

Vztah vegetace pramenišť západočeské zřidelní oblasti k chemismu prostředí

Relationships between spring vegetation and environmental chemistry in West-Bohemian mineral-spring region

Jitka L a b u r d o v á ^{1,2)} & Michal H á j e k ^{2,3)}

¹⁾ *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Správa CHKO Orlické hory a KS Hradec Králové, Dobrovského 336, 516 01 Rychnov nad Kněžnou (pracoviště Resslova 1229, 500 02 Hradec Králové); e-mail: 364288@mail.muni.cz*

²⁾ *Ústav botaniky a zoologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: hajek@sci.muni.cz*

³⁾ *Oddělení vegetační ekologie, Botanický ústav Akademie věd ČR, Lidická 25/27, 602 00 Brno*

Abstract

The paper deals with the relationship between vegetation and water chemistry in the West Bohemian spring area (western part of the Czech Republic). Springs in this area have various water chemistry features, with increased metal concentration in some cases, and the relationships between vegetation and environmental chemistry are not yet well known. In the study area, 28 treeless springs were chosen to investigate this relationship. Phytosociological relevés were made at all localities and are presented in this paper. Chemical parameters of water and plant biomass were measured. Water pH appeared to have a highly significant effect on the species composition of the vegetation. The first DCA axis, corresponding to the poor-rich vegetation gradient, correlated with pH and concentrations of calcium, magnesium and sodium. Concentration of particular elements in water correlated largely to that in the bryophyte and vascular plant biomass and agreed with the interpretations of the DCA ordination axes of vegetation composition. However, the second DCA axis, corresponding to an increasing occurrence of nutrient-demanding meadow species, only correlated with the N:P ratio in vascular plant biomass, which provided a clear interpretation of this axis in terms of nutrient availability. The revealed relationships between vegetation gradients and water and biomass chemistry are probably of general validity since they were also found in other temperate regions.

K e y w o r d s : biomass, bryophytes, pH, spring fen, vegetation, water chemistry, W Bohemia

N o m e n k l a t u r a : Kubát et al. (2002), Kučera et al. (2012)

Úvod

Prameniště jsou jedním z prostředí, které lze označit jako azonální biomy (Prach et al. 2009). Prameniště a prameništní rašeliniště jsou sycena podzemní vodou, dominují na

nich cévnaté rostliny z čeledi *Cyperaceae* a mechorosty, kromě rašeliníků i takzvané „hnědé mechy“, tj. pleurokarpní nerašeliníkové mechy (Jóža et al. 2004, Hájek & Hájková 2007, Chytrý 2011). V minulých letech probíhal v České republice detailní výzkum vztahů vegetace pramenišť a prameništích rašeliníšť k chemismu prostředí zejména v Karpatech (Hájek et al. 2002) a na Třeboňsku (Navrátilová et al. 2006). V západočeské zřidelní oblasti jsou minerální prameny pozůstatkem třetihorního vulkanismu a jsou předmětem výzkumu mnoha autorů, zvláště z geologického a hydrogeologického hlediska (Kolářová & Myslík 1979, Klír 1982). Kolářová & Myslík (1979) uvádějí i výsledky některých chemických rozborů pramenů ve studované oblasti z období 50. až 70. let 20. století. Západočeským prameništím byla ojediněle věnována pozornost i ve vegetačních studiích. Nevečeřal (1986) popsal vegetaci několika pramenišť v jižní části Slavkovského lesa. Podrobnějším výzkumem vegetace některých míst v NPR Soos, PR Smrďoch a lokalit Vackovec a Číhaná se zabývali Lederer & Chocholoušková (1998) a Martínek (1999). Některé floristické údaje z maloplošných zvláště chráněných území ve studované oblasti jsou zmíněny v publikacích Zahradnický & Mackovčín (2004) a Kučera (2009).

Protože se v této oblasti vyskytují mokřady s neobvyklým chemismem vody (Kolářová & Myslík 1979), nelze vztahy mezi vegetací a prostředím jednoduše predikovat na základě dat z jiných území. Další motivací ke studiu pramenišť v této oblasti je jejich současné ohrožení. V západočeské zřidelní oblasti byly některé lokality zasaženy změnou vodního režimu a eutrofizací (Zahradnický & Mackovčín 2004), což může vést k ústupu druhů typických pro slatiniště a přibývání lučních druhů ze společenstev svazu *Calthion* (van der Hoek et al. 2004, Hájek et al. 2006). V důsledku odvodnění lokality se živiny na stanovišti mineralizují a stávají se při opětovném zamokření přístupnějšími pro rostliny (Verhoeven et al. 1996, Aldous et al. 2005). Přibývání širokolistých bylin a trav ve společenstvech slatinišť může být způsobeno i změnou obhospodařování lokalit, což je patrné i na druhovém složení některých nekosených lokalit ve studovaném území (Nevečeřal 1986, Zahradnický & Mackovčín 2004, Novotná 2008). Nekosení lokalit může vést až k postupné přeměně lučních pramenišť v tužebníkovou lada, porosty vysokých ostříc, rákosiny, nálety vrb či bříz nebo lesní vegetaci mokřadních olšin a luhů. Změny vodního režimu, eutrofizace nebo absence managementu ovlivňují na prameništích druhovou bohatost cévnatých rostlin i mechorostů (Hájková & Hájek 2003). Druhová bohatost se sice v případě odvodnění, eutrofizace a absence managementu krátkodobě zvyšuje, ale snižuje se početnost konkurenčně slabých a často i vzácných slatiništních druhů, které nejsou na přílišné zvýšení množství živin adaptované (Hájek & Hájková 2007).

Druhové složení vegetace pramenišť a rašeliníšť ovlivňuje zejména chemické složení vody, což bylo prokázáno na různých místech České republiky a detailnějšími studiemi v Karpatech a na Třeboňsku (Hájková et al. 2004, Hájková & Hájek 2004, Navrátilová et al. 2006), ale i v jiných částech Evropy (Wheeler & Proctor 2000, Økland et al. 2001, Audorff et al. 2011, Sekulová et al. 2012). Chemismus prameništní vody určuje nejen celkovou druhovou skladbu, ale i druhovou bohatost (Hájková & Hájek 2003). Hlavními determinanty druhového složení vegetace jsou především pH a množství vápníku a hořčíku, které

indikuje konduktivita vody (Hájková & Hájek 2004, Sekulová et al. 2012). Přístupnost živin (dusíku, fosforu, draslíku) nekoreluje s gradientem pH a koncentrací vápníku přímo úměrně. Jednotlivé úseky vegetačního gradientu od bazických slatinišť po vrchoviště se spíše vyznačují vlastním typem živinové limitace (Vitt et al. 1995, Bragazza & Gerdol 2002, Rozbrojová & Hájek 2008, Kooijman & Hedenäs 2009). Velké koncentrace vápníku na vápnatých slatiništích například způsobují nepřístupnost železa (Tyler 2003) nebo fosforu pro rostliny (Boyer & Wheeler 1989). Právě zjišťování obsahu živin v rostlinné biomase a jejich poměrů může být vhodným ukazatelem typu živinové limitace daného stanoviště (Waughman 1980, Koerselman & Meuleman 1996, Olde Venterink et al. 2003, Rozbrojová & Hájek 2008). Obsahy jednotlivých limitujících živin pro rostliny lze zjistit i pomocí pokusů s hnojením (van Duren & Pegtel 2000), které musí být dlouhodobé a výrazně zasahují do studovaných ekosystémů, často maloplošných a ohrožených (Koerselman & Meuleman 1996). Na rozdíl od cévnatých rostlin se jen málo prací zabývá výzkumem vztahu koncentrace prvků v mechorostech k chemismu prostředí a druhovému složení vegetace. Ojedinelé studie naznačují, že koncentrace vápníku a hořčíku ve vodě a v biomase mechů spolu korelují (Malmer et al. 1992). Ve studii z Polska (Wojtuń 1994) rostla koncentrace fosforu a draslíku v biomase rašeliníků podél gradientu od vrchovišť po slatiniště. Koncentrace jednotlivých prvků v biomase různých druhů rašeliníků z bultů a šlenků na vrchovišti se však může lišit i v rámci jedné lokality (Hájek & Adamec 2009).

