1 | 1 | | |
| | Cochlodina laminata (Montagu, 1803) | 5 | | 4 | 3 | | 4 | 4 |
| | Macrogastera plicatula (Draparnaud, 1801) | 5 | | | 8 | 6 | 8 | 12 |
| | Ruthenica filograna (Rossmässler, 1836) | | | | 1 | | | |
| | Aegopis verticillus (Lamarck, 1822) | | | | | | | |
| | Aegopinella pura (Alder, 1830) | 5 | | 7 | 1 | | | |
| | Oxychilus depressus (Sterki, 1880) | | | | 1 | | | |
| | Daudebardia brevipes (Draparnaud, 1805) | | | | | | | |
| | Daudebardia rufa (Draparnaud, 1805) | | | | | | | |
| | Arion silvaticus Lohmander, 1937 | | | | | | | |
| | Discus perspectivus (M. von Mühlfeld, 1816) | 3 | | | 2 | 3 | 11 | 8 |
| | Deroceas turcicum (Simroth, 1894) | | | | 1 | | | |
| | Faustina faustina (Rossmässler, 1835) | | | | | | | |
| | Isognomostoma isognomostomos (Schröter, 1784) | | | | | | | 1 |
| Causa holosericea (Studer, 1820) | | | | | | | | |
| SI Helicodonta obvolvata (O. F. Müller, 1774) | 1 | | | | | | | |
| SI(p) Lehmannia marginata (O.F. Müller, 1774) | | | | 1 | 3 | | | |
| 2 | Alinda biplicata (Montagu, 1803) | 5 | | | | 1 | 18 | 8 |
| | Discus rotundatus (O.F. Müller, 1774) | | | | | 6 | 15 | 21 |
| | Arion fuscus (O. F. Müller, 1774) | | | | | | | |
| | Oxychilus glaber (Rossmässler, 1835) | | | | 1 | | | |
| | Cepaea hortensis (O. F. Müller, 1774) | | 2 | | | | | |
| | Limax cinereoniger Wolf, 1803 | | | | 1 | | | |
| | Arianta arbustorum (Linnaeus, 1758) | | | | | | | 1 |
| | Monachoides incarnatus (O. F. Müller, 1774) | 9 | 7 | 6 | | 6 | 18 | 6 |
| | SI(MS) Fruticicola fruticum (O. F. Müller, 1774) | | | | | | | |
| | SIth Aegopinella minor (Stabile, 1864) | | | 5 | 1 | 2 | | |
| SIth Helix pomatia Linné, 1758 | | | | 5 | | 2 | | |
| 3 | Macrogastera ventricosa (Draparnaud, 1801) | 1 | | | | | | |
| | Monachoides vicinus (Rossmässler, 1842) | | | | | | | |
| | SIh Urticicola umbrosus (Pfeiffer, 1828) | | | | | | | |
| 4 | SIi Perforatella bidentata (Gmelin, 1791) | | | | | | | |
| | STp Ceciliooides acicula (O. F. Müller, 1774) | | | | | 1 | | |
| 5 | STp Cepaea vindobonensis (C. Pfeiffer, 1828) | | | | 2 | | | |
| | Pupilla muscorum (Linné, 1758) | | | | | 2 | 1 | |
| | PT Vallonia pulchella (O. F. Müller, 1774) | | | | | 4 | 2 | 1 |
| | PT Truncatellina cylindrica (A. Férussac, 1807) | | 5 | | | 3 | | 1 |
| 7 | PT(SI) Vallonia costata (O. F. Müller, 1774) | 1 | 1 | 1 | 5 | 11 | 15 | 2 |
| | SS Euomphalia strigella (Draparnaud, 1801) | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Punctum pygmaeum (Draparnaud, 1801) | | | | 1 | | | 1 |
| | Vitrina pellucida (O.F. Müller, 1774) | | | | | | | |
| | Trochulus hispidus (Linné, 1758) | | | | | | | |
| | Arion distinctus Mabilie, 1868 | | | | 1 | | | |
| | Cochlicopa lubrica (O. F. Müller, 1774) | | | | | | 1 | 2 |
| | Arion vulgaris Moquin-Tandon, 1855 | | | | 1 | | | |
| | MS Laciniaria plicata (Draparnaud, 1801) | 1 | | | | | 1 | |
| | MS Oxychilus cellarius (O. F. Müller, 1774) | 1 | | | | 1 | 6 | 1 |
| SIp Clausilia dubia Draparnaud, 1805 | | | | 3 | | | | |
| SIp Helicigona lapicida (Linné, 1758) | | | 1 | 1 | 3 | | | |
| 8 | HG Carychium tridentatum (Risso, 1826) | 1 | | | | | | |

Tabulka 4 *Souřadnice stanovišť.*

| | označení | pracovní název | zeměpisná šířka | zeměpisná délka |
|----------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Stanoviště rezervace | A1 | U červené | 49.32704 | 16.63675 |
| | A2 | Nad tunelem | 49.3258853 | 49.3258853 |
| | A3 | U starého hradu | 49.32588 | 16.63803 |
| | A4 | Skály | 49.32202 | 16.64104 |
| | A5 | Louka | 49.32504 | 16.64028 |
| | A6 | I Zátáčky | 49.32714 | 16.63523E |
| | A7 | Blízko hradu | 49.32409 | 16.64370 |
| | A8 | Potok | 49.32640 | 16.64287 |
| | A9 | Louka kámen | 49.32465 | 16.64077 |
| Stanoviště zříceniny | Z1 | Pod hradem | 49.3240172 | 16.6424847 |
| | Z2 | Hradby | 49.3239342 | 16.6420692 |
| | Z3 | Nádvoří | 49.32434 | 16.64206 |
| | Z4 | Za Stanem | 49.32414 | 16.64226 |



Obrázek 2 *Mapa zobrazující polohy stanovišť.* Stanoviště A1-A10 připadají rezervaci, stanoviště Z1-Z4 zřícenině. (google Earth).

