

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



**LIŠÍ SE MOKŘADNÍ ROSTLINY TÍM, JAK EFEKTIVNĚ
VYUŽÍVAJÍ VODU V HETEROGENNÍM PROSTŘEDÍ?**

**DO WETLAND PLANTS DIFFER IN HOW EFFICIENTLY
THEY USE WATER IN HETEROGENEOUS ENVIRONMENTS?**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. JAN DOUDA, PH.D.

BAKALANT: VÁCLAV ZWERENZ

2023/2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Václav Zwerenz

Aplikovaná ekologie

Název práce

Liší se mokřadní rostliny tím, jak efektivně využívají vodu v heterogenním prostředí?

Název anglicky

Do wetland plants differ in how efficiently they use water in heterogeneous environments?

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit využívání vody mokřadními rostlinami v závislosti na hladině vody a kompetici. Jako prediktor efektivity využívání vody rostlinou bude použita stomatální vodivost, která se zdá být dobrým indikátorem vodního režimu rostliny. Dílčí cíle bakalářské práce jsou: 1) připravit literární rešerši o využití stomatální vodivosti u rostlin pro indikaci stresu suchem a kompetici a 2) experimentálně vyhodnotit, jaké reakce stomatální vodivosti u mokřadních rostlin (t.j. strategie rostlin) můžeme pozorovat.

Metodika

Literární rešerše využije dostupné zdroje z datbáze Web of Science. V rámci experimentu budou pěstovány různé rostlinné druhy mokřadních biotopů. Experiment bude zahrnovat následující ošetření: vlhký režim, odvodněný režim a kompetiční režim. V průběhu vegetační sezóny bude změřena stomatální vodivost na všech rostlinách. Budou vyhodnoceny rozdíly ve stomatální vodivosti mezi jednotlivými ošetřeními.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

kompetice, mokřad, stomatální vodivost, sucho, vodní režim

Doporučené zdroje informací

- Brown, J. R., & Archer, S. (1990). Water relations of a perennial grass and seedling vs adult woody plants in a subtropical savanna. *Texas. Oikos*, 366-374.
- Callaway, R. M., DeLucia, E. H., Moore, D., Nowak, R., & Schlesinger, W. H. (1996). Competition and facilitation: contrasting effects of *Artemisia tridentata* on desert vs. montane pines. *Ecology*, 77, 2130-2141.
- DeLucia, E. H., Schlesinger, W. H., & Billings, W. D. (1988). Water relations and the maintenance of Sierran conifers on hydrothermally altered rock. *Ecology*, 69, 303-311.
- Ehleringer, J. R. (1984). Intraspecific competitive effects on water relations, growth and reproduction in *Encelia farinosa*. *Oecologia*, 63, 153-158.
- Smith, M., & Moss, J. S. (1998). An experimental investigation, using stomatal conductance and fluorescence, of the flood sensitivity of *Boltonia decurrens* and its competitors. *Journal of Applied Ecology*, 35, 553-561.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Douda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2024

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2024

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: LIŠÍ SE MOKŘADNÍ ROSTLINY TÍM, JAK EFEKTIVNĚ VYUŽÍVAJÍ VODU V HETEROGENNÍM PROSTŘEDÍ? vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 27. 3. 2024

.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych velice poděkovat mému školiteli Ing. Janu Doudovi, Ph.D za pomoc, rady, trpělivost a vstřícnost při vykonávání praktické části mé bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat členům odborného týmu pod vedením pana doktora Doudy, jmenovitě Ing. Janě Doudové, Ph.D, Ing. Aleně Havrdové, Ph.D, Ing. Anežce Holeškové, Ing. Leandru Arielu Eusebiovi, Ing. Janu Häuslerovi a Ing. Přemyslu Královi za jejich přístup a pomoc při experimentu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také přátelům a kolegům Aleně Herrové, Petru Doležalovi, Janu Vaškovi, Miroslavu Adamovi a Mgr. Radku Ostruszkovi a mé rodině, kteří mi byli při vypracovávání bakalářské práce oporou.

Abstrakt a klíčová slova

Sucho je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících rostliny a jejich ekosystémy. Tato práce zkoumá vliv sucha na rostliny, jejich schopnost hospodařit s vodou a jejich vodní režim. Pro tuto studii byl proveden experiment s 24 druhy mokřadních rostlin, které byly pěstovány v různých podmínkách: kompetičním režimu, suchém režimu a mokřadním režimu. V kompetičním a mokřadním režimu byla hladina vody vyšší než v suchém režimu.

Během experimentu byly rostliny pravidelně měřeny, jak v dopoledních, tak odpoledních hodinách, na obou stranách listu pomocí porometru METER SC-1 Leaf Porometer. Výsledky ukázaly, že průměrně nejvyšší hodnoty průduchové vodivosti byly naměřeny u rostlin v suchém režimu, což naznačuje adaptaci těchto rostlin k nízkým úrovním dostupné vody. Druhá nejvyšší hodnota byla zaznamenána u rostlin v kompetičním režimu, což může signalizovat určitou konkurenční interakci mezi rostlinami pro zdroj vody. Nejnížší hodnoty průduchové vodivosti byly pozorovány u rostlin v mokřadním režimu, což může být způsobeno nedostatečným vývojem kořenového systému při přebytečné vodě.

Dále bylo zjištěno, že rostliny z čeledi *Poaceae* vykazovaly vyšší hodnoty průduchové vodivosti na horní straně listu, zatímco u ostatních rostlin byly vyšší hodnoty zaznamenány na spodní straně listu. Tento rozdíl může odrážet specifickou morfologii a fyziologii listů jednotlivých druhů, která je adaptována k různým podmínkám prostředí. Vzhledem k denní době měření nebyly zaznamenány významné rozdíly ve výsledcích, což naznačuje relativní stabilitu průduchové vodivosti v průběhu dne.

Tato práce přináší poznatky a data k dalšímu zkoumání toho, jak se rostliny chovají v heterogenním prostředí a může vést k doplňujícím studiím, např. o průduchové vodivosti vzhledem k jiným faktorům, které ovlivňují rostliny.

Klíčová slova: sucho, mokřady, průduchová vodivost, průduchy, kompetice

Abstract and key words

Drought is one of the key factors affecting plants and their ecosystems. This thesis examines the effect of drought on plants, their ability to manage water and their water regime. For this study, an experiment was conducted with 24 species of wetland plants that were grown under different conditions: competition regime, dry regime and wet regime. In competition and wet regime, the water level was higher than in dry regime.

During the experiment, the plants were regularly measured, both in the morning and in the afternoon, on both sides of the leaf using a METER SC-1 Leaf Porometer. The results showed that, on average, the highest stomatal conductance values were measured in plants in the dry regime, indicating adaptation of these plants to low levels of available water. The second highest value was recorded for plants in competitive regime, which may indicate some competitive interaction between plants for the water source. The lowest values of stomatal conductance were observed in plants in the wet regime, which may be due to insufficient development of the root system in excess of water.

Furthermore, it was found that plants from the *Poaceae* family showed higher values of stomatal conductance on the upper side of the leaf, while for other plants, higher values were recorded on the lower side of the leaf. This difference may reflect the specific leaf morphology and physiology of individual species, which is adapted to different environmental conditions. Due to the time of day of the measurements, no significant differences in the results were noted, indicating a relative stability of the stomatal conductance during the day.

This work provides insights and data for further investigation of how plants behave in heterogeneous environments and may lead to complementary studies, e.g., of stomatal conductance in relation to other factors affecting plants.

Key words: drought, wetlands, stomatal conductance, stomata, competition

Obsah

1	Úvod.....	9
1.1	Mokřady	9
1.1.1	Ekologie mokřadů.....	9
1.1.2	Třída <i>Phragmito-Magno-Caricetea</i>	10
1.1.3	Mokřady v ČR	11
1.2	Rostliny.....	14
1.2.1	Sucho a stres pro rostliny jím způsobený	14
1.2.2	Vodní režim a průduchová vodivost rostlin	14
1.2.3	Kompetice mokřadních rostlin.....	15
2	Cíle práce	17
3	Metodika	18
3.1	Popis experimentu	18
3.2	Sběr dat.....	19
3.3	Druhy rostlin pěstované v experimentu.....	20
4	Výsledky	32
5	Diskuze	41
5.1	Kompetiční režim	41
5.2	Suchý režim.....	41
5.3	Mokrý režim	42
5.4	Spodní a horní strana listu	42
5.5	Denní doba měření	43
6	Závěr.....	44
7	Zdroje	45
8	Přílohy	49

1 Úvod

1.1 Mokřady

1.1.1 Ekologie mokřadů

Mokřady jsou stanoviště vyskytující se v blízkosti zdroje vody, ať už se jedná o povrchovou (tekoucí či stojatou) nebo podpovrchovou vodu. Tato místa jsou tedy pravidelně zaplavována nebo stále nasycena vodou a slouží jako přechodová zóna mezi akvatickými a terestrickými biotopy (Moor et. al. 2017). Jedná se o velmi odolné ekosystémy, které se mohou přizpůsobit extrémním periodickým epizodám sucha a povodní. Dlouhodobým suchem ale dochází k degradaci těchto stanovišť (Sandi et. al. 2020). Mokřady jsou jedny z biologicky nejproduktivnějších ekosystémů na planetě. Navíc, jelikož mají vyšší míru biologické aktivity než mnohé jiné ekosystémy, umí přetransformovat mnoho běžných polutantů z povrchových (případně odpadních) vod na neškodné bioprodukty či esenciální nutrienty, které mohou být využity k další bioproduktivě (Kadlec & Scott 2009). To souvisí s třemi hlavními soubory regulačních služeb, které mokřady zastávají. Těmi jsou: regulace vodního režimu, ať už se jedná o zadržování vody v prostředí či ochranu před povodněmi; již zmíněná regulace klimatu formou výměny energie (ukládání a zpracování uhlíku či emisí skleníkových plynů z ovzduší); regulace kvality vody, kterou zlepšují za pomoci biogeochemických procesů. Ty zadržují nebo i odstraňují nadbytečné živiny, které by v povrchovém odtoku na jiném místě mohly způsobit problémy.

Mokřady je možné kategorizovat do třech hlavních skupin – slatiniště, rašeliniště a bažiny. Tyto jednotlivé typy lze snadno identifikovat na základě zdroje přitékající vody, který převažuje. Právě zdroj vody ovlivňuje chemické složení jak vody obsažené na stanovišti, tak i samotného stanoviště. S tím souvisí také hydroperioda, což je hloubka, frekvence a délka zaplavení. (Moor et. al. 2017). Voda vstupuje do mokřadů srážkami, vyvěráním pramenů, přítokem povrchové vody či velkým množstvím podzemní vody. Tyto zdroje vody jsou extrémně variabilní. Mokřady vodu naopak ztrácejí odtokem, evapotranspirací či změnami v oblasti podzemní vody (Kadlec & Scott 2009). Právě zdroj vody a hydroperioda jsou hlavními faktory, které určují dostupnost živin, pH, průměrnou hladinu vody a celkové změny v mokřadech.