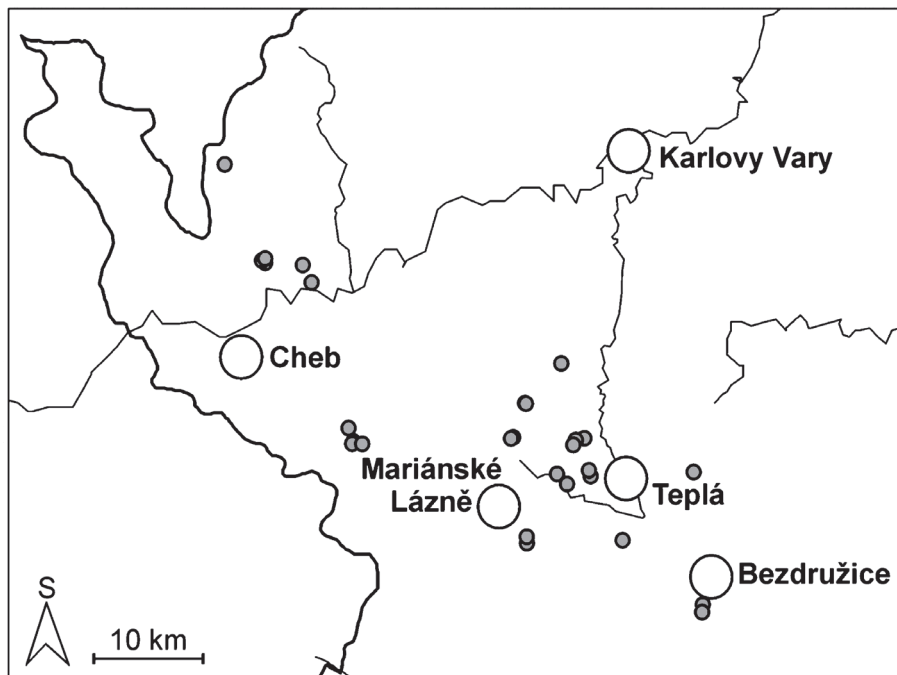
Výzkum v západočeské zřidelní oblasti, která se vyznačuje specifickými podmínkami chemismu vody (například vysokými koncentracemi některých kovů), by mohl napovědět, do jaké míry jsou vztahy mezi chemismem vody, chemickým složením biomasy cévnatých rostlin a mechorostů a druhovým složením vegetace obecné. Mohl by i ukázat, jaké faktory předurčují pestrost druhového složení zdejších prameništích mokřadů. Cílem této práce je proto přinést základní údaje o druhovém složení vegetace pramenišť a jeho vztahu k chemismu vody a nadzemní biomasy rostlin v západočeské zřidelní oblasti.

Popis studovaného území

Klimatická charakteristika

V západočeské zřidelní oblasti převládá vliv oceanického klimatu nad kontinentálním. Vliv na lokální klima má i nadmořská výška a reliéf (Kolářová & Myslíl 1979, Klír 1982, Zahradnický & Mackovčín 2004).

Průměrná roční teplota se v nejvýše položených částech studovaného území ve Slavkovském lese pohybuje v rozmezí 5–6 °C, v Tachovské brázdě a oblasti Smrčín (kolem Plesné) v rozmezí 6–7 °C a v Chebské pánvi v rozmezí 7–8 °C. Nejméně srážkově bohaté jsou Chebská pánev a Bezručicko s průměrným ročním úhrnem srážek 550–600 mm. Většina studovaného území (Tepelsko, Tachovská brázda, níže položené části Slavkovského lesa, Smrčiny a okolí Chebské pánve) má srážkové úhrny v rozmezí 600–700 mm ročně. Výše položené části Slavkovského lesa mají srážkové úhrny 700–800 mm ročně (Tolasz 2007).



Obr. 1. – Mapa studovaného území a lokalizace studovaných ploch.

Fig. 1. – Map of the study area and location of study sites.

Hydrologické a hydrogeologické poměry

Západočeská zřídelní oblast náleží k povodí Labe. Část studovaného území odvodňuje Ohře a její přítoky – Plesná, Odava a Teplá a část Mže s přítoky – Kosový potok a Úterský potok (Zahradnický & Mackovčín 2004). V oblasti západočeských lázní je výskyt minerálních vod – kyselky – v rámci Evropy ojedinělý právě pro svou soustředěnost vývěrů v relativně malém území, která nemá v České republice obdobu (Milota & Bartoš 2008a). Minerální vody západočeské zřídelní oblasti jsou unikátní i svým různorodým chemickým složením. Jsou to převážně studené kyselky s vysokým obsahem oxidu uhličitého vázané na tektonické zóny v krystalinických horninách a tvoří i souvislé akumulace v terciérních sedimentech Chebské pánve (Kolářová & Myslíl 1979). Chebská pánev je tektonická deprese s propustným podložím, vlhkým klimatem a malým výparem, která shromažďuje vody širokého okolí s převládajícím výskytem puklinovo-průlinových podzemních vod bikarbonátového typu, často s vyšším obsahem sulfátů (Kolářová & Myslíl 1979, Zahradnický & Mackovčín 2004). Naproti tomu v krystaliniku Slavkovského lesa, Tepelské vrchoviny a Českého

lesa se podzemní vody (hydrogenuhlčitanové a hydrogenuhlčitanovo-síranové) vyskytují pouze v podpovrchovém zvětralém a rozpukaném pásnu a v tektonicky porušených zónách (Zahradnický & Mackovčín 2004).

Půdní podmínky

Většinu hydromorfních půd ve studované oblasti tvoří gleje, které lemují hustou sítí menších vodních toků, pramenišť a rybníků. Gleje jsou zde doprovázeny rašelinnými půdami, tzv. organozeměmi. V Chebské pánvi se navíc na písčitých a jílovitých sedimentech vyvinuly pseudogleje. V nivách velkých řek se procesem akumulace z nevápnitých sedimentů vyvinuly fluvizemě (Zahradnický & Mackovčín 2004).

Materiál a metodika

Fytoecenologické snímky

Studované lokality (viz obr. 1) byly vybrány podle předešlých terénních zkušeností (Laburdová 2008), nepublikovaných seznamů minerálních pramenů studovaného území (Křivanec & Milota 1995) a prací Milota & Bartoš (2008a, 2008b, 2009, 2011). Na každé lokalitě byl pořízen v létě roku 2010 nebo 2011 jeden čtvercový fytoecenologický snímek o velikosti 4×4 m. Pokryvnost všech pater byla zapisována pomocí kombinované devítičlenné Braun-Blanquetovy stupnice (Kent & Coker 1992), jež byla pro numerické analýzy převedena na hodnoty 1–9 (van der Maarel 1979). Ke každému snímku byly pomocí GPS přijímače (Garmin eTrex) zaznamenány zeměpisné souřadnice (WGS 1984) a nadmořská výška. Na každé lokalitě bylo přímo v terénu změřeno pH pomocí přístroje GPRT 1400 ANGL Greisinger a konduktivita v $\mu\text{S}/\text{cm}$ pomocí konduktometru GMH 3410 Greisinger standardizovaná na 25°C . Pokud bylo naměřené pH nižší než 5,5, byla od naměřené hodnoty konduktivity odečtena konduktivita způsobená vodíkovými ionty (korigovaná konduktivita podle Sjors 1950).

Odběry vzorků vody, biomasy a jejich zpracování

Z každé lokality byly odebrány vzorky vody a biomasy pro další analýzy. Vzorek vody byl odebrán na podzim roku 2010 přímo z místa vývěru pramene (na každé lokalitě jeden) pomocí injekční stříkačky. Odebraná voda byla ihned přefiltrována přes jednoduchou filtrační aparaturu s vývěvou.

Ze všech lokalit byla odebírána vrcholová část dominantních druhů mechorostů (přibližně délky 2 cm) do malých uzavíratelných igelitových sáčků. Vzorky vody a mechorostů byly pak zpracovány v laboratoři Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Koncentrace síranů ve vodě byla stanovena v laboratoři Botanického ústavu AV ČR v Třeboni.

Ve vzorcích vody proběhlo stanovení amonných kationtů (NH_4^+) dle normy ISO 11732, dusičnanů (NO_3^-) dle normy ISO 13395 a fosforečnanů (PO_4^{3-}) dle normy ISO 15681-1. Pro statistické analýzy byly koncentrace obou forem dusíku sečteny a s touto hodnotou bylo dále pracováno jako s koncentrací dusíku ve vodě. Stanovení síranů bylo provedeno kontinuální průtokovou spektrofotometrií (FIA) se spektrofotometrickou detekcí dle normy ISO 15682, za použití přístroje FIAstar 5012 (Foss Tecator, Švédsko). Obsahy sodíku (Na^+), draslíku (K^+), vápníku (Ca^{2+}), hořčíku (Mg^{2+}) a celkového železa (Fe) byly stanoveny metodou atomové absorpční spektrofotometrie (AAS), plamennou technikou na přístroji SpectrAA 640 Varian (Austrálie).

Z biomasy mechorostů byl dusík stanoven jako organický ve formě amonného iontu. Obdobně jako v práci Hájek & Adamec (2009) bylo předpokládáno, že tato forma dusíku u mokřadních mechorostů převládá, a že mechorosty nitrát hromadí málo (ten je hned redukován na amonnou formu). Stanovení amonného dusíku lze tedy v tomto případě považovat za ekvivalentní ke stanovení celkového dusíku. Stanovení bylo provedeno Kjeldahlovou metodou ze sušiny, vzniklý amoniak byl pak analyzován kolorimetricky

Tab. 1. – Proměnné použité ve statistických analýzách a jejich zkratky v grafech a tabulkách.

Tab. 1. – Environmental factors used in statistical analyses and their codes used in scatter diagrams and tables.