9.7 Zkratky použité v Analýze NDMS

| | |
|--|---------|
| <i>Acanthinula aculeata</i> (O.F. Müller, 1774) | Aca.acu |
| <i>Cochlodina laminata</i> (Montagu, 1803) | Coc.lam |
| <i>Macrogastera plicatula</i> (Draparnaud, 1801) | Mac.pli |
| <i>Ruthenica filigrana</i> (Rossmässler, 1836) | Rut.fil |
| <i>Aegopis verticillus</i> (Lamarck, 1822) | Aeg.ver |
| <i>Aegopinella pura</i> (Alder, 1830) | Aeg.pur |
| <i>Oxychilus depressus</i> (Sterki, 1880) | Oxy.dep |
| <i>Daubebardia brevipes</i> (Draparnaud, 1805) | Dau.bre |
| <i>Daubebardia rufa</i> (Draparnaud, 1805) | Dau.ruf |
| <i>Discus perspectivus</i> (M. von Mühlfeld, 1816) | Dis.per |
| <i>Faustina faustina</i> (Rossmässler, 1835) | Fau.fau |
| <i>Isoptomostoma isoptomostomos</i> (Schröter, 1784) | Iso.iso |
| <i>Causa holosericea</i> (Studer, 1820) | Cau.hol |
| <i>Helicodonta obvoluta</i> (O. F. Müller, 1774) | Hel.obv |
| <i>Alinda biplicata</i> (Montagu, 1803) | Ali.bip |
| <i>Discus rotundatus</i> (O.F. Müller, 1774) | Dis.rot |
| <i>Oxychilus glaber</i> (Rossmässler, 1835) | Oxy.gla |
| <i>Cepaea hortensis</i> (O. F. Müller, 1774) | Cep.hor |
| <i>Arianta arbustorum</i> (Linnaeus, 1758) | Ari.arb |
| <i>Monachoides incarnatus</i> (O. F. Müller, 1774) | Mon.inc |
| <i>Fruticicola fruticum</i> (O. F. Müller, 1774) | Fru.fru |
| <i>Aegopinella minor</i> (Stabile, 1864) | Aeg.min |
| <i>Helix pomatia</i> Linné, 1758 | Hel.pom |
| <i>Macrogastera ventricosa</i> (Draparnaud, 1801) | Mac.ven |
| <i>Monachoides vicinus</i> (Rossmässler, 1842) | Mon.vic |
| <i>Urticicola umbrosus</i> (Pfeiffer, 1828) | Urt.umb |
| <i>Perforatella bidentata</i> (Gmelin, 1791) | Per.bid |
| <i>Cecilioides acicula</i> (O. F. Müller, 1774) | Cec.aci |
| <i>Cepaea vindobonensis</i> (C. Pfeiffer, 1828) | Cep.vin |
| <i>Pupilla muscorum</i> (Linné, 1758) | Pup.mus |
| <i>Vallonia pulchella</i> (O. F. Müller, 1774) | Val.pul |
| <i>Truncatellina cylindrica</i> (A. Férussac, 1807) | Tru.cyl |
| <i>Vallonia costata</i> (O. F. Müller, 1774) | Val.cos |
| <i>Euomphalia strigella</i> (Draparnaud, 1801) | Euo.str |
| <i>Punctum pygmaeum</i> (Draparnaud, 1801) | Pun.pyg |
| <i>Vitrina pellucida</i> (O.F. Müller, 1774) | Vit.pel |
| <i>Trochulus hispidus</i> (Linné, 1758) | Tro.his |
| <i>Cochlicopa lubrica</i> (O. F. Müller, 1774) | Coc.lub |
| <i>Laciniaria plicata</i> (Draparnaud, 1801) | Lac.pli |
| <i>Oxychilus cellarius</i> (O. F. Müller, 1774) | Oxy.cel |
| <i>Clausilia dubia</i> Draparnaud, 1805 | Cla.dub |
| <i>Helicigona lapicida</i> (Linné, 1758) | Hel.lap |
| <i>Carychium tridentatum</i> (Risso, 1826) | Car.tri |



Obrázek 3 *Louka (poloha A5), blízko hradní zříceniny (foto M. Chytrý).*



Obrázek 4 *Novohradský tunel (foto M. Chytrý).*



Obrázek 5 *Sušové lesy (foto M. Chytrý).*



Obrázek 6 *Skalní stanoviště (foto M. Chytrý).*



Obrázek 7 Odběr hrabanky pomocí rámečku 30 × 30 cm.