Význam těchto vlastností se u jednotlivých typů mokřadů liší. Rašeliniště jsou obvykle místa s malou dostupností živin a nízkým pH kvůli biotické zpětné vazbě. Slatiny díky povrchovému odtoku mohou mít různou úroveň živin a pH na slatiništích zásobovaných podzemní vodou je často vysoké. U bažin množství živin také kolísá s přítokem a odtokem povrchové vody, to souvisí i s hloubkou vody, jelikož se tato močální stanoviště často vyskytují podél břehů tekoucích či stojatých vod. Společným znakem pro všechny tři typy mokřadů je ovšem výskyt podmáčených půd s častými a také dlouhodobými bezkyslíkatými podmínkami (Moor et. al. 2017). Mokřady jsou obvykle zamokřené tak dlouho, že jsou schopny vyloučit rostliny, které nejsou adaptovány k přežití v tomto anoxickém prostředí (Kadlec & Scott 2009).

Vzhledem k jejich těsnému spojení s mokřým prostředím jsou však vlhké půdy vystaveny riziku degradace během období sucha. Sucho způsobuje zvýšení pronikání kyslíku do vlhkých půd, což vede k větší míře oxidace organické hmoty a snížení anorganických látek (např. sulfidů). Oxidace těchto složek půdy může vést k jejímu okyselení, mobilizaci kovů a negativním dopadům na kvalitu vody. Zvýšený obsah kyslíku v půdním profilu také ovlivňuje biogeochemický cyklus se zvýšenou produkcí oxidu dusného a sníženou produkcí metanu. Účinky sucha se liší mezi typy a podtypy rašelinových a minerálních půd. Vlhké půdy procházejí velkými chronologickými přeměnami a biogeochemickými změnami ve změnách prostředí, ke kterým dochází před, během a po suchu. Mezi velkými suchy se půda nemusí snadno zotavit a místo toho vstoupí do alternativních stabilních stavů (Stirling et. al. 2020).

Podle druhého vydání Klíče ke květeně České republiky (Kaplan et. al. 2019) se bažinná vegetace rozděluje do třech tříd – *Isoëto-Nano-Juncetea* = Vegetace jednoletých vlhkomilných bylin; *Bidentetea tripartitae* = Vegetace jednoletých nitrofilních vlhkomilných bylin; *Phragmito-Magno-Caricetea* = Vegetace rákosin a vysokých ostřic (Chytrý et al. 2021), přičemž tato práce se zabývá druhy rostlin skupiny třetí.

1.1.2 Třída *Phragmito-Magno-Caricetea*

Třída *Phragmito-Magno-Caricetea* je třída druhově chudé vegetace robustních vytrvalých mokřadních travin, ale také, i když v menším zastoupení, nápadně kvetoucích bylin. Tato vegetace se vyskytuje nejvíce v mírném podnebném pásu

Eurasie, kde osidluje mělké sladkovodní či brakické mokřady, ať už přirozené, polopřirozené nebo antropogenní. V oblastech s větším výskytem mokřadních stanovišť (rybníční soustavy, toky řek aj.) ovlivňuje tato vegetace celkový ráz krajiny. Rostliny rostoucí v této vegetaci se vyznačují hustým kořenovým a oddenkovým systémem, který slouží jako adaptace k zakořeňování v nestabilním substrátu mokřadů a napomáhá k vegetativnímu rozmnožování. Kvůli neustálé přítomnosti vody bývají kořeny i báze rostlin včetně listů delší dobu ponořeny pod hladinou, kvetení a plazení ale probíhá nad vodou.

Druhy vegetace třídy *Phragmito-Magno-Caricetea*, které se vyskytují podél tekoucích vod, jsou velmi odolné proti mechanickému porušení. Tato odolnost je výhodná zejména při povodních. Porosty těchto druhů se díky poléhavým stéblům nebo lodyhám po disturbanci rychle obnoví, protože snáze zakořeňují. Velká část společenstev této třídy napomáhá k zazemňování mělkých vodních stanovišť díky své velké produktivitě biomasy.

Co se týče reakcí této vegetace na určité změny nebo faktory prostředí, při trvalém zaplavení trpí rostliny stresem z nedostatku kyslíku (i přes mnohé adaptace k růstu ve vodním prostředí, jako jsou aerenchymatická pletiva, která zajišťují přívod atmosférického kyslíku, nebo schopnost oddenků přečkat v tzv. dormantním stádiu či v anaerobním prostředí) a naopak při dlouhodobém suchu, které rostliny zvládají přečkat jen po určitou dobu. Celkově je ale vegetace třídy *Phragmito-Magno-Caricetea* vázána na kolísání výšky vodního sloupce a střídání fází hlubšího zaplavení (hydrofáze), mělkého zaplavení (litorální ekofáze), zamokření substrátu bez zaplavení (limózní ekofáze) a vyschnutí (terestrická ekofáze). Dominantní druhy této vegetace mají ale poměrně širokou toleranci právě k dynamice vodního režimu, pH vody či půdy, dostupnosti živin nebo světla a dalším faktorům důležitým pro jejich trvalou existenci (Chytrý et al. 2021).

1.1.3 Mokřady v ČR

V České republice se nachází nespočet mokřadů různých typů (viz Obrázek 1). Jelikož se ale tato práce zabývá pouze určitým typem společenstva, jsou zde uvedeny a definovány jen mezinárodně významné mokřady z kategorií Lužní les, olšina či jiné

mokřadní lesy a Rákosina a ostricová louka podle databáze Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR 2024):

- Lednické rybníky – „Litorální porosty vázané na mělčí okraje rybníků jsou tvořeny převážně rákosinami. Na přechodových stanovištích mezi vodní hladinou a souší se uplatňují zejména v okolí rybníka Nesyt jedinečná slanomilná společenstva. Okolí rybníků tvořeno převážně agrocénózami. Doprovodná břehová zeleň tvořená kříženci topolů černých, krajinářsky upravenými porosty s převahou listnatých dřevin včetně geograficky nepůvodních a hospodářskými lesními porosty s borovicí lesní a dubem cerem. Na některých rybnících vytvořeny umělé ostrovy. Další mělčiny a obnažené písčiny se objevují přechodně při snížené hladině“ (AOPK ČR 2024).
- Litovelské Pomoraví – „Území je inundačními hrázemi ze dvou třetin odděleno od zemědělsky využívané krajiny. Vodní režim je řízen množstvím vody v Moravě a režimem záplav. Tím je ovlivněna i dynamika sukcesí rostlinných a živočišných společenstev. Lesní společenstva mají přirozenou dřevinnou skladbu, většinou s bohatou etáží keřů a s typickými sezónními aspekty rostlinných společenstev. Převážná část Moravy je v parmovém pásmu, místy podmínky pro rozvoj pásma cejnového“ (AOPK ČR 2024).
- Mokřady dolního Podyjí – „Vyspělé lužní lesy převážně s přirozenou dřevinnou skladbou, zároveň největší fragmenty luhů podsvazu *Ulmenion* na území ČR. Převládá asociace *Fraxino pannonicae-Ulmetum*. V okolí vodních toků a ploch vyvinuta společenstva řádů *Phragmitetalia* a *Magnocaricetalia*“ (AOPK ČR 2024).
- Poodří – „Určujícím faktorem ekologické stability je vodní režim řeky Odry s rozsáhlými mělkými povrchovými rozlivy. Velmi cenná jsou přirozená společenstva lužních lesů, společenstva stojatých i tekoucích vod, močály, rákosiny a mokřadní louky různého stupně podmáčení, historické rybníční soustavy s přilehlými mokřady (700 ha rybníků). Nadregionální biocentrum Oderská niva zaujímá celou severní část CHKO Poodří až po Hukovice, nadregionální biokoridor tvoří jižní část nivy Odry v CHKO. Mezinárodně významné ptačí území, bohatá fauna obojživelníků, unikátní rostlinná společenstva stojatých vod. Řeka Odra a navazující lužní ekosystémy představují reprezentativní systém modálního charakteru, jenž představuje

unikátní ukázkou kontaktního území s plynulou proměnlivostí základních charakteristik ve směru toku řeky Odry (JZ-SV). Proces tvorby a vývoje meandrů je dosud živý a uplatňuje se především při víceletých vodách. Rovněž posouvání meandrů v meandrovém pásu je během jednotlivých let zřetelně patrné“ (AOPK ČR 2024).

- Šumavská rašeliniště – „Šumava je tvořena horninami moldanubika a krystalinika Českého masivu. Na Prachaticku, Vimpersku a Volarsku vystupují pararuly granitového komplexu, na Sušicku biotické pararuly s hojnými vložkami vápenců. Na Klatovsko zasahují žuly Středočeského plutonu. Šumava je relativně jednolitý horský celek ve střední Evropě, mající z hlediska vývoje a formování společenstev rostlin a živočichů úzké vztahy jak k alpské soustavě, tak především k ekosystémům severským (rašeliniště)“ (AOPK ČR 2024).
- Třeboňské rybníky – „Litorální porosty vázané na mělčí okrajové části rybníků jsou tvořeny především společenstvy s dominantními rákosem, orobinci a zblochanem vodním. Ty přecházejí do společenstev vysokých ostřic nebo bažinných olšin a vrbin. Rostlinná společenstva na přechodu vodní hladiny do okolní kulturní krajiny či lesa jsou velice pestrá a rozdílná: od přímého kontaktu vodní hladiny s polem, loukou či lesem až po několik set metrů široké hydroserie rákosina – ostřice – rašeliniště – vrbin – mokré louky. Lesy v okolí rybníků jsou převážně druhotné bory a smrčiny. Na mnoha rybnících jsou vytvořeny umělé ostrůvky – deponie, mělké písčiny se vytvářejí ojediněle a přechodně“ (AOPK ČR 2024).



Obrázek 1 - Mapa ČR s vyznačenými mokřadními biotopy, převzato z <https://mokrady.ochranaprirody.cz/mapa/>

1.2 Rostliny

1.2.1 Sucho a stres pro rostliny jím způsobený

Sucho je jedním z hlavních faktorů omezujících růst a produkci rostlin po celém světě. Tento jev pozměňuje hydrologické poměry v půdě a tím snižuje efektivitu využití vody rostlinou. Kvůli nedostatku vody v rostlinném těle se snižuje také rychlost fotosyntézy, hlavně uzávěrem průduchů. Rostliny si pro odolání suchu vyvinuly řadu mechanismů, mimo jiné zlepšení příjmu vody pomocí rozsáhlých kořenových systémů sahajících do větších hloubek půdy nebo tučné či ochlupené listy, které zabraňují velkým transpiračním ztrátám (Farooq et. al. 2012). Stres vyvolaný suchem je nevyhnutelný faktor existující v rozmanitých prostředích. Je klíčovým environmentálním stresorem. Výsledkem nepříznivého působení nedostatku vody v půdním prostředí je vývoj adaptací rostlin, mezi které kromě již zmíněných patří mimo jiné snížení ztrát vody transpirací pomocí změny stomatální vodivosti, rolování listů nebo poměr kořenů a výhonků (Seleiman et. al. 2021).