Zkratka proměnné / Environmental factor	Vysvětlení	Explanation
konduktivita	konduktivita	conductivity
vodPO ₄ , vodSO ₄ , vodNa, vodK, vodCa, vodMg, vodFe, vodN	koncentrace fosforečnanů, síranů, sodíku, draslíku, vápníku, hořčíku, železa a dusíku ve vodě	concentration of phosphates, sulphates, sodium, potassium, calcium, magnesium, iron and nitrogen in water
mechCa, mechFe, mechK, mechMg, mechN, mechPO ₄	koncentrace vápníku, železa, draslíku, hořčíku, dusíku a fosforečnanů v biomase mechorostů	concentration of calcium, iron, potassium, magnesium, nitrogen and phosphates in the biomass of mosses
mechN:P, mechN:K, mechCa:Fe, mechCa:P	poměr koncentrace dusíku a fosforu, dusíku a draslíku, vápníku a železa, vápníku a fosforu v biomase mechorostů	ratio of concentrations of nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, calcium and iron, and calcium and phosphorus in the biomass of mosses
ceK, ceCa, ceN, ceFe, ceP	koncentrace draslíku vápníku, dusíku, železa a fosforu v biomase cévnatých rostlin	concentration of potassium, calcium, nitrogen, iron and phosphorus in the biomass of vascular plants
ceN:P, ceN:K, ceCa:Fe, ceCa:P	poměr koncentrace dusíku a fosforu, dusíku a draslíku, vápníku a železa, vápníku a fosforu v biomase cévnatých rostlin	ratio of concentrations of nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, calcium and iron, and calcium and phosphorus in the biomass of vascular plants

průtokovou spektrofotometrií na přístroji FIAstar 5012. Pro stanovení fosforečnanů byl použit stejný způsob jako u dusíku. Pro stanovení kationtů (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ a celkového Fe) ze sušiny byla provedena extrakce kyselinou dusičnou (cca 200 µl kyseliny na cca 10 mg sušiny), následně byly vzorky analyzovány stejným způsobem jako vzorky vody (metodou AAS).

V létě roku 2011 byla z každé lokality z náhodně vybraného čtverce o velikosti 50 × 50 cm odebrána biomasa cévnatých rostlin. Biomasa z každého odběru byla usušena při pokojové teplotě, nastříhána na drobné několikacentimetrové kousky, promíchána a zvážena na váze s přesností na gramy. Z každého vzorku z jedné lokality bylo odváženo množství 20 g, které bylo rozemleto na homogenní prášek v Botanickém ústavu AV ČR v Brně. Takto připravené vzorky byly analyzovány ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka v Brně, kde byly homogenizovány, pomlety a přesety přes síto o velikosti ok 250 µm. Byl stanoven celkový dusík Dumasovou metodou na základě normy ISO 13654-2 (vzorek je postupně spalován a vzniklý N₂ je veden na teplotně vodivostní detektor). Pro další analýzy se vzorky rozkládaly za působení kyseliny dusičné, peroxidu vodíku a mikrovlnného záření. Stanovení fosforečnanů bylo pak provedeno metodou ICP-OES (optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem) na přístroji IRIS Intrepid II-XSP (Thermo Elemental). U dalších prvků (draslíku, vápníku a železa) byl pro stanovení použit atomový absorpční spektrofotometr AAnalyst 400 (Perkin Elmer).

Zpracování dat

Fytocenologické snímky byly v programu Juice (Tichý 2002) rozděleny do šesti skupin pomocí modifikované metody TWINSpan (Roleček et al. 2009). Pokryvnost druhů byla vážena pomocí tzv. nepravých druhů (pseudospecies) se třemi úrovněmi (0, 5 a 25 %). Následně bylo druhové složení zkoumané vegetace analyzováno ordinačními metodami s využitím programu Canoco 4.5 (Ter Braak & Šmilauer 2002).

Protože v druhových datech byla zaznamenána velká heterogenita (nejdelší gradient v datech byl delší než čtyřnásobek směrodatné odchylky), byla použita metoda DCA (detrendovaná korespondenční analýza, viz Lepš & Šmilauer 2003). Po provedení DCA se ukázalo, že lokalita Císařský pramen je velmi odlišná od ostatních, a proto byla pro další ordinační analýzy s druhovými daty (DCA) vyloučena. Pro každý snímek byla analýzou DCA získána pozice na první a druhé ordinační ose (tzv. „site score“), která byla pak korelována s měřenými parametry prostředí, aby bylo možné výsledné ordinační osy ekologicky interpretovat.

Normalita všech proměnných byla testována pomocí Shapiro-Wilk W testu v programu Statistica verze 10 (StatSoft Inc. 1984–2010). Nulová hypotéza o předpokladu normality dat byla u většiny proměnných zamítnuta (na hladině významnosti $\alpha = 0,05$), a proto byl ke všem korelačním analýzám použit neparametrický Spearmanův korelační koeficient. Byly testovány vzájemné korelace mezi živinami, korelace mezi koncentracemi stejných živin v biomase mechorostů, cévnatých rostlin a ve vodě a korelace mezi chemickými parametry a pozicí snímku na prvních dvou ordinačních osách. Chemické parametry (viz tab. 1), které korelovaly s polohou snímku na ordinačních osách, byly poté promítnuty jako pasivní proměnné ve výsledném ordinačním diagramu DCA.

Pro analýzu struktury v datech popisujících chemické složení vody, biomasy mechorostů a cévnatých rostlin byla použita analýza hlavních komponent (PCA) pro všechny studované plochy. V případě koncentrace živin v sušině mechorostů byly použity průměrné hodnoty spočtené ze všech druhů analyzovaných na lokalitě. Hodnoty chemických parametrů byly centrovány a standardizovány podle protokolu v programu Canoco 4.5 (ter Braak & Šmilauer 2002).

Výsledky

Ve snímcích na studovaných lokalitách jsme zaznamenali celkem 185 druhů vyšších rostlin, z toho 50 druhů mechorostů, 122 druhů cévnatých bylin a 13 druhů dřevin (stromů a keřů). Na studovaných lokalitách se vyskytovaly i některé ohrožené druhy cévnatých rostlin (Grulich 2012) a mechorostů (Kučera et al. 2012), jejich přehled podávají tab. 2 a 3.

Analýzou TWINSPAN bylo rozlišeno šest skupin snímků (společenstev) s význačným druhovým složením. Tři ze šesti vzniklých skupin obsahovaly snímky pouze z jedné nebo dvou lokalit. V jedné skupině (č. 1) byla zařazena lokalita Císařský pramen, která se druhovým složením vegetace velmi odlišuje od všech ostatních lokalit. Dominuje zde skřípinec *Tabernaemontanus* (*Schoenoplectus tabernaemontani*) a vegetaci lze zařadit do třídy *Phragmito-Magno-Caricetea*, svazu *Meliloto dentati-Bolboschoenion maritimi* a asociace *Schoenoplectetum tabernaemontani* (Chytrý 2011). Zjištěna byla velká koncentrace sodíku, draslíku a síranů ve vodě a velká konduktivita (viz příloha 3).

Další vegetačně vyhraněnou lokalitou jsou Mokřady pod Vlčkem (skupina č. 5), kde lze v blízkosti zapsaného snímku pozorovat dobře vyvinutou vegetaci svazu *Sphagno warnstorffii-Tomentypnion nitentis*. Vegetace nevápnitých slatinišť zde má poměrně velkou rozlohu, vyskytují se zde i společenstva svazu *Caricion canescentis-nigrae*. Naopak na lokalitách se spíše nižším pH a často s hojným výskytem rašeliníků jako jsou Sírňák (skupina č. 2), Vackovec, Hartoušov (skupina č. 3), Mechové údolí 2, Smrad'och 1 a 2 a Věra (skupina č. 4) se lze setkat se společenstvy svazu *Sphagno recurvi-Caricion canescentis*. Tato nebo podobná společenstva lze pozorovat i v blízkosti vývěrů na lokalitách patřících ke skupině č. 5 (Babice, Nová Ves a Vařící jezírko), i když zapsané snímky nejsou pro tento svaz zcela reprezentativní. Společenstva svazu *Caricion*

Tab. 2. – Cévnaté rostliny zařazené v červeném seznamu (Grulich 2012), které byly na studovaných lokalitách nalezeny během terénního výzkumu. Seznam zahrnuje i druhy, které nebyly zaznamenány ve fytoecenologických snímcích. Vysvětlivky: C1 – taxony kriticky ohrožené, C2 – taxony silně ohrožené, C3 – taxony ohrožené, C4 – taxony vzácnější vyžadující pozornost. Některé druhy cévnatých rostlin jsou chráněny vyhláškou MŽP ČR č. 395/1992 Sb.: §1 – taxony kriticky ohrožené, §2 – taxony silně ohrožené, §3 – taxony ohrožené.

Tab. 2. – Red-listed vascular plants (Grulich 2012) found in the studied springs during field research. The list also includes species not recorded in vegetation plots. Explanations: C1 – critically threatened taxa, C2 – endangered taxa, C3 – vulnerable taxa, C4 – taxa with lower risk/near threatened. Some of these species are protected under Regulation No. 395/1992 of the Ministry of the Environment of the Czech Republic: §1 – critically threatened taxa, §2 – endangered taxa, §3 – vulnerable taxa.

Kategorie / Category	Druh / Species	Lokalita / Locality
C1	<i>Glaux maritima</i> §1	Císařský pramen
	<i>Eleocharis quinqueflora</i> §2	Mokřady pod Vlčkem
	<i>Hammarbya paludosa</i> §1	Mechové údolí 2
	<i>Pedicularis palustris</i> §2	Mokřady pod Vlčkem
	<i>Scorzonera parviflora</i> §1	Císařský pramen
C2	<i>Parnassia palustris</i> §3	Luční pramen
	<i>Pinguicula vulgaris</i> §2	Mechové údolí 2
	<i>Rhynchospora alba</i> §1	Mechové údolí 2
	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	Císařský pramen
	<i>Trifolium spadiceum</i>	Horní Kramolín
C3	<i>Triglochin palustris</i>	Babice, Císařský pramen, Mokřady pod Vlčkem
	<i>Dactylorhiza majalis</i> §3	Horní Kramolín
	<i>Drosera rotundifolia</i> §2	Babice, Věra, Mechové údolí 1 a 2, Mokřady pod Vlčkem, Smraďoch 2
	<i>Menyanthes trifoliata</i> §3	Babice, Brtná, Číhaná 3, Mechové údolí 1
	<i>Oxycoccus palustris</i> §3	Babice, Mechové údolí 2, Smraďoch 1 a 2, Věra
	<i>Polygala multicaulis</i>	Mechové údolí 2
C4	<i>Salix rosmarinifolia</i>	Horní Kramolín, Chotěnov
	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> §3	Smraďoch 2
	<i>Epilobium palustre</i>	Babice, Císařský pramen, Číhaná 3, Dobrá Voda, Horní Kramolín, Luční pramen, Mechové údolí 1, Podhorní mlýn, Pěkovice, Plesná, Salajna, Služetín, Smraďoch 2
	<i>Potentilla palustris</i>	Babice, Brtná, Horní Kramolín, Mechové údolí 1, Podhorní mlýn, Plesná, Salajna, Vackovec, Věra
	<i>Tephrosieris crispa</i>	Horní Kramolín, Luční pramen
	<i>Valeriana dioica</i>	Babice, Brtná, Dobrá Voda, Horní Kramolín, Luční pramen, Salajna, Služetín

canescenti-nigrae se vyskytují na lokalitách Babice, Plesná, Mechové údolí 1, Luční pramen, Brtná, Horní Kramolín a nejspíše i Soos-mofeta, kde však místy již přechází do svazu *Calthion*. Vegetaci na ostatních lučních lokalitách (Chotěnov 1 a 2, Čeliv, Dobrá voda, Pěkovice, Salajna, Podhorní mlýn, Služetín, Číhaná obecní a Číhaná) lze rovněž přiřadit ke svazu *Calthion*, i když expertní systém programu Juice, založený na klasifikaci použité v aktuálním přehledu vegetace ČR (Chytrý 2011), zařadil některé z nich ke

Tab. 3. – Mechorosty zařazené v červeném seznamu (Kučera et al. 2012), které byly na studovaných lokalitách nalezeny během terénního výzkumu. Seznam zahrnuje i druhy, které nebyly zaznamenány ve fytoocenologických snímcích. Vysvětlivky: Kategorie podle IUCN 3.1.: EN – mechorosty ohrožené, LR-nt – mechorosty blízké ohrožení, LC-att – mechorosty neohrožené – zasluhující pozornost.

Tab. 3. – Red-listed bryophytes (Kučera et al. 2012) found in the studied springs during field research. The list also includes species not recorded in vegetation plots. Explanations: IUCN 3.1 categories: EN – endangered taxa, LR-nt – taxa with lower risk / near threatened, LC-att – taxa with least concern / attention list.

Kategorie / Category	Druh / Species	Lokalita / Locality
EN	<i>Helodium blandowii</i>	Salajna
LR-nt	<i>Campylium stellatum</i>	Vařící jezírko
	<i>Tomentypnum nitens</i>	Luční pramen, Mokřady pod Vlčkem, Služetín
	<i>Sphagnum contortum</i>	Babice
LC-att	<i>Hygroamblystegium humile</i>	Císařský pramen
	<i>Brachythecium mildeanum</i>	Chotěnov 1
	<i>Breidleria pratensis</i>	Luční pramen
	<i>Dichodontium palustre</i>	Chotěnov 1
	<i>Philonotis calcarea</i>	Chotěnov 1
	<i>Plagiomnium elatum</i>	Babice, Dobrá Voda, Chotěnov 1 a 2, Luční pramen, Služetín, Plesná
	<i>Plagiomnium ellipticum</i>	Brtná, Čeliv, Čiháná 3, Horní Kramolín, Luční pramen, Mokřady pod Vlčkem, Podhorní mlýn, Salajna
	<i>Sphagnum subnitens</i>	Horní Kramolín, Mechové údolí 2
	<i>Sphagnum warnstorffii</i>	Babice, Mechové údolí 2, Mokřady pod Vlčkem

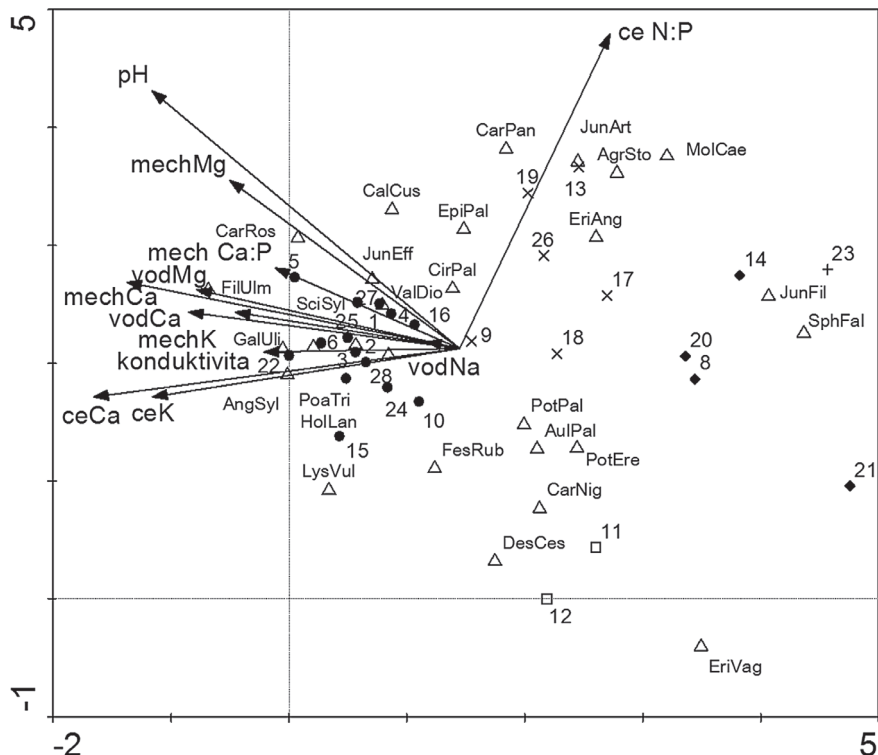
třídě *Phragmito-Magno-Caricetea* nejspíše z důvodu velké pokryvnosti vysokých ostřic ve snímcích (Laburdová 2012). Všechny zde zmíněné lokality se společenstvy svazů *Calthion* a *Caricion canescenti-nigrae*, kromě lokalit Babice, Mechové údolí 1 a Soos-mofeta (kde je podíl lučních druhů spíše zanedbatelný), patří již podle analýzy TWINSpan ke skupině č. 6.

Koncentrace prvků a poměry živin ve vodě, v biomase cévnatých rostlin a biomase mechorostů spolu vzájemně korelují (Tab. 4, Obr. 2) a korelují též s hlavními vegetačními gradienty podobným způsobem (Tab. 4 a 5). Výjimku tvoří poměr N:P v biomase cévnatých rostlin, který jako jediná proměnná vysvětluje variabilitu vegetace vyjádřenou druhou ordinační osou DCA (Obr. 3).