1.2.2 Vodní režim a průduchová vodivost rostlin

Průduchy jsou významné části rostlinného těla. Kontrolují tok vody v rostlině, slouží k ochlazení listů a ovlivňují rychlost fixace oxidu uhličitého v tkáni mezofylu listů (Wong et. al. 1979). To je důležité pro prospívání, mnohdy ale i samotné přežití rostlin v prostředí, které vždy nenabízí nejvhodnější podmínky. Tohoto docilují svým otevíráním a zavíráním. Průduchy jsou tvořeny póry, které jsou rozmístěny po listové ploše rostliny. Ta je pokryta relativně voděodolnou a nepropustnou voskovou vrstvou – kutikulou. Průduchy jsou strategicky umístěny mezi suchým prostředím atmosféry a vlhkým vnitřkem listu (Turner 1991). Ovládání stomatálního otvoru má na starosti rozdíl tlaku turgoru mezi ochrannými buňkami okolo průduchu a povrchem listu. Tyto rozdíly mohou nastat velmi rychle. To umožňuje rostlině se rychle adaptovat na měnící se podmínky prostředí. Stomata výrazně ovlivňují regulaci transpirace. Transpirace je proces putování vody z půdy přes rostlinu do atmosféry. Tím pádem jsou průduchy zodpovědné za rychlost vyčerpávání vody z půdy. Zároveň ochlazují povrch listů, což zabraňuje nadměrnému zahřívání rostliny (Damour et. al. 2010). Vysoký vodní potenciál rostlin je udržován také xeromorfními vlastnostmi rostlin, jako jsou výše uvedené adaptace – ochlupené listy či právě přítomnost kutikuly. Tyto adaptace také snižují teplotu listů, protože zvyšují míru odrazu světla od listu a zajišťují další

ochrannou vrstvu, která brání nadměrnému výparu vody. Ovšem mnohdy s nimi souvisí snížení velikosti vegetativních a reprodukčních částí rostlin (Seleiman et. al. 2021). Zaplavení stanoviště může být pro některé druhy rostlin, které nejsou vhodně adaptované, smrtícím faktorem. Nadměrným množstvím vody se snižuje stomatální konduktance (průduchová vodivost), její měření je tedy vhodnou a poměrně šetrnou technikou k určování tolerance rostlin vůči záplavám a suchu (Smith & Moss 1998). Průduchová vodivost stanovuje rychlost výměny plynu (příjem oxidu uhličitého z atmosféry) a transpirace (ztrátu vody) průduchy na povrchu listů. Je to tedy funkce hustoty, velikosti a stupně otevření průduchů (Pask et. al. 2012). Při měření průduchové vodivosti je často opomíjena teplota, i když je to jeden z nejrychleji se měnících faktorů v životním prostředí. Bylo zjištěno, že čím vyšší je teplota, tím více je otevřeno průduchů (Urban et. al. 2017). S větším množstvím otevřených průduchů je vodivost větší – tím pádem je rychlost fotosyntézy a transpirace potenciálně vyšší (Pask et. al. 2012). Stomatální vodivost se odlišuje v závislosti na různých podmínkách prostředí, mezi které patří i koncentrace oxidu uhličitého, relativní vlhkost, teplota, stav půdní vody a atmosférické polutanty. Některé z těchto podmínek (relativní vlhkost, teplota a obsah půdní vody) se mohou měnit s denní dobou nebo ročním obdobím, posuzují se při měření průduchové vodivosti podrobněji, než vliv znečišťujících látek z ovzduší. Je ale známo, že tyto polutanty mohou mít na vodivost výrazný lokální vliv. Například ozón, oxid siřičitý a další látky znečišťující ovzduší obvykle ovlivňují uzavírání průduchů (Turner 1991).

1.2.3 Kompetice mokřadních rostlin

Rostliny, nejen v mokřadních ekosystémech, mezi sebou soupeří o různé zdroje. Avšak výzkumy této konkurence se často zabývají pouze jedním omezeným zdrojem. Většinou se jedná pouze o zdroj živin, hlavně dusíku. Jen malé množství studií se zabývá například konkurencí o světlo, která s živinami poměrně úzce souvisí. Čím více živin rostliny vstřebávají, tím větší je plocha jejich těla a tím pádem také možnost vystavit se světelnému záření a fyto-syntetizovat. Jenže zvětšení biomasy představuje další kompetiční pole – o plochu k růstu (Edelkraut et. al. 2000). Některé rostliny v mokřadech se šíří klonálním růstem, kdy tvoří téměř monokulturní porosty. Tyto kolonie nabízejí ideální prostředí pro studium konkurenčních interakcí mezi druhy a pro vytváření teorií o rostlinné konkurenci (Paradis et. al. 2014). Jeden

z výzkumů prokázal, že rostliny, které jsou na stanovišti samotné a nemají konkurenty, mají vyšší vodní potenciál, vodivost a plochu listů. Proto je rychlost růstu a reprodukční produkce výrazně vyšší u rostlin bez „sousedů“ (Ehleringer 1984). Konkurenční vztahy mezi rostlinnými druhy v močálových oblastech jsou také ovlivňovány vegetací, která upravuje hromadění sedimentů a změny v nadmořské výšce močálů. Změny v geomorfologii, produktivitě a distribuci rostlinných druhů jsou zapříčiněny konkurenčními interakcemi a interakcemi s biomasou a akumulací sedimentů, které ovlivňují nadmořskou výšku močálů vůči průměrné hladině vody. Tato rovnováha je pozitivně ovlivněna hustotou biomasy emergentních rostlin a negativně rychlostí stoupání vodní hladiny. Dominantní druhy mají schopnost upravit své prostředí a vytlačit konkurenčně slabší druhy prostřednictvím změn v nadmořské výšce. Tento jev se nazývá geomorfologické vytlačení (Morris 2006).

2 Cíle práce

Prvním cílem této studie je v literární rešerši shrnout a charakterizovat mokřadní biotopy a vliv sucha/vody na tato společenstva. Také zde budou uvedeny již zjištěné informace o vodním režimu mokřadních druhů rostlin, průduchové vodivosti jakožto regulaci množství vody v jejich tělech a s tím spojený stres z nadměrného dlouhodobého sucha, který na tyto rostliny působí. V neposlední řadě zde budou přiblíženy vlivy kompetice na mokřadní rostliny.

Dalším cílem je experimentálně ověřit, jaký vliv na rostliny a jejich průduchovou vodivost má prostředí, ve kterém rostou a liší-li se tyto mokřadní rostliny tím, jak efektivně v tomto prostředí využívají vodu. V druhé části této práce je popsán experiment, který byl pro zjištění hodnot průduchové vodivosti proveden – konkrétně vybrané druhy mokřadních rostlin byly vybrány a pěstovány ve třech různých podmínkách – v suchém prostředí, mokřadním prostředí a kompetičním prostředí. Budou zde interpretovány výsledky a také popsány jednotlivé druhy pěstovaných rostlin.

3 Metodika

3.1 Popis experimentu

Celý experiment probíhal na biotopovém pozemku Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Do plastových kruhových nádob o objemu 90 l se na zeminu vysela semena druhů rostlin, které byly předem vybrány jako pokusné. Během klíčící doby semen se do nádrží na vodu, které se nacházeli v půdě již před začátkem experimentu (viz. Obrázek 2), umístilo celkem 804 plastových trubek o průměru 16 cm a délce 37 cm. Do menších nádrží se vměstnalo devět, do větších dvacet čtyři trubek. Trubky se poté naplnily předem smíchanou směsí zeminy a písku v poměru 1:1 a sloužily jako květináče. Částečně vzrostlé rostliny z předpěstovacích nádob se podle stanoveného režimu (treatmentu) přesadily do těchto trubek – pro suchý (DRY TREATMENT) a mokrý režim (WET TREATMENT) v trubce rostla rostlina pouze jedna, v kompetičním režimu (COMPETITION TREATMENT) dva jedinci odlišných druhů rostlin. Rostliny rostoucí v mokrém a kompetičním režimu rostly v nádržích s hladinou vody ve vyšší výšce, než rostliny v suchém režimu.



Obrázek 2 - Nádrže a nádoby s rostlinami během experimentu (autor – Přemysl Král 2023)

3.2 Sběr dat

Měření průduchové vodivosti bylo prováděno přístrojem METER SC-1 Leaf Porometer (viz. Obrázek 3), s jehož pomocí bylo možné zjistit, kolik vlhkosti se přes průduchy v listech rostlin odpařuje. Přístroj měří 30 vteřin v rozmezí 0 až 1000 mmol/m²s. Před každým měřením byl přístroj nakalibrován tak, aby hodnoty nebyly zkreslené. Samotné měření probíhalo následovně – přístroj se zapnul, proběhla kalibrace, poté se sensorová hlava přístroje rychlým pohybem otevřela a sevřela list tak, aby plocha listu zakrývala celý senzor. Po 30 vteřinách se na displeji přístroje ukázala hodnota stomatální vodivosti listu. Před dalším měřením se sensorová hlava opatrně sundala z listu, aby nedošlo k poškození rostliny, díky vždy přítomnému desikantu se ze senzoru vyklepala přebytečná vlhkost a postup se mohl opakovat. Pro prováděný experiment se zjišťovala stomatální vodivost obou stran reprezentativního listu rostliny. Tohoto ovšem nemohlo být docíleno u každé rostliny, například *Juncus effusus* vzhledem ke tvaru listů nemohl být změřen. U druhu *Scrophularia nodosa* byl změřen pouze jeden jedinec, ostatní během experimentu uhynuly. Měření se provádělo od 11. 7. 2023 do 23. 8. 2023., téměř každý den ve dvou intervalech – od 11-12 hod., poté od 15-16 hod. Každá rostlina se změřila jak v dopoledních, tak odpoledních hodinách.



Obrázek 3 - Použitý porometr a zápisník.