Diskuze

Vztahy vegetace a prostředí

Ve zkoumaném území má pH průkazný dominantní vliv na variabilitu vegetace, což je ve shodě i s dalšími podobnými studiemi z České republiky, například z Karpat (Hájek et al. 2002), Třeboňska (Navrátilová et al. 2006), Českomoravské vrchoviny (Horodyská



Obr. 3. – Ordinační diagram DCA pro lokality a druhy. Jsou zobrazeny jen druhy s nejvyšší vahou v analýze (20–100 % podle protokolu stanovení váhy v programu CanoDraw). V diagramu jsou pasivně promítнуты chemické parametry, které průkazně korelují s první nebo druhou ordinační osou na hladině významnosti menší než 0,001. Vysvětlivky k jednotlivým lokalitám a jejich symbolům jsou uvedeny u obr. 2. Druhové zkratky / Species abbreviations: Mechorosty / Bryophytes: AulPal: *Aulacomnium palustre*, CalCus: *Calliergonella cuspidata*, SphFal: *Sphagnum fallax*; Cévnaté rostliny / Vascular plants: AgrSto: *Agrostis stolonifera*, AngSyl: *Angelica sylvestris*, CarNig: *Carex nigra*, CarPan: *C. panicea*, CarRos: *C. rostrata*, CirPal: *Cirsium palustre*, DesCes: *Deschampsia cespitosa*, EpiPal: *Epilobium palustre*, EriAng: *Eriophorum angustifolium*, EriVag: *E. vaginatum*, FesRub: *Festuca rubra*, FilUlm: *Filipendula ulmaria*, GalUli: *Galium uliginosum*, HolLan: *Holcus lanatus*, JunArt: *Juncus articulatus*, JunEff: *J. effusus*, JunFil: *J. filiformis*, LysVul: *Lysimachia vulgaris*, MolCae: *Molinia caerulea*, PoaTri: *Poa trivialis*, PotEre: *Potentilla erecta*, PotPal: *P. palustris*, SciSyl: *Scirpus sylvaticus*, ValDio: *Valeriana dioica*.

Fig. 3. – DCA ordination diagram for species and sites. Only species with the highest weight are displayed (20–100% according to the weight assessment in the protocol of the CanoDraw software). In the diagram chemical characteristics are passively projected, significantly correlated with the first or second axis ($p < 0.001$). For explanations of the site symbols see Fig. 2.

Tab. 4. – Spearmanovy korelační koeficienty proměnných (obsahu živin v mechorostech, obsahu živin v cévnatých rostlinách a koncentrací jednotlivých prvků ve vodě). V tabulce jsou zobrazeny pouze proměnné, které korelovaly alespoň s jednou další proměnnou. Koeficienty vyznačené tučně značí korelace průkazné na hladině významnosti 0,001, ostatní koeficienty značí korelace průkazné na hladině 0,05. *ns* značí neprůkazný výsledek. Zkratky proměnných jsou vysvětleny v tab. 1.

Tab. 4. – Spearman correlation coefficients between ion concentrations in water, vascular plant biomass and bryophyte biomass. Only environmental factors correlated with at least one other factor are shown. Coefficients marked in bold are significant at the level of $p < 0.001$; other correlations are significant at the level of $p < 0.05$; *ns* mean s insignificant correlation. For explanations of environmental variables, see Table 1.

	mech Ca	mech Fe	mech K	mech Mg	mech N	ceN	ceK	ceCa	ceP	pH	kond.	vodN	vod PO4	vod SO4	vod Na	vod K	vod Ca	vod Mg
mechFe	0,58	–																
mechK	0,40	ns	–															
mechMg	0,47	0,47	ns	–														
mechN	ns	ns	0,74	ns	–													
mechPO4	ns	ns	0,47	-0,40	0,63													
ceK	0,56	0,42	ns	ns	ns	ns	–											
ceCa	0,66	ns	0,52	ns	ns	ns	0,68	–										
ceP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,42	ns	–									
pH	0,69	0,41	0,41	0,66	ns	0,38	ns	ns	ns	–								
konduktivita	0,72	0,48	ns	ns	ns	ns	0,49	0,41	0,46	0,48	–							
vodPO4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,52	–					
vodSO4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,50	0,43	0,45	–				
vodNa	0,65	0,43	ns	ns	ns	ns	0,58	0,47	ns	0,38	0,68	0,40	ns	0,42	–			
vodK	0,58	0,43	ns	ns	ns	ns	0,55	0,41	ns	ns	0,68	0,67	0,43	0,60	0,63	–		
vodCa	0,87	0,59	ns	ns	ns	ns	0,56	0,62	ns	0,44	0,72	0,39	ns	0,39	0,66	0,58	–	
vodMg	0,75	0,64	ns	0,70	ns	ns	0,45	0,45	ns	0,65	0,74	ns	ns	ns	0,50	0,44	0,80	–
vodFe	0,55	0,55	ns	ns	ns	ns	0,47	0,35	ns	ns	0,53	ns	ns	ns	0,60	0,40	0,48	0,46

Tab. 5. – Spearmanovy korelační koeficienty mezi ekologickými proměnnými a polohou snímku na první a druhé ordinační ose DCA („site scores“). Tučně jsou vyznačeny korelace průkazné na hladině významnosti $p < 0,001$, ostatní korelace jsou průkazné na hladině významnosti $p < 0,05$ a *ns* značí neprůkaznou korelaci.

Tab. 5. – Spearman correlation coefficients between environmental factors and “site scores” on the first and second DCA ordination axes. Correlation coefficients significant at $p < 0.001$ level are given in bold, while other correlations are significant at level of $p < 0.05$, and *ns* refers to statistically insignificant correlation.

Proměnná / Env. factor	Osa 1 / Axes1	Osa 2 / Axes2
mechCa	-0,79	ns
mechFe	-0,54	ns
mechK	-0,61	ns
mechMg	-0,60	ns
mechN	-0,38	ns
ceK	-0,67	ns
ceCa	-0,75	ns
ceP	ns	-0,58
mech N:P	ns	0,38
mech N:K	0,59	ns
mech Ca:P	-0,63	ns
ce N:P	ns	0,61
ce N:K	0,49	ns
ce Ca:P	-0,57	ns
pH	-0,64	ns
konduktivita	-0,62	ns
vodNa	-0,64	ns
vodK	-0,52	ns
vodCa	-0,72	ns
vodMg	-0,74	ns
vodFe	-0,53	ns

pH (Sekulová et al. 2012, 2013). V případě kratších vegetačních gradientů (Tahvanainen 2004) a v případě samostatně analyzovaných rašelinišť (Sekulová et al. 2013) je však obecně dominantní vliv pH. V naší studii jsme zjistili některé silné korelace mezi koncentracemi minerálů ve vodě a v biomase mechorostů a cévnatých rostlin, což je ve shodě s výsledky z boreálních rašelinišť (Malmer et al. 1992). Železo v biomase mechorostů koreluje nejen s obsahem vápníku v mechorostech, hořčíku a vápníku ve vodě, ale i s obsahem vápníku v cévnatých rostlinách (viz tab. 5), což odráží fakt, že vyšší koncentrace železa se ve studovaném území vyskytují na bazičtějších lokalitách. Koncentrace železa v biomase cévnatých rostlin ale ve studovaném území nekorelovala s žádnými dalšími chemickými parametry. Neprůkazné vztahy mezi koncentracemi železa v nadzemní biomase cévnatých rostlin a mechorostů naznačují odlišné ekofyziologické chování obou skupin organismů. Cévnaté rostliny mají lépe vyvinuty mechanismy, jak se bránit příjmu tohoto v nadbytku přítomného toxického kovu (Snowden & Wheeler 1995). Ve studiích

z karpatských (Rozbrojová & Hájek 2008) a alpských (Waughman 1980) pramenných rašelinišť korelovala koncentrace železa v cévnatých rostlinách s koncentrací vápníku ve vodě negativně. Tento rozdíl souvisí se specifickým chemismem hlubinných minerálních vod („kyselek“).

Druhý nejvýznamnější směr variability vegetace souvisí s narůstajícím podílem lučních druhů, náročnějších na živiny. Stejně jako v Západních Karpatech (Hájek et al. 2002, Hájek & Hekera 2004) není možné tento gradient vysvětlit různou koncentrací živin ve vodě, pravděpodobně kvůli jejich malým koncentracím a značné sezónní variabilitě (Hájek & Hekera 2004). Stejně jako v Západních Karpatech (Rozbrojová & Hájek 2008) koreloval tento gradient s klesajícím N:P poměrem v biomase cévnatých rostlin. Poměr N:P v biomase nejlépe ukazuje typ živinové limitace stanoviště, jak potvrdily i experimenty s hnojením na západoevropských slatiništích a analýzy velkých datových souborů (Koerselman & Meuleman 1996, Güsewell & Koerselman 2002, Olde Venterink et al. 2003). Jeho použitelnost ve studiích vysvětlujících variabilitu vegetace na krajinném měřítku se po Západních Karpatech potvrdila i v chemicky a hydrologicky odlišném systému západočeských kyselek. Dalším důkazem, že druhý směr variability vegetace opravdu souvisí s přístupností fosforu, je rostoucí koncentrace fosforu a draslíku v biomase jednotlivých lučních druhů mechorostů (*Climacium dendroides*, *Plagiomnium* ssp.) směrem k lokalitám s převládajícími lučními druhy (Laburdová 2012).

Regionální flóra a vegetace

I když byl na studovaných prameništích potvrzen výskyt vzácných a ohrožených druhů (Tab. 2 a 3), nový druh cévnaté rostliny pro území nalezen nebyl. Recentní výzkum však vedl k objevení ohroženého mechu *Helodium blandowii* v území (Laburdová 2010). Bohužel není možné provést detailní srovnání frekvence nebo abundance druhů s historickými daty, protože historické údaje zpravidla nejsou přesně lokalizované nebo jde pouze o soupisy druhů. Protože však bylo na některých prameništích v poslední době upraveno okolí (Laburdová 2012), lze změny v abundanci vzácných druhů předpokládat. Antropické narušení spolu s ekologickou výjimečností studovaných lokalit je patrně i důvodem obtížné vegetační klasifikace pramenišť v rámci fytoecologického systému používaného v ČR (Chytrý 2011).

Poděkování

Naše díky patří Přemyslovi Tájkovi a Jiřímu Milotovi za navržení tématu bakalářské práce Jitky Laburdové, od které se tato práce odvíjí, a za zapůjčení registru vývěrů minerálních pramenů. Karlovi Prachovi patří díky za vedení této bakalářské práce. Velmi děkujeme laborantům z VÚV T. G. M., z BÚ AV v Třeboni, ze Zf JČU a také Elišce Vicherové a Tomáši Hájkovi z Přf JČU, kteří zpracovávali vzorky a provedli rozbory vody, sušiny cévnatých rostlin i mechorostů. Za pomoc s určením některých obtížně určitelných mechorostů děkujeme Svatavě Kubešové. Děkujeme i Evě Hettenbergerové, Zuzaně Fajmonové a Kristýně Žákové za zapůjčení přístrojů a za příslušná zaškolení. V neposlední řadě děkujeme všem, kteří nás doprovázeli na lokalitách a vozili po terénu, zvláště pak Ritě a Pavlovi Urbanovým. Děkujeme i všem

kolegům, kteří vytvářeli příjemné a přátelské prostředí a poskytli rady k podobě článku, jakož také dvěma anonymním recenzentům, kteří pomohli rukopis významně vylepšit. Práce byla finančně podpořena grantem GAČR č. GAP505/10/0638 a rozvojovým projektem B)U AV ČR č. RVO 67985939.

Literatura

- Aldous A., McCormick P., Ferguson Ch., Graham S. & Craft Ch. (2005): Hydrologic regime controls soil phosphorus fluxes in restoration and undisturbed wetlands. – *Restor. Ecol.* 13: 341–347.
- Audorff V., Kapfer J. & Beierkuhnlein C. (2011): The role of hydrological and spatial factors for the vegetation of Central European springs. – *J. Limnol.* 70: 9–22.
- Boyer M. L. H. & Wheeler B. D. (1989): Vegetation patterns in spring-fed calcareous fens: calcite precipitation and constraints on fertility. – *J. Ecol.* 77: 597–609.
- Bragazza L. & Gerdol R. (2002): Are nutrient availability and acidity-alkalinity gradients related in Sphagnum-dominated peatlands? – *J. Veg. Sci.* 13: 473–782.
- Effmertová J. (2007): Vegetace rašelinišť a mokřadních luk vojenského prostoru Boletice. – Ms., 66 p. [Dipl. práce; depon. in: Knihovna PřF MU, Brno]
- Grulich V. (2012): Red List of vascular plants of the Czech Republic: 3rd edition. – *Preslia* 84: 631–654.
- Güsewell S. & Koerselman W. (2002): Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. – *Perspect. Plant Ecol.* 5: 37–61.
- Hájek T. & Adamec L. (2009): Mineral nutrient economy in competing species of Sphagnum mosses. – *Ecol. Restor.* 24: 291–302.
- Hájek M. & Hájková P. (2007): Hlavní typy rašelinišť z botanického hlediska. – *Zprávy Čes. Bot. Společ.* 22: 19–28.
- Hájek M. & Hekera P. (2004): Can seasonal variation in fen water chemistry influence the reliability of vegetation-environment analyses? – *Preslia* 76: 1–14.
- Hájek M., Hekera P. & Hájková P. (2002): Spring fen vegetation and water chemistry in the Western Carpathian flysch zone. – *Folia Geobot.* 37: 205–224.
- Hájek M., Horskák M., Hájková P. & Ditě D. (2006): Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardise fen terminology in ecological studies. – *Perspect. Plant Ecol.* 8: 97–114.
- Hájková P. & Hájek M. (2003): Species richness and aboveground biomass of poor and calcareous spring fens in the flysch West Carpathians, and their relationships to water and soil chemistry. – *Preslia* 75: 271–287.
- Hájková P. & Hájek M. (2004): Bryophyte and vascular plant responses to base-richness and water level gradients in Western Carpathian Sphagnum-rich mires. – *Folia Geobot.* 39: 335–351.
- Hájková P., Wolf P. & Hájek M. (2004): Environmental factors and Carpathian spring fen vegetation: the importance of scale and temporal variation. – *Ann. Bot. Fenn.* 41: 249–262.
- Horodská E. (2006): Minerotrofní rašeliniště Českomoravské vrchoviny: srovnání historických a současných dat. – Ms., 48 p. [Dipl. práce; depon. in: Knihovna PřF MU, Brno]
- Chytrý M. [ed.] (2011): Vegetace České republiky 3. Vodní a mokřadní vegetace. – Academia, Praha.
- Jóža M., Vonička P. et al. (2004): Jizerskohorská rašeliniště. – Jizersko-ještědský horský spolek, Liberec.
- Kent M. & Coker P. (1992): Vegetation description and analysis: a practical approach. – Belhaven Press, London.
- Klír S. (1982): Ochrana zřidelní oblasti západních Čech. – Avicenum, Praha.
- Koerselman W. & Meuleman A. F. M. (1996): The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. – *J. Appl. Ecol.* 33: 1441–1450.
- Kolářová M. & Myslík V. (1979): Minerální vody Západočeského kraje. – Ústřední ústav geologický, Praha.

- Koolijman A. & Hedenäs L. (2009): Changes in nutrient availability from calcareous to acid wetland habitats with closely related brown moss species: increase instead of decrease in N and P. – *Plant Soil* 324: 267–278.
- Křivanec J. & Milota J. (1995): Registr vývěřů minerálních vod [nepublikovaný manuskript].
- Kubát K., Hrouda L., Chrtěk J. jun., Kaplan Z., Kirschner J. & Štěpánek J. [eds] (2002): Klíč ke květeně České republiky. – Academia, Praha.
- Kučera J. [ed.] (2009): Mechorosty zaznamenané během 16. jarního setkání Bryologicko-lichenologické sekce ČBS ve Svatošských skalách na Karlovarsku. – *Bryonora* 43: 3–11.
- Kučera J., Váňa J. & Hradílek Z. (2012): Bryophyte flora of the Czech Republic: updated checklist and Red List and a brief analysis. – *Preslia* 84: 813–850.
- Laburdová J. (2008): Vegetace lučních pramenišť západočeské zřídelní oblasti. – Ms., 61 p. [Bak. práce; depon. in: Akademická knihovna JU, České Budějovice]
- Laburdová J. (2010): *Helodium blandowii* EN. – In: Kučera J. [ed.], Zajímavé bryofloristické nálezy XVI. – *Bryonora* 46: 70–74.
- Laburdová J. (2012): Vztah vegetace pramenišť západočeské zřídelní oblasti k chemismu prostředí. – Ms., 97 p. [Dipl. práce; depon. in: Knihovna PřF MU, Brno]
- Lederer F. & Chocholoušková Z. (1998): Flóra a vegetace minerálních pramenů a rašelinišť NPR Soos. – Sborník katedry biologie PeF ZČU, Plzeň.
- Lepš J. & Šmilauer P. (2003): Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. – Cambridge University Press, Cambridge.
- Malmer N., Horton D. G. & Vitt D. H. (1992): Element concentrations in mosses and surface waters of western canadian mires relative to precipitation chemistry and hydrology. – *Ecography* 15: 114–128.
- Martínek K. (1999): Floristický kurz České botanické společnosti v Chebu (8.–13. 7. 1996). – Sborn. Západočes. Muz. v Plzni, přír., 99: 7–29.
- Milota J. & Bartoš J. (2008a): Průvodce po minerálních pramenech. I. [Minerální prameny Českého lesa]. – Český svaz ochránců přírody, ZO ČSOP Kladská, Mariánské Lázně.
- Milota J. & Bartoš J. (2008b): Průvodce po minerálních pramenech. II. [Minerální prameny Tepelska]. – Český svaz ochránců přírody, ZO ČSOP Kladská, Mariánské Lázně.
- Milota J. & Bartoš J. (2009): Průvodce po minerálních pramenech. III. [Minerální prameny Mariánskolázeňska]. – Český svaz ochránců přírody, ZO ČSOP Kladská, Mariánské Lázně.
- Milota J. & Bartoš J. (2011): Průvodce po minerálních pramenech. IV. [Minerální prameny Slavkovského lesa]. – Český svaz ochránců přírody, ZO ČSOP Kladská, Mariánské Lázně.
- Myšková Z. (2009): Prameništní vegetace Orlických hor a sezónní dynamika jejího mechového patra. – Ms., 60 p. [Dipl. práce; depon. in: Knihovna PřF MU, Brno]
- Navrátilová J., Navrátil J. & Hájek M. (2006): Relationships between environmental factors and vegetation in nutrient-enriched fens at fishpond margins. – *Folia Geobot.* 41: 353–376.
- Nevečeřal P. (1986): Vegetace minerálních vývěřů v jižní části chráněné krajinné oblasti Slavkovský les. – Ms. [práce SOČ; depon. in: Správa CHKO Slavkovský les, Mariánské Lázně]
- Novotná J. (2008): Význam současného a historického managementu pro dynamiku druhu *Dactylorhiza majalis*. – Ms., 30 p. [Bak. práce; depon. in: Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha]
- Økland R. H., Økland T. & Rydgren K. (2001): A Scandinavian perspective on ecological gradients in north-west European mires: reply to Wheeler and Proctor. – *J. Ecol.* 89: 481–486.
- Olde Venterink H., Wassen M. J., Verkroost A. W. M. & de Ruiter P. C. (2003): Species richness-productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands. – *Ecology* 84: 2191–2199.
- Prach K., Štech M. & Říha P. (2009): Ekologie a rozšíření biotů na Zemi. – Scientia, Praha.
- Roleček J., Tichý L., Zelený D. & Chytrý M. (2009): Modified TWINSpan classification in which the hierarchy respects cluster heterogeneity. – *J. Veg. Sci.* 20: 596–602.
- Rozbrojová Z. & Hájek M. (2008): Changes in nutrient limitation of spring fen vegetation along environmental gradients in the West Carpathians. – *J. Veg. Sci.* 19: 613–620.