3.3 Druhy rostlin pěstované v experimentu

Carex acuta (ostřice štíhlá)

- *Carex acuta* je mohutná různoklasá výběžkatá ostřice z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*) (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Nabývá rozměrů od 30 cm až 1,4 m (Chytrý et. al. 2019), z generativních odnoží vyrůstají stonky, které mají v průřezu trojúhelníkový tvar. Listy jsou samonosné, úzké a měří až 1 m (Honnisová et. al. 2015). Vyrůstají z pochev, které jsou u dolních listů okrové. Nejdolnější listen rostliny je vždy viditelně delší než samotné květenství (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), které u *Carex acuta* představuje klas klásků s bezobalnými, černými květy. Rostlina kvete v období měsíce května a června (Chytrý et. al. 2019). Jedná se o druh vyskytující se na rovných, ale i lehce svažitéch březích vodních ploch, s oblibou na oglejených jílech. Také roste na sezónně mělce zaplavovaných nebo podmáčených organogenních sedimentech (Honnisová et. al. 2015), i podél vodních toků, na vlhkých loukách či v mokřadech (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Carex acutiformis (ostřice kalužní, o. ostrá)

- *Carex acutiformis* je mohutná, vytrvalá výběžkatá ostřice z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*). Tato ostřice může být zaměněna s druhem *Carex acuta* (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Dosahuje rozměrů od 30 cm do 1,5 m. Lodyhu má ostře trojhrannou, tuhou a přímou. V horní části rostliny je lodyha drsná. Pochvy spodních listů jsou síťovitě vlášenité, bez čepelí a mají světle hnědou až purpurovou barvu. Listy jsou ploché, drsné a slabě kýlnaté. Měří 3 mm až 2 cm na šířku. Listeny jsou u tohoto druhu listovité (Grau 1998). Květenství u *Carex acutiformis* představuje klas klásků (Chytrý et. al. 2019), které je mnohdy i více než 30 cm dlouhé a skládá se ze 3-9 přisedlých až krátce stopkatých, přímých klásků. Horní 1-4 klásky nesou samčí květy, ostatní jsou oddálené se samičími květy (Grau 1998), které mají 3 blizny, mošničky jsou poté trojboké až oblé (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), nenafouklé a krátce zobanité. Měří 4-5,5 mm, jsou zelené a matné (Grau 1998). Rostlina kvete v období měsíce května až června černým květem (Chytrý et. al. 2019). Jedná se o hojného zástupce vegetace slatinných mokřadů, vlhkých luk, břehů

rybníků nebo také olšin. Častěji se vyskytuje na stanovištích s úživnějšími podklady v nižších polohách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Carex elata (ostřice vyvýšená)

- *Carex elata* je vytrvalá ostřice z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*), která tvoří nápadné trsy – bulvy se sítkou na slámových pochvách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jedná se o 20 cm až 1,2 m vysoký, nevýběžkatý druh s tuhou, přímou, ostře trojhrannou lodyhou. Ta je v horních partiích na hranách drsná, olistěná je pouze na bázi (Grau 1998). Fylogeneze listů (jejich uspořádání na lodyze) je u *Carex elata* střídavá, listy jsou pouze letní (Chytrý et. al. 2019), čepele mají šedo zelenou barvu, ploché, po okrajích silně drsnaté. Měří 3-5 mm na šířku a téměř 1 m na délku (Grau 1998). Rostlina kvete černým bezobalným květem v období měsíce května až června. Květenstvím je zde klas (Chytrý et. al. 2019) 3-7 přisedlých až krátce stopkatých, přímých klásků. Spodní klásky jsou válcovité s nahusto seskupenými samičími květy, 1-3 horní klásky jsou také válcovité, ale úzké, se samčími květy. Květenství má spodní listen, který je listovitý a stejně dlouhý jako listy. Na bázi má 2 černá ouška a nemá pochvu. Samčí květy mají u tohoto druhu 3 tyčinky, samičí jsou s pestíkem a 2 bliznami. Rostlina roste v litorální zóně jak stojatých, tak i pomalu tekoucích vod (Grau 1998) a v olšinách na kyselých půdách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Carex elongata (ostřice prodloužená)

- *Carex elongata* je stejnoklasá trsnatá ostřice z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*). Podobně jako *Carex elata* tvoří i tento druh nápadné trsy vyčnívající nad hladinu vody (Jírová 2007). Rostlina je vysoká 30-70 cm (Chytrý et. al. 2019). Listy jsou živě zelené, velikostně se podobají lodyze, zakončují je vlasovité špičky (Jírová 2007). Lodyhy jsou také světle zelené, na svém vrcholu nesou protáhlé květenství (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), což u *Carex elongata* představuje klas klásků. Rostlina kvete v období měsíce května a června zeleným, bezobalným květem (Chytrý et. al. 2019). Tento druh se nejčastěji vyskytuje v mokřadních olšinách, na březích lesních potoků či rybníků a na mokřadních loukách. Vyhledává výživné, mokré,

propustné půdy se spíše zásaditým prostředím (Jírová 2007), kde tvoří bohatší porosty (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Carex paniculata (ostřice latnatá)

- *Carex paniculata* je stejnoklasá, robustní ostřice z čeledi šáchorovité (Cyperaceae) (Červenka et. al. 1984), která vytváří velké, vyvýšené trsy – buly. Z hnědých, neroztřepených pochev (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) vyrůstají žlábkovité listy, které jsou téměř stejně dlouhé jako stonek (Červenka et. al. 1984). Na vrcholu rostliny, která je vysoká 60 cm až 1,4 m, se nachází květenství, které u *Carex paniculata* představuje lata klásků, která nese bezobalné, hnědé květy, které vykvétají v období měsíce května až června (Chytrý et. al. 2019). Lata měří téměř až 10 cm (Červenka et. al. 1984). Co se nadmořské výšky týče, jedná se o mokřadní druh s velmi variabilním výskytem (Cicero et. al. 2019). Přirozeně se může vyskytovat na slatinných loukách nebo v bažinných olšínách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) od mořské hladiny do nadmořské výšky až 2600 m (Cicero et. al. 2019). Roste spíše na bazických podkladech (Červenka et. al. 1984) na stanovištích, která jsou často biotopy evropského zájmu, v některých oblastech se dokonce jedná o biotopy reliktní (Cicero 2019).

Carex pseudocyperus (ostřice nedošáchor)

- *Carex pseudocyperus* je vytrvalá, mohutná, řídce trsnatá ostřice z čeledi šáchorovité (Cyperaceae) (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Rostlina je vysoká 30 cm až 1 m, má ostře trojhrannou lodyhu, která je na povrchu drsná. Čepele listů jsou kýlnaté, zelenožluté, po okrajích hrubé (Grau 1998), asi 1 cm široké. Klásky jsou žlutozelené s více než 100 zelenými květy (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), které tvoří květenství – klas klásků. *Carex pseudocyperus* kvete v období měsíce května až července (Chytrý et. al. 2019). Květenství je až 15 cm dlouhé. Klásků je v květenství 4-7, jsou navzájem přiblížené, dlouze stopkaté až převislé. Klásek postavený nejvýše v květenství nese samčí květy. Ostatní klásky jsou složeny ze samičích květů, které jsou okolíkatě shloučené a při plození jsou výrazně převislé na tenkých stopkách. Jedná se o druh, který se vyskytuje na březích stojatých vod, v močálech (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), příkopech a olšínách (Grau 1998).

Carex remota (ostřice řídkoklasá)

- *Carex remota* je lesní (Uria-Diez et. al. 2014) stejnoklasá, vytrvalá, trsnatá i krátce výběžkatá ostřice z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*) (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Tento druh je drobnější, dorůstá 20-50 cm (Chytrý et. al. 2019). Má poléhavé lodyhy a převislé listové čepele (Červenka et. al. 1984), které jsou dlouhé v průměru 25–50 cm (Uria-Diez et. al. 2014). Rostlina je znatelná dlouhým a řídkým květenstvím (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) – klasem klásků. Vykvétá v období měsíce května až června (Mrázek 2011) zelenými, bezobalnými květy (Chytrý et. al. 2019). Klásky tvořící květenství jsou drobné, oddálené a podepírá je dlouhý, odstálý listen (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jedná se o mokřadní druh velmi odolný vůči zastínění. Vyskytuje se v bukových, lužních (Uria-Diez et. al. 2014) lesích a olšínách (Červenka et. al. 1984), také v nivách řek na vlhkých půdách (Mrázek 2011).

Carex riparia (ostřice pobřežní)

- *Carex riparia* je vytrvalá, netrsnatá rostlina z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*) (Dítě 2011). Dorůstá velikosti od 50 cm do 1,5 m (Chytrý et. al. 2019). Její přímá, ostře trojhranná lodyha vyrůstá z dlouhých oddenků. Pochvy listů jsou světle hnědé, téměř i purpurové (Grau 1998), listové čepele jsou jen o něco delší než lodyha. Jsou 6 mm až 1,8 cm široké, ploché, drsné a tuhé (Dítě 2011), mají modrozelenou barvu (Grau 1998). Rostlina kvete černými, bezobalnými květy, které jsou shloučené do květenství typu klas klásků v období měsíce května až června (Chytrý et. al. 2019). Klásky jsou silné, těsně shlukovité (Mackenzie 1910). Jedná se o druh příkopů, mokřých luk či břehů vod (Grau 1998), také světlin lužních lesů, od nížin až do pahorkatin. *Carex riparia* požaduje mokré, výživné, spíše zásadité půdy (Dítě 2011).

Cirsium palustre (pcháč bahenní)

- *Cirsium palustre* je ostnatá vytrvalá bylina z čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) vysoká 60 cm až 2,6 m (Chytrý et. al. 2021). Celoostnitá křídlatá jednoduchá nebo slabě rozvětvená lodyha vyrůstá z výběžkatého oddenku (Červenka et. al. 1984). Je po celé své délce olistěná, pavučinatě vlnatá (Aichele 1996). Listy jsou ostnité. Obvykle jsou přeňolaločné, přizemní pak řapíkaté a lodyžní

přisedlé a sbíhavé (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Na líci jsou listy tmavozelené, na rubu bíle plstnaté (Červenka et. al. 1984). Květenství představuje u *Cirsium palustre* hrozen úborů, který se skládá z malých, červenofialových květů, které mají redukovaný kalich (Chytrý et. al. 2021) a jsou trubkovité. Semeník obsahuje zpeřený chmýr, který je viditelný pod lupou (Aichele 1996). Rostlina kvete v období měsíce června až října (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Je velmi hojná na vlhkých loukách, rašeliništích, prameništích a březích vod ((Deyl et. al. 2001), ale také v bažinných lesích (Aichele 1996) nebo olšinách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) od nížin až po horský stupeň (Červenka et. al. 1984). Vyhledává převážně půdy na kyselých podkladech (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), na půdách vysloveně bohatých na vápník neroste (Aichele 1996).

Deschampsia cespitosa (metlice trsnatá)

- *Deschampsia cespitosa* je mohutná, velice trsnatá travina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Dorůstá do výšky až 1,5 m (Červenka et. al. 1984). Jedná se o vytrvalý druh se sytými zelenými, ostře podélně zbrázděnými a křemičitými silně inkrustovanými listy (Šikula & Větvíčka 2021). Je mnohdy tvrdší než rod *Carex* sp. (ostřice) (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Má hladká a vysoká stébla, která jsou pod latou zdrsňelá. Lata samotná je úhledná (Šikula & Větvíčka 2021), robustní (až 20 cm dlouhá) (Červenka et. al. 1984), rozložená na všechny strany (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Je složena z velkého počtu klásků, které jsou 3-4 mm dlouhé, s hnědým nebo nafialovělým leskem. Rostlina začíná kvést v období června až července a v květenství remontuje až do září (Šikula & Větvíčka 2021). Jedná se o druh s velmi širokou ekologickou amplitudou (Červenka et. al. 1984), který je velmi hojný na vlhkých loukách, v příkopech, v lužních lesích a na prameništích (Deyl et. al. 2001) od nížin až nad hranici lesa (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Epilobium hirsutum (vrbovka chlupatá)

- *Epilobium hirsutum* je statná vytrvalá bylina z čeledi pupalkovité (*Onagraceae*) (Deyl et. al. 2001). Rostlina je vysoká 80 cm až 2 m, lodyhu má žláznatou (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) s odstávajícími chlupy.