- Sekulová L., Hájek M., Hájková P., Mikulášková E., Buttler A., Syrovátka V. & Rozbrojová Z. (2012): Patterns of bryophyte and vascular plant richness in European subalpine springs. – *Plant Ecol.* 213: 237–249.
- Sekulová L., Hájek M. & Syrovátka V. (2013): Vegetation-environment relationships in alpine mires of the West Carpathians and the Alps. – *J. Veg. Sci.* 24(6): 1118–1128.
- Sjörs H. (1950): On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. – *Oikos* 2: 241–258.
- Snowden R. E. D. & Wheeler B. D. (1995): Chemical changes in selected wetland plant species with increasing Fe supply, with specific reference to root precipitates and Fe tolerance. – *New Phytol.* 131: 503–520.
- Tahvanainen T. (2004): Water chemistry of mires in relation to the poor-rich vegetation gradient and contrasting geochemical zones of the north-eastern Fennoscandian Shield. – *Folia Geobot.* 39: 353–369.
- Ter Braak C. J. F. & Šmilauer P. (2002): CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). – Microcomputer Power, Ithaca, USA.
- Tichý L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. – *J. Veg. Sci.* 13: 451–453.
- Tolasz R. [ed.] (2007): Atlas podnebí Česka. – Český hydrometeorologický ústav, Praha & Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Tyler G. (2003): Some ecophysiological and historical approaches to species richness and calcicole/calcifuge behaviour – Contribution to a debate. – *Folia Geobot.* 38: 419–428.
- van Duren I. C. & Peggel D. M. (2000): Nutrient limitations in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results. – *Plant Soil* 220: 35–47.
- van der Hoek D., van Mierlo A. J. E. M. & van Groenendaal J. M. (2004): Nutrient limitation and nutrient-driven shifts in plant species composition in a species-rich fen meadow. – *J. Veg. Sci.* 15: 389–396.
- van der Maarel E. (1979): Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. – *Vegetatio* 39: 97–114.
- Vejnar Z. & Zoubek V. (1996): Geologická mapa ČR. Mapa předčtvrtohorních útvarů, měřítko 1: 200 000. List Karlovy Vary – Plauen a Mariánské Lázně – Švarcava. – Český geologický ústav, Praha.
- Verhoeven J. T. A., Keuter A., van Logtestijn R., van Kerkhoven M. B. & Wassen M. (1996): Control of local nutrient dynamics in mires by regional and climatic factors: a comparison of Dutch and Polish sites. – *J. Ecol.* 84: 647–656.
- Vitt D. H., Bayley S. E. & Jin T.-L. (1995): Seasonal variation in water chemistry over a bog-rich fen gradient in Continental Western Canada. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 587–606.
- Waughman G. J. (1980): Chemical aspects of the ecology of some south German peatlands. – *J. Ecol.* 68: 1025–1046.
- Wojtuń B. (1994): Element contents of Sphagnum mosses of peat bogs of lower Silesia. – *The Bryologist* 97: 284–295.
- Wheeler B. D. & Proctor M. C. F. (2000): Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. – *J. Ecol.* 88: 187–203.
- Zahradnický J. & Mackovčín P. [eds] (2004): Chráněná území ČR XI. Plzeňsko a Karlovarsko. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.

Došlo dne 10. 1. 2013

Příloha 1. – Přehled studovaných lokalit. Snímky jsou uloženy v České národní fytoecologické databázi. Údaje o poloze lokalit (zeměpisné souřadnice, nadmořská výška) byly zjištěny pomocí GPS. Geologické podloží bylo zjištěno z geologické mapy (Vejnar & Zoubek 1996). Appendix 1. – Overview of studied localities. Each relevé is stored in the Czech National Phytosociological Database. Each plot was georeferenced using GPS. Data on subsoil was taken from a geological map (Vejnar & Zoubek 1996).

Lokalita / Locality	číslo sn. / No. of relevé	datum / Date	zem. délka / Longitude	zem. šířka / Latitude	nadm. výška / Altitude	Geologické podloží / Subsoil
Chotěnov 1	518755	6. 8. 2010	E12.73721	N49.93262	560 m n. m.	dvojslídlné svory s přechody do dvojslídlné až biotitické pararuly
Chotěnov 2	518756	6. 8. 2010	E12.73691	N49.93739	558 m n. m.	dvojslídlné svory s přechody do dvojslídlné až biotitické pararuly
Čeliv	518757	23. 8. 2010	E12.96150	N49.88519	518 m n. m.	chorticko-seritické fylity
Luční pramen	518758	23. 8. 2010	E12.96069	N49.87936	501 m n. m.	chorticko-seritické fylity
Dobrá Voda	518759	15. 8. 2010	E12.94962	N49.98713	604 m n. m.	svor (složení muskovit-biotit, +- granát)
Pěkovice	518760	20. 7. 2010	E12.85906	N49.93461	683 m n. m.	rula (složení biotit muskovit)
Cisárský pramen	518761	16. 7. 2010	E12.40328	N50.14825	449 m n. m.	kaolinitické jíly a pisky
Věra	518762	16. 7. 2010	E12.39953	N50.15003	448 m n. m.	kaolinitické jíly a pisky
Soos-mofěta	518763	30. 6. 2010	E12.40324	N50.15172	444 m n. m.	kaolinitické jíly a pisky, kvartér
Plesná	518764	21. 8. 2010	E12.35197	N50.22392	511 m n. m.	svor (složení muskovit až dvojslídlný, běžně s granátem)
Vackovec	518765	12. 8. 2010	E12.45133	N50.14674	428 m n. m.	kaolinitické jíly a pisky
Hartoušov	518766	12. 8. 2010	E12.46281	N50.13298	428 m n. m.	kaolinitické jíly a pisky
Mechové údolí 1	518767	4. 8. 2010	E12.51619	N50.01084	572 m n. m.	svor (složení muskovit až biotit muskovit)
Mechové údolí 2	518768	10. 8. 2010	E12.51456	N50.00905	574 m n. m.	svor (složení muskovit až biotit muskovit)
Salajna	518769	10. 8. 2010	E12.50970	N50.02122	536 m n. m.	svor (složení muskovit až biotit muskovit)
Brtná	518770	9. 8. 2010	E12.52717	N50.00878	570 m n. m.	svor (složení muskovit až biotit muskovit)
Nová Ves	518771	30. 8. 2010	E12.78096	N50.07092	725 m n. m.	amfibolity
Vářčí jezírko	518772	20. 8. 2010	E12.73459	N50.04035	760 m n. m.	serpentinity (hadce)
Mokřady pod Vlčkem	518773	20. 8. 2010	E12.73605	N50.04008	766 m n. m.	serpentinity (hadce)
Smradůch 2	518774	12. 7. 2010	E12.71981	N50.01386	774 m n. m.	amfibolity
Smradůch 1	518775	12. 7. 2010	E12.71689	N50.01297	772 m n. m.	amfibolity
Podhorní mlýn	518776	2. 7. 2010	E12.77562	N49.98578	707 m n. m.	amfibolity
Sirňák	518777	2. 7. 2010	E12.78829	N49.97793	698 m n. m.	amfibolity
Horní Kramolín	518778	21. 7. 2010	E12.81842	N49.98408	712 m n. m.	amfibolity
Služetín	518779	21. 7. 2010	E12.81647	N49.98858	715 m n. m.	amfibolity
Babice	518780	3. 8. 2011	E12.81062	N50.01330	660 m n. m.	amfibolity
Číhaná 3	518781	22. 7. 2010	E12.79933	N50.01192	658 m n. m.	amfibolity
Číhaná obecní	518782	22. 7. 2010	E12.79639	N50.00806	676 m n. m.	amfibolity

Příloha 2. – Tabulka snímků ze studovaných lokalit. Druhy jsou v tabulce seřazeny podle frekvence v jednotlivých skupinách vzniklých klasifikační analýzou TWINSKAN. Skupiny snímků: I – subhalofytní mokřady, II, III, IV – přechodová rašelinště, V – statinné louky, VI – vlhké pcháčové louky.