Lodyha je přímá, oblá a rozvětvená v horní části rostliny (Červenka et. al. 1984). Spodní listy jsou křížmostojné, objímavé, kopinaté (Aichele 1996) 5-12 cm dlouhé se zubatým okrajem (Červenka et. al. 1984). Květy druhu *Epilobium hirsutum* jsou až 2 cm velké a obsahují čtyřklanou bliznu (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Mají červenofialovou barvu a tvoří květenství – hrozen (Chytrý et. al. 2019). Semena rodu *Epilobium sp.* mají nápadně dlouhý chmýr (Aichele 1996). Rostlina kvete v období měsíce dubna až září (Chytrý et. al. 2019). Jedná se o druh příkopů, rákosin tekoucích, vzácně i stojatých vod. Vyskytuje se také na vlhkých rumištích (Aichele 1996) a v bažinách (Deyl et. al. 2001). S oblibou vyhledává hlinité, trochu zásadité půdy (Aichele 1996).

Glyceria fluitans (zblochan vzplývavý)

- *Glyceria fluitans* je vytrvalá mokřadní a vodní svěže zelená tráva z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Šikula & Větvička 2021). Dorůstá velikosti 30 cm až 1,3 m (Chytrý et. al. 2019). Má dlouhé plazivé oddenky. Stébla jsou dlouhá 50 cm až 1 m, v letních měsících je ukončuje (Šikula & Větvička 2021) přerušovaná lata klásků (Červenka et. al. 1984), které jsou bezosinné a mnohokvěté (Šikula & Větvička 2021), přes 1 cm dlouhé a úzké (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Lata je víceméně jednostranně orientovaná, což představuje hlavní poznávací znak. Dalším rozpoznávacím znakem jsou právě klásky se špičatými pluchami, zatímco plušky jsou na konci dvouhrbé (Šikula & Větvička 2021). Rostlina ve vodě vytváří dlouhé vzplývavé listy (Deyl et. al. 2001), které jsou komůrkaté, což právě umožňuje vzplývání na vodě. Mladé listy jsou v polovině přehnuté k sobě, na pomezí čepele a pochvy se nachází dlouhý špičatý, na konci roztržený jazýček (Šikula & Větvička 2021). *Glyceria fluitans* kvete v období měsíce června do srpna zeleným květem (Chytrý et. al. 2019). Tento druh se vyskytuje na březích jak stojatých, tak i tekoucích vod, v příkopech, na mokřích loukách (Deyl et. al. 2001) a na prameništích (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Glyceria maxima (zblochan vodní)

- *Glyceria maxima* je vytrvalý bažinný a vodní druh z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Šikula & Větvička 2021). Tento druh trávy je mohutný, 80 cm až 2 m vysoký a tvoří souvislé porosty na nitrofilních stanovištích (Skoumalová-

Hadačová & Hrouda 2018). Z na vlhké půdě vzniklých výběžkatých kořenujících oddenků vyrůstají žlutozelená stébla i listy. Stébla jsou dužnatá a hladká. Na nich se nacházejí oblé nebo mírně kýlnaté (Šikula & Větvička 2021), 20 mm široké, hrotité (Červenka et. al. 1984) listy s oblými pochvami (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Rostlina vykvetá v letních měsících (v červnu až srpnu) latou klásků se zelenou barvou (Chytrý et. al. 2019). Klásky jsou drobné, 1-2,5 cm dlouhé (Šikula & Větvička 2021), menší než u ostatních druhů z rodu *Glyceria* sp. (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jedná se o rostlinu velmi častou na březích stojatých a mírně tekoucích vod, v močálech (Deyl et. al. 2001), rákosinách a olšinách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Iris pseudacorus (kosatec žlutý)

- *Iris pseudacorus* je statná vytrvalá bylina z čeledi kosatcovité (*Iridaceae*) (Deyl et. al. 2001). Může dorůst do výšky 80 cm až 1,2 m (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Rostlina má silný, hrubý masitý oddenek (Červenka et. al. 1984). Listy jsou široké až 3 cm, téměř stejně jako lodyha (Aichele 1996), mečovité a k lodyze jsou postaveny hranou (není zde rozlišen rub a líc). Lodyha nese 4-12 žlutých květů, ale obvykle společně kvetou nanejvýš dva (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Květy mají dlouhé stopky a jsou uspořádané do vějířku, tyčinky po třech a také trojpodzdrý semeník (Červenka et. al. 1984). Vnější větní plátky jsou tmavě skvrnitě a nemají hřebínky chlupů, vnitřní jsou menší a vzpřímené. Laloky čnělky jsou velké, podobné okvětním plátkům (Aichele 1996). Rostlina kvete v období května až června (Chytrý et. al. 2021). Roste často na březích stojatých i mírně tekoucích vod, v lesních tůních, také na bažinatých loukách, v pobřežních houštinách (Deyl et. al. 2001) a porostech vysokých ostřic (Aichele 1996) nížin a pahorkatin, zřídka i výše (Červenka et. al. 1984). Tento druh upřednostňuje bahnitě eutrofní vody (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Juncus effusus (sítina rozkladitá)

- *Juncus effusus* je vytrvalá, svěže zelená, hustě trsnatá bylina z čeledi sítinovitě (*Juncaceae*) (Šikula & Větvička 2021). Tato bezlistá, lesklá rostlina je 30 cm až 1,2 m vysoká. Lodyha je u *Juncus effusus* hladká, ve vnitřku má bělavé,

houbovitě pletivo aerenchym, sloužící jako forma provzdušnění (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Vzácně je lodyha slabě rýhovaná (Grau 1998). Na bázi lodyhy se nacházejí červenohnědé pochvy (Červenka et. al. 1984). Rostlina kvete zeleným kruželem v období měsíce června až srpna (Chytrý et. al. 2019), toto květenství je volně rozkladité, zdánlivě postranní z důvodu podpurného listenu, který ho převyšuje ve směru lodyhy (Šikula & Větvička 2021). Jedná se o mokřadní druh vlhkých luk, pastvin, bažin a břehů vod (Deyl et. al. 2001), rozšířený od nížin do horského stupně (Červenka et. al. 1984).

Lysimachia vulgaris (vrbina obecná)

- *Lysimachia vulgaris* je robustní, vytrvalá bylina z čeledi prvosenkovité (Primulaceae) (Deyl et. al. 2001). Rostlina je vysoká 50 cm až 1,2 m. Má přímou lodyhu, která je šestihranná, zaoblená. Lodyha je zelená až hnědavá (Rak 2007). Listy vyrůstají v trojčetných přeslenech nebo i vstřícné (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), jsou úzké, eliptické či kopinaté (Rak 2007). Květy jsou uspořádány ve vrcholovém květenství, které je u *Lysimachia vulgaris* lata. Květy jsou žluté, rozvíjejí se v období měsíce června až srpna (Chytrý et. al. 2019). Plodem je tobolka (Rak 2007). Jedná se o druh rozšířený v pobřežních křovinách, na březích potoků a rybníků (Deyl et. al. 2001), vlhkých, nesečených loukách (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) a v lužních lesích (Rak 2007).

Lythrum salicaria (kyprej vrbice)

- *Lythrum salicaria* je vysoká vytrvalá vlhkomilná bylina z čeledi kyprejovité (Lythraceae) (Deyl et. al. 2001). Rostlina dorůstá výšky 30 cm až 1,8 m (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Lodyha je u tohoto druhu čtyřhranná (Aichele 1996), přímá jednoduchá nebo rozvětvená. Listy na lodyze sedí křížmo protistojně, jsou kopinaté, na bázi srdcovité (Červenka et. al. 1984), poloobjímavé (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Květy jsou bílé, růžové, růžovofialové nebo i červenofialové, vytvářejí husté květenství (Aichele 1996), které u *Lythrum salicaria* představuje lichopřeslen (Chytrý et. al. 2019), který je složen ze zkrácených čtyř až šestikvětých vidlic (Červenka et. al. 1984). Rostlina kvete v období měsíce června až září (Deyl et. al. 2001). Kalich je chlupatý, mezi cípy má dlouhé zuby, které jsou dvakrát delší než

kališní cípy (Červenka et. al. 1984). Jedná se o častý druh mokrých, těžkých a trochu dusíkatých půd (Aichele 1996), rostoucí v pobřežních křovinách, rákosinách, příkopech (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), porostech vysokých ostřic, bažinných lesích, rašeliništích (Aichele 1996), na březích vod a vlhkých loukách (Deyl et. al. 2001) od nížin až po horský stupeň (Červenka et. al. 1984).

Myosotis palustris agg. (okruh pomněnky bahenní)

- *Myosotis palustris* agg. jsou vytrvalé, vlhkomilné rostliny z čeledi brutnákovité (*Boraginaceae*) (Červenka et. al. 1984). Mohou měřit 30-100 cm (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Lodyha je hranatá (Aichele 1996), chlupatá, častěji ovšem téměř lysá a naspodu někdy kořenující (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Listy jsou u těchto rostlin střídavé i v přízemní růžici, stálezelené, jednoduché celistvé, hygromorfní (adaptovány na stinná prostředí) a helomorfní (adaptovány na nedostatek kyslíku na zamořených půdách). Tyto druhy kvetou v období měsíce května až září modrokvětvým vijanem (Chytrý et. al. 2019). Květy jsou 4 mm až 1 cm velké, mají přitiskle chlupatý kalich (Aichele 1996), tyto chlupy lze vidět jen pod lupou (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Koruna je poměrně velká, měří 5-8 mm. Tvrdky jsou poté červenohnědé (Červenka et. al. 1984). Jedinci z tohoto okruhu rostlin jsou ukazatelem zamokření, rostou na dusíkatých hlinitých půdách na mokrých loukách, březích vod, v příkopech, rákosinách (Aichele 1996) i na prameništích a v mokrých lesích (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018) v nížinách až do horského stupně (Červenka et. al. 1984).