Appendix 2. – Table of relevés from studied localities. Species are arranged by frequency in the TWINSKAN groups. Description of groups: I – subhalophytic marshes, II, III, IV – poor fens, V – fen meadows, VI – wet meadows.

Lokality / Localities: 1 – Chotěnov 1, 2 – Chotěnov 2, 3 – Čeliv, 4 – Luční pramen, 5 – Dobrá Voda, 6 – Pěkovice, 7 – Císařský pramen, 8 – Věra, 9 – Soos mořeta, 10 – Plesná, 11 – Váckovec, 12 – Hartoušov, 13 – Mechové údolí 1, 14 – Mechové údolí 2, 15 – Salajna, 16 – Brtná, 17 – Nová Ves, 18 – Vafci jezírko, 19 – Mokřady pod Vlčkem, 20 – Smradoch 2, 21 – Smradoch 1, 22 – Podhorní mlýn, 23 – Širňák, 24 – Horní Kramolín, 25 – Služetín, 26 – Babice, 27 – Číhaná 3, 28 – Číhaná obecni.

Číslo / Number	7	23	11	12	8	14	20	21	9	13	17	18	19	26	1	2	3	4	5	6	10	15	16	22	24	25	27	28
číslo skupiny TWINSKAN / number of TWINSKAN group	I	II	III	III	IV	IV	IV	IV	V	V	V	V	V	V	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
celková pokryvnost (%) / total cover (%)	80	80	80	85	75	70	60	75	80	40	30	70	75	55	80	85	80	70	75	80	85	90	90	85	90	85	80	85
pokryvnost E ₁ (%) / E ₁ cover (%)	80	35	80	85	55	45	30	30	70	40	30	60	55	45	60	80	70	60	70	75	85	85	90	85	70	85	75	80
pokryvnost E ₀ (%) / E ₀ cover (%)	1	60	5	3	45	40	45	65	12	3	1	20	30	20	30	8	12	20	2	4	7	3	20	15	35	8	15	1
počet druhů celkem / number of species	11	15	15	14	10	18	23	16	24	12	21	18	21	24	27	32	34	12	32	19	33	35	33	41	32	23	23	23
počet druhů E ₁ / number of species in E ₁	10	9	11	12	6	11	18	9	12	19	10	17	14	15	16	22	26	24	9	27	15	31	26	27	36	28	18	21
počet druhů E ₀ / number of species in E ₀	1	6	4	2	4	7	5	7	4	5	2	4	4	6	8	5	6	10	3	5	4	2	9	6	5	4	5	2
E ₁ – bylinné patro / herb layer																												
<i>Carex nigra</i>		2m	2b	3	1				1		1	2a			2a	2b	2b	3		1	2a	2b	2m	1	2b	2m	1	1
<i>Juncus filiformis</i>		2b	+					1			2b	1																
<i>Cirsium palustre</i>		r				r		2a			1	+	1			2m	2m	2a		1	2m	+	1	1	2a	2m		
<i>Vaccinium myrtillus</i>		2m						2m																				
<i>Oxycooccus palustris</i>				r	+	1	1																					
<i>Carex canescens</i>				1		1	2m	+			+	1																
<i>Potentilla erecta</i>			1	+		+	+	+				1	+	1		+	+	1					+		+	2m		+
<i>Eriophorum vaginatum</i>			3	2a			2a	2b				2m																
<i>Calluna vulgaris</i>		2a	+			+	1																					
<i>Eriophorum angustifolium</i>				4	1		1	2a	+		2a	2m	2a		+	2m							2m	2m	+	+	+	+
<i>Drosera rotundifolia</i>					2m	+		+			+	+																
<i>Carex echinata</i>					+	2a			1					+														
<i>Deschampsia cespitosa</i>			2a	3			+						1	1	1				2b	+					1	2a		2 b
<i>Potentilla palustris</i>			+	+					+					+		+							3	2a	3	+		+
<i>Juncus articulatus</i>							1		1	+	1	+	2a										+	+	1			+

[illegible]

číslo / number	7	23	11	12	8	14	20	21	9	13	17	18	19	26	1	2	3	4	5	6	10	15	16	22	24	25	27	28
<i>Warnstorfia fluitans</i>	+	.	.	.	.	.	2m	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum capillifolium</i>	1	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	3	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Stramineogon stramineum</i>	.	1	.	.	r	+	2m	1	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	.	.	1	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	.	.	.	.	2m	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum squarrosum</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Aulacomnium palustre</i>	.	+	1	.	+	1	.	2m	r	2a	+	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	2m	.	2a	2a	2m	.	.
<i>Brachythecium rivulare</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.
<i>Ceratodon purpureus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Calliergonella cuspidata</i>	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cratoneuron filicinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	2m	2a	2m	2a	.	.	.	.	2m	2m	+	+	2a	.
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2m	2a	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Drepanocladus aduncus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	.	1	r	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Tomentypnum nitens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Plagiomnium elatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	.
<i>Plagiomnium elipticum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	+	1	2a	1	+	.
<i>Pohlia wahlenbergii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r
<i>Climacium dendroides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Pellia</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Amblystegium</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Philonotis fontana</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dicranella schrebertiana</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	2m	.	.	.	.	.
<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Pterozium schreberi</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.

Druhy vyskytující se pouze v jednom snímku / Species in one relevé only:

E₁ – bylinné patro / herb layer: *Schoenoplectus tabernaemontani* 7: 3, *Glaux maritima* 7: 2a, *Scorzonera parviflora* 7: 2m, *Potentilla anserina* 7: 1, *Lupinus polyphyllus* 7: +, *Avenella flexuosa* 23: 2a, *Calamagrostis canescens* 23: +, *Epilobium* sp. 23: r, *Sorbus aucuparia* 23: +, *Succisa pratensis* 11: +, *Lanum maculatum* 12: +, *Quercus petraea* 12: +, *Pinus* sp. 14: +, *Polygala multicaulis* 14: 1, *Vaccinium uliginosum* 21: 1, *Dactylorhiza fuchsii* 20: +, *Vaccinium vitis-idaea* 21: +, *Taraxacum* sect. *Ruderalia* 20: r, *Pinus nigra* 9: +, *Frangula alnus* 13: +, *Juncus bulbosus* 13: 2b, *Phragmites australis* 19: 2m, *Pedicularis palustris* 19: 1, *Carex demissa* 26: 1, *Carex leporina* 17: +, *Agrostis canina* 18: +, *Eleocharis quinqueflora* 19: +, *Chaerophyllum hirsutum* 1: +, *Geranium palustre* 2: 2m, *Alchemilla* sp. 3: +, *Parnassia palustris* 4: +, *Periscaria*

lapathifolia 4: +, *Cerastium holosteooides* 4: +, *Dactylis glomerata* 6: 1, *Poa pratensis* 6: +, *Tanacetum vulgare* 6: +, *Veronica beccabunga* 6: +, *Plantago major* 6: +, *Poa palustris* 15: 1, *Equisetum sylvaticum* 15: +, *Caltha palustris* 15: +, *Sanguisorba officinalis* 15: +, *Acer pseudoplatanus* 16: 1, *Menyanthes trifoliata* 16: 1, *Carex vesicaria* 16: 1, *Carex acuta* 22: 2a, *Aegopodium podagraria* 22: 1, *Phalaris arundinacea* 22: +, *Veronica chamaedrys* 22: +, *Dactylorhiza majalis* 24: +, *Luzula multiflora* s. str. 24: +, *Rhinanthus minor* 24: +, *Salix rosmarinifolia* 24: +, *Trifolium spadiceum* 24: +, *Stellaria alsine* 25: +, *Juncus bufonius* 28: +, *Valeriana officinalis* agg. 28: +.
 E₀ – mechové patro / moss layer: *Leptodictyum riparium* 7: r, *Pohlia nutans* 23: +, *Ceratodon purpureus* 12: r, *Sphagnum papillosum* 14: 2m, *Sphagnum magellanicum* 14: 1, *Sphagnum flexuosum* 21: 1, *Polytrichum strictum* 14: +, *Mylia anomala* 21: +, *Sphagnum palustre* 26: 1, *Sphagnum denticulatum* 13: +, *Chiloscyphus polyanthos* 13: +, *Campyllum stellatum* 18: +, *Sphagnum contortum* 26: +, *Sphagnum subnitens* 24: 2b, *Philonotis calcarea* 1: 1, *Breidleria pratensis* 4: 1, *Sphagnum teres* 16: 1, *Calliergon cordifolium* 22: 1, *Dicranella palustris* 1: +, *Plagiothecium denticulatum* 4: +, *Atrichum undulatum* 16: +, *Brachythecium mildeanum* 1: r, *Chiloscyphus coadunatus* 16: r, *Physcomitrium pyriforme* 28: r.