Phalaris arundinacea (chrastice rákosovitá)

- *Phalaris arundinacea* patří mezi jedny z nejmohutnějších vytrvalých trav (Šikula & Větvicka 2021) z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Chytrý et. al. 2019). Je vysoká 80 cm až 2 m, při vhodných podmínkách může dorůst až 2,5 m (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Vyrůstá z dlouhého plazivého oddenku (Grau 1998) přímými tuhými stébly (Šikula & Větvicka 2021), která mají sterilní výhony v paždí listů (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Stébla jsou čtyř až šesti kolénkatá. Pochvy listů jsou hladké, na hřbetní straně oblé a nesou tupé, později rozdřípené jazýčky, které měří 2 mm až 1,6 cm (Grau

1998). Listy *Phalaris arundinacea* jsou robustní (Šikula & Větvička 2021), čepele mohou být až 1,8 cm široké a 10 až 35 cm dlouhé, zašpičatělé, ploché a v přední části s poměrně drsným povrchem. Mají zelenou barvu (Grau 1998). Hlavním poznávacím znakem je u tohoto druhu velká koncová lata klásků (Šikula & Větvička 2021), kterou rostlina kvete v období měsíce června až července (Chytrý et. al. 2019). Lata je nažloutlá nebo i nazelenalá, často až červenofialově naběhlá (Šikula & Větvička 2021), 5-25 cm dlouhá a až 4 cm široká, v době květu může být prořídlá (Grau 1998). Klásky jsou oddělené (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), jednokvěté (Šikula & Větvička 2021) a měří kolem 6 mm. Jedná se o druh rostliny vyskytující se na březích tekoucích i stojatých vod, kde tvoří charakteristické porosty v rákosinách (Grau 1998), také ale obývá lužní lesy, mokré louky či příkopy. Ve sterilním stavu může být zaměněna právě za *Phragmites australis* (rákos obecný), ten má ovšem místo jazýčků chomáček tmavých chlupů (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018).

Poa trivialis (lipnice obecná)

- *Poa trivialis* je vytrvalá, vyšší volně trsnatá tráva z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Deyl et. al. 2001). Jedná se o výběžkatou rostlinu měřící od 30 cm do 1 m, (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), která bývá často ve spodní části stébel nafialovělá. Pod latou jsou stébla drsná. Co se týče listů, nejvyšší z nich mají kratší čepel, než je samotná pochva. Nesou také špičatý jazýček, který může být dlouhý až 5 mm. Květenstvím je u *Poa trivialis* lata bezosinných klásků jehlancovitého tvaru, která je řídká a pravidelně stavěná. Větévky nesoucí klásky jsou také drsné (Šikula & Větvička 2021). Rostlina kvete v květnu až červenci (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jedná se o hojný druh aluviálních luk (Červenka et. al. 1984), mokřadů, lužních lesů a břehů vod (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018), ale také příkopů (Deyl et. al. 2001), protože nemá velké nároky na klimatické a půdní podmínky (Šikula & Větvička 2021).

Rumex conglomeratus (šťovík klubkatý)

- *Rumex conglomeratus* je vytrvalá bylina z čeledi rdesnovité (*Polygonaceae*). Dorůstá výšky 30-90 cm (Chytrý et. al. 2019). Lodyha je u tohoto druhu často

už od báze větvená, rýhovaná a má červenou barvu se šikmo nebo téměř rovně odstávajícími větvemi (Prančl 2011). Nejspodnější listy jsou srdčité nebo vejčité, stonkové poté mají srdčité kopinatý tvar (Aichele 1996). Měří až 15 cm na délku a 5 cm na šířku. Někdy mají zvlněné okraje (Prančl 2011). *Rumex conglomeratus* kvete zelenými květy v období měsíce června až srpna. Tyto květy dohromady tvoří květenství – latu lichoklasů (Chytrý et. al. 2019). Květenství je až k vrcholu olistěné (Aichele 1996) podpůrnými listeny (Červenka et. al. 1984). Jedná se o mokřadní druh pobřežních společenstev, lužních lesů, vrbin (Červenka et. al. 1984), ale také ruderalních porostů u cest (Aichele 1996), rumišť (Prančl 2011) a sešlapávaných stanovišť (Červenka et. al. 1984).

Rumex sanguineus (šťovík krvavý)

- *Rumex sanguineus* je vytrvalá bylina z čeledi rdesnovité (*Polygonaceae*) (Červenka et. al. 1984). Rostlina je vysoká 50 cm až 1,2 m. Listy má střídavé, jednoduché, celistvé. *Rumex sanguineus* kvete zeleným květem v létě v období měsíce června a července. Květy tvoří květenství, které je zde lata lichoklasů (Chytrý et. al. 2019). Tento druh je charakteristický tím, že podpůrné listeny se obvykle nacházejí pouze v dolní části květenství. Jedná se o evropský druh, který se vyskytuje od nížin až do horských oblastí. Obvykle roste v lesních prostředích, jako jsou bučiny a lužní lesy, obvykle kolem cestiček a míst s dostatkem dusíkatých látek. Má tendenci k ruderalnímu růstu (Červenka et. al. 1984). Častěji se vyskytuje na živinami bohatých místech, jen výjimečně na stanovištích chudších. Je to indikátor mírně kyselých až bazických podmínek. Nikdy se nevyskytuje v silně kyselých podmínkách (Chytrý et. al. 2019).

Scirpus sylvaticus (skřípina lesní)

- *Scirpus sylvaticus* je vytrvalá bylina z čeledi šáchorovité (*Cyperaceae*) (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Dorůstá do výšky od 40 cm do 1 m. Jedná se o rostlinu s výběžkatým oddenkem a přímými, tupě trojbokými lodyhami, které jsou duté (Šikula & Větvicka 2021). Listy má čárkovité, kýlnaté, které často převyšují samotnou lodyhu (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jsou 1 cm široké a po obvodu drsné. Květenství u *Scirpus*

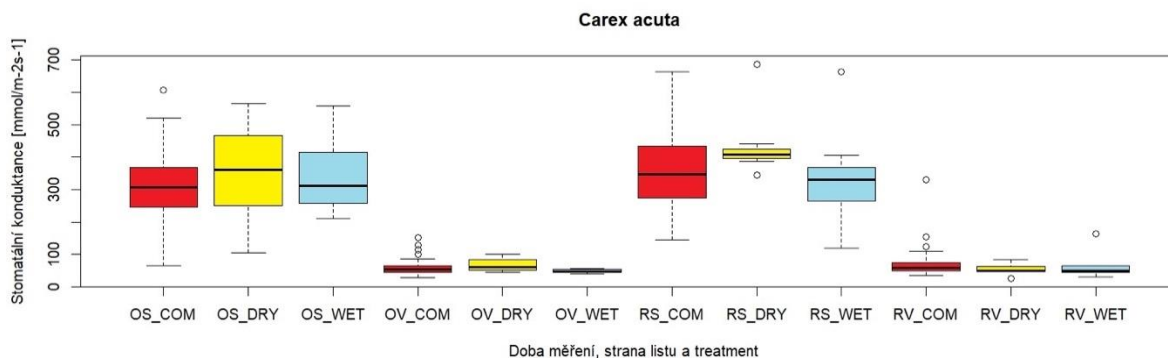
sylvaticus představuje kružel, který je nápadně velký a ukončuje lodyhy. Celé květenství může být až 30 cm velké a skládá se z oboupohlavních květů. Ty mají šest okvětních štětin a 3 tyčinky (Šikula & Větvička 2021). Květy jsou zelené a mají redukované květní obaly (Chytrý et al. 2021). Rostlina kvete v období měsíce května až července (Šikula & Větvička 2021). Je to častý druh bahničných luk, vyskytuje se také na prameništích a ve slatinách (Deyl et. al. 2001).

Scrophularia nodosa (krtičník hlíznatý)

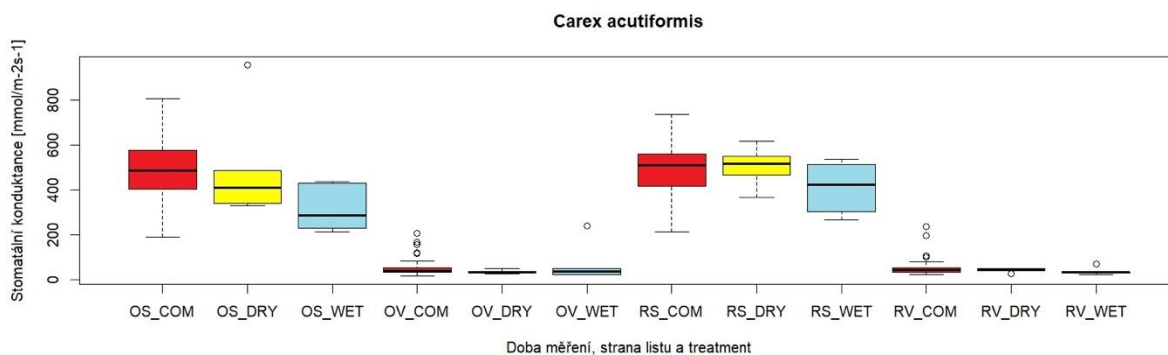
- *Scrophularia nodosa* je vytrvalá bylina z čeledi krtičníkovité (*Scrophulariaceae*). Výška rostliny se pohybuje v rozmezí od 30 cm do 1 m. Je typická svým nepříjemným zápachem, který se projeví po rozemnutí některé z jejích částí (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Lodyha je u tohoto druhu čtyřhranná, což je znak připomínající čeleď hluchavkovité (*Lamiaceae*), nekřídlatá. Listy má vstřícné, křížmostojné. Jsou nedělené, bez chlupů, dvojité pilovité, vejčité podlouhlé, ale i srdčité. *Scrophularia nodosa* má květenství v podobě koncové laty (Aichele 1996). Zelenavé pyskaté květy mají horní korunní pysk uvnitř tmavě hnědočervený. Rostlina kvete v období měsíce června až srpna (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Jedná se o častý druh lesů a křovin (Červenka et. al. 1984), také pobřežních houštín (Deyl et. al. 2001) a břehů vod (Skoumalová-Hadačová & Hrouda 2018). Vyhledává spíše kypré, výživné hlinité půdy, které jsou provlhněny spodní vodou (Aichele 1996).

4 Výsledky

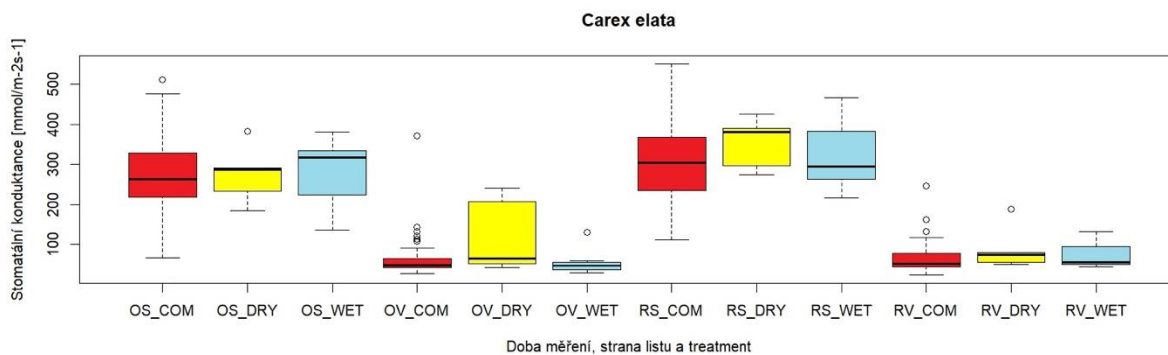
Jak již bylo zmíněno výše, hodnoty průduchové vodivosti byly porometrem změřeny u druhů, které to svým stavem a morfologickými vlastnostmi umožnily. Tyto hodnoty pro jednotlivé druhy rostlin jsou vyjádřeny v následujících boxplotech (krabicových grafech):



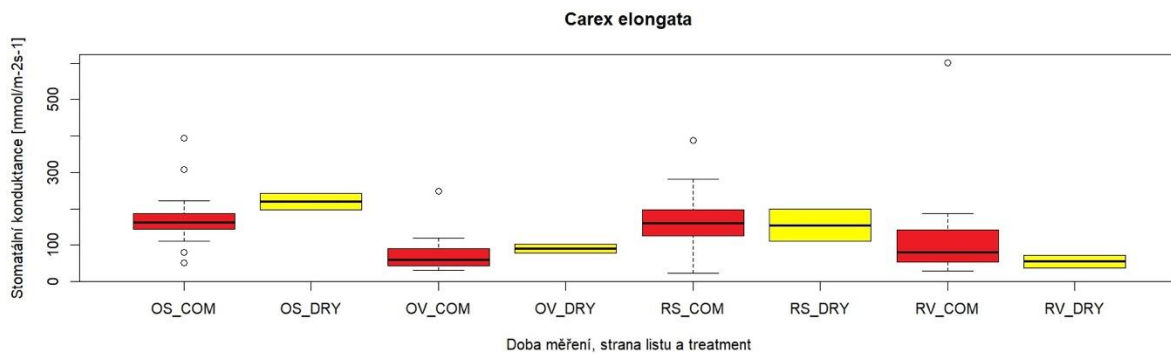
Obrázek 4 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex acuta*



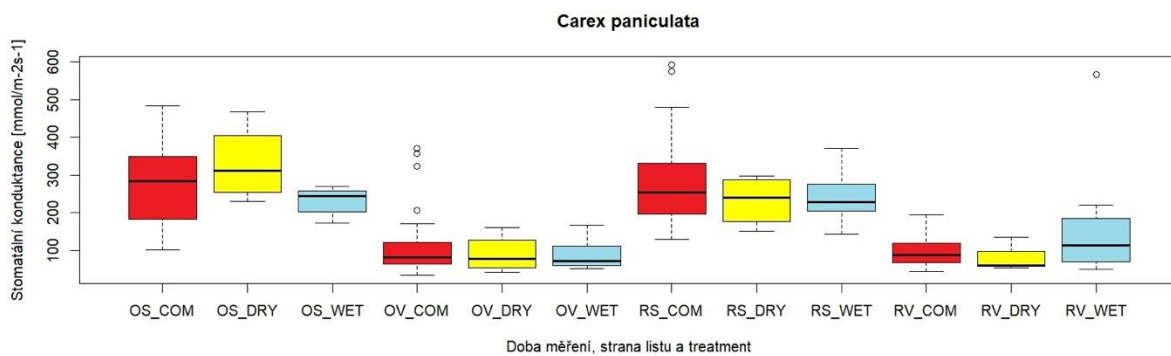
Obrázek 5 – Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex acutiformis*



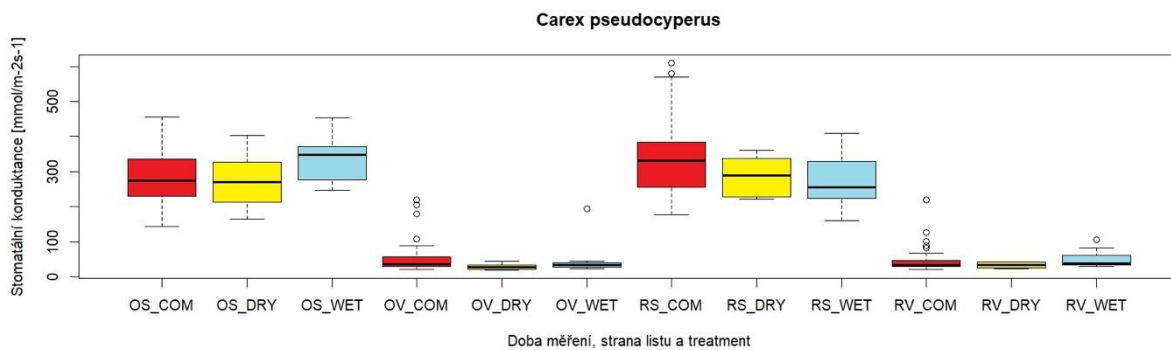
Obrázek 6 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex elata*



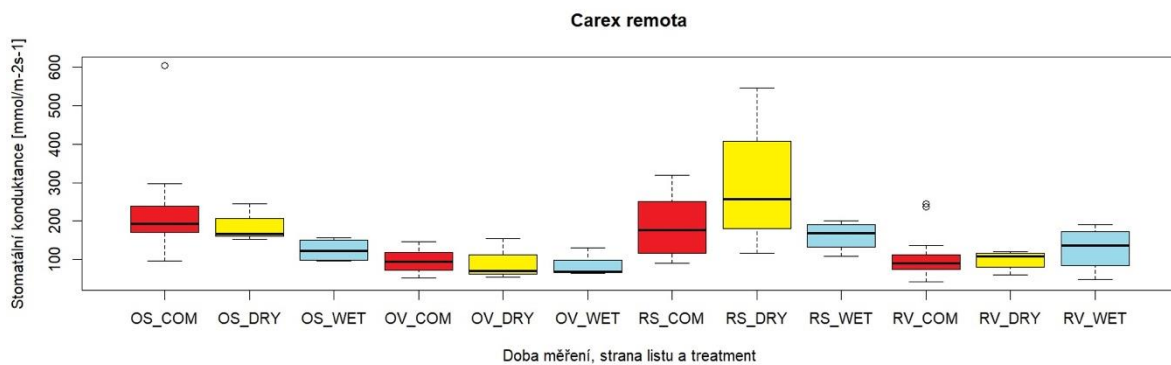
Obrázek 7 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex elongata*



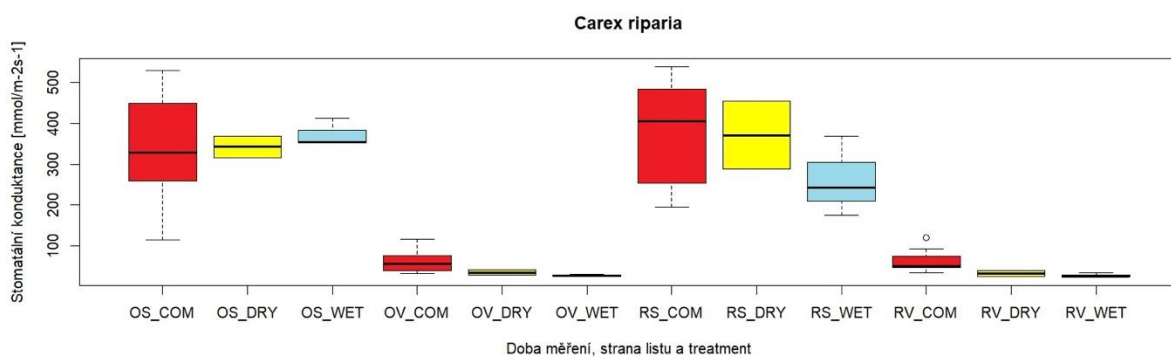
Obrázek 8 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex paniculata*



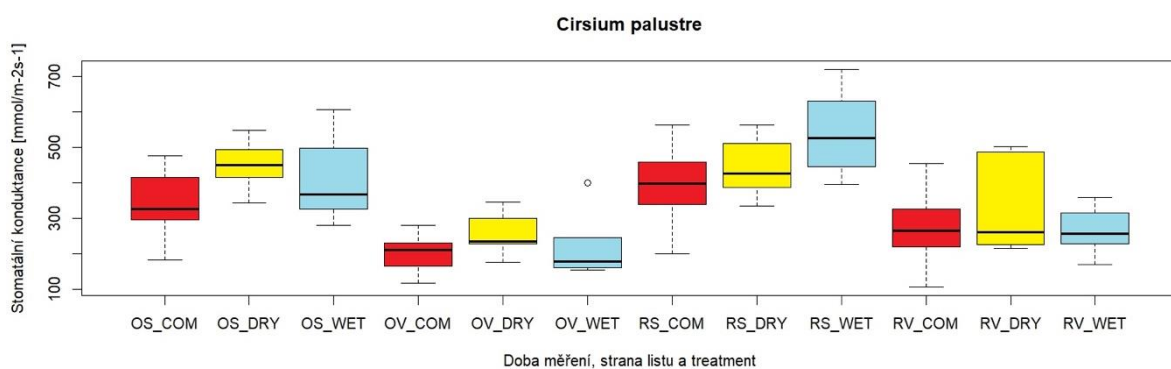
Obrázek 9 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex pseudocyperus*



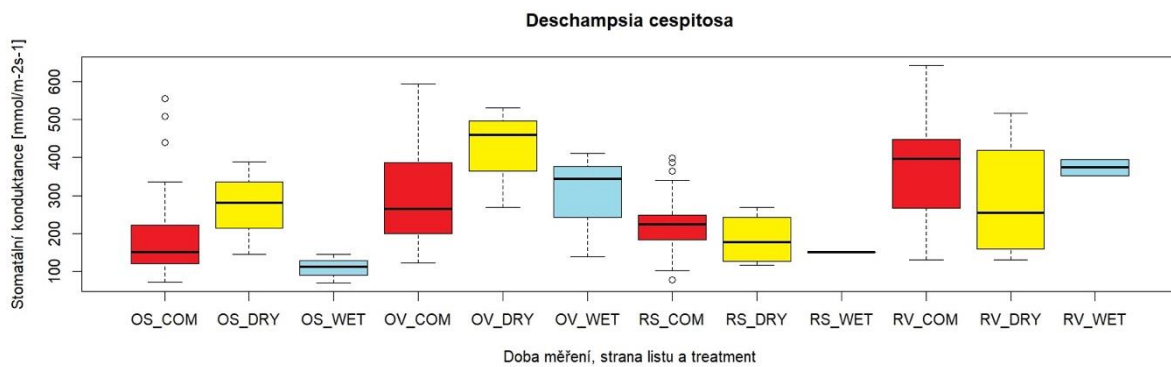
Obrázek 10 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex remota*



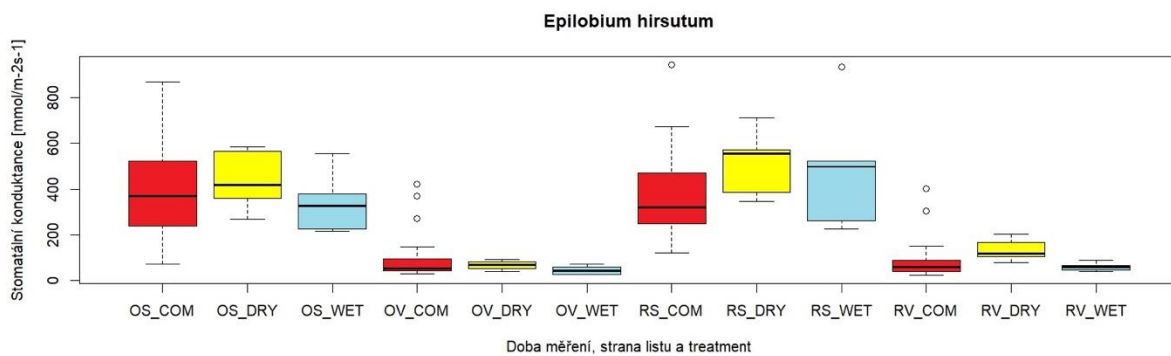
Obrázek 11 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Carex riparia*



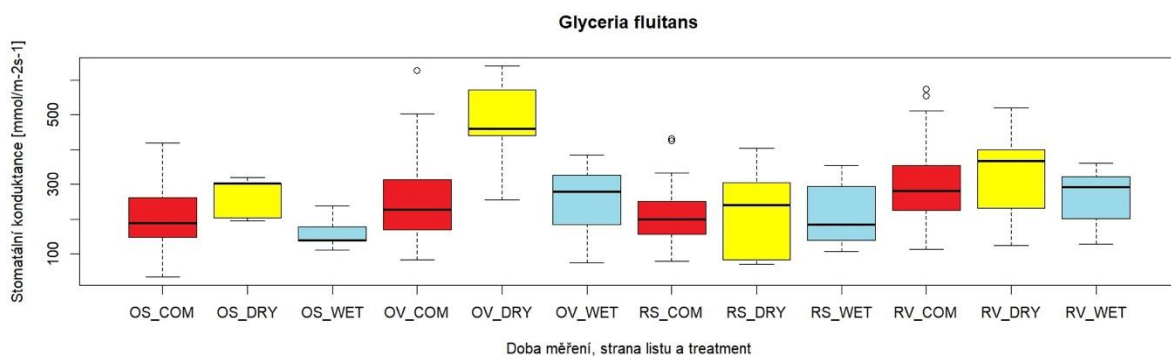
Obrázek 12 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Cirsium palustre*



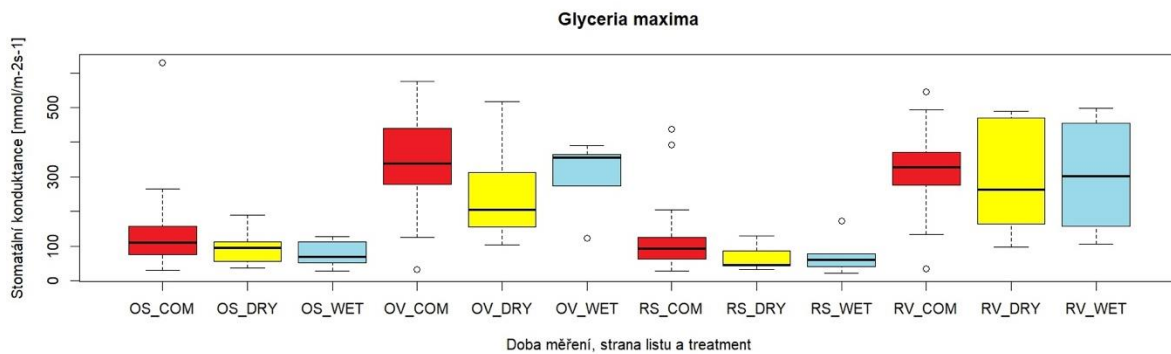
Obrázek 13 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Deschampsia cespitosa*



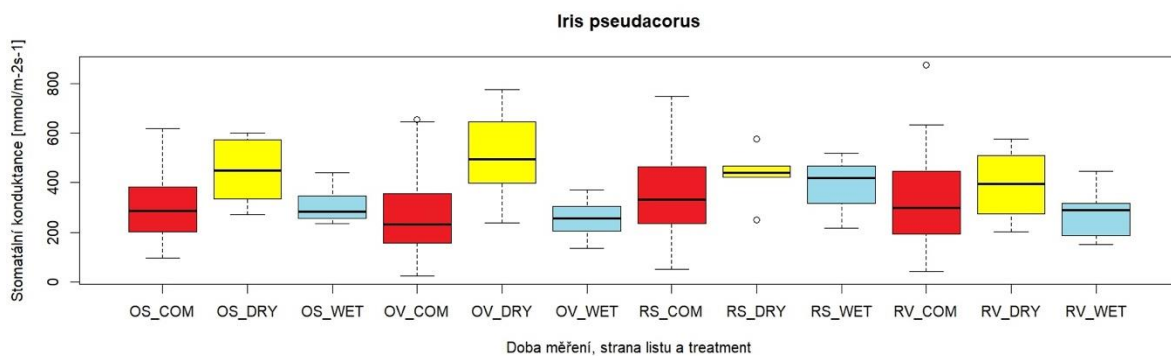
Obrázek 14 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Epilobium hirsutum*



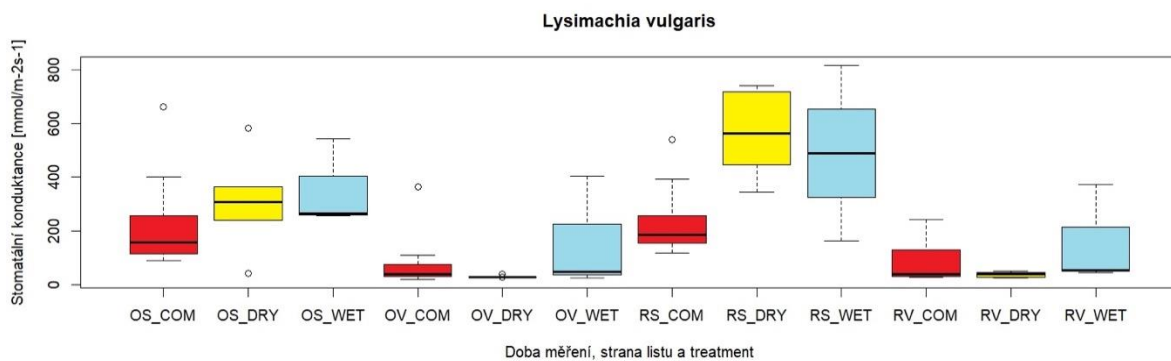
Obrázek 15 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Glyceria fluitans*



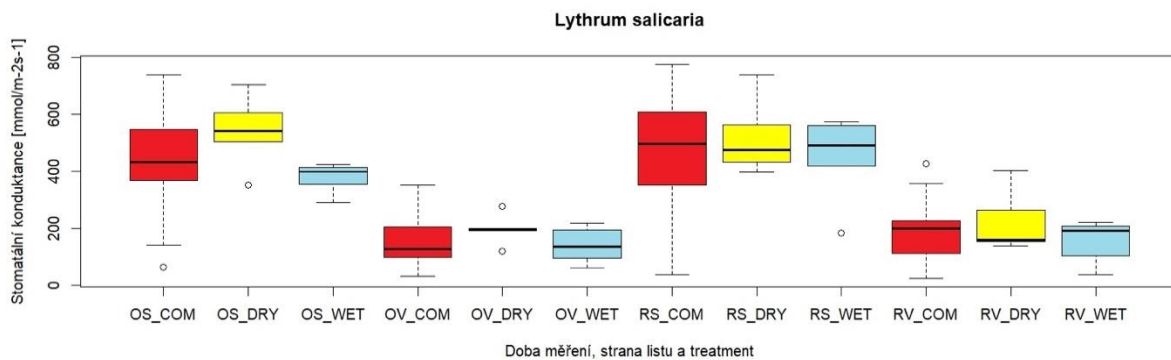
Obrázek 16 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Glyceria maxima*



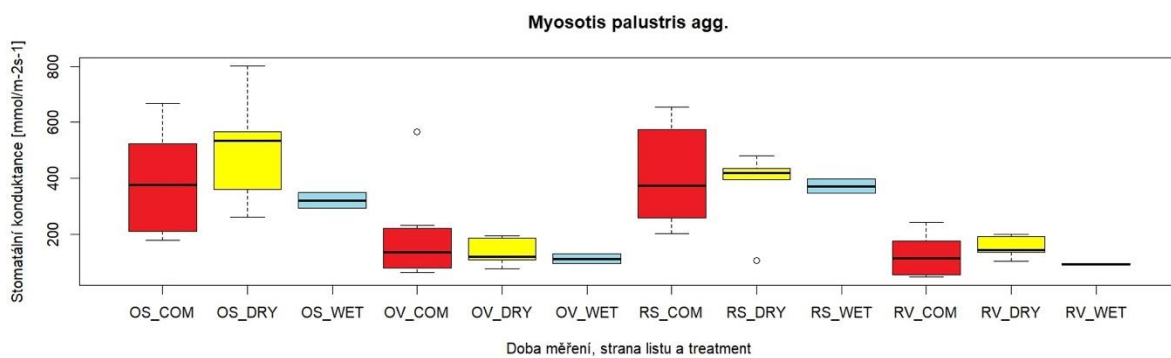
Obrázek 17 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Iris pseudacorus*



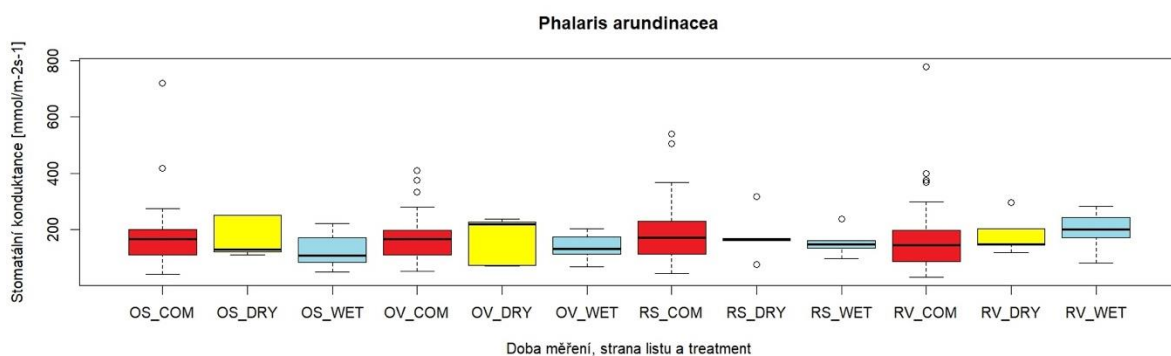
Obrázek 18 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Lysimachia vulgaris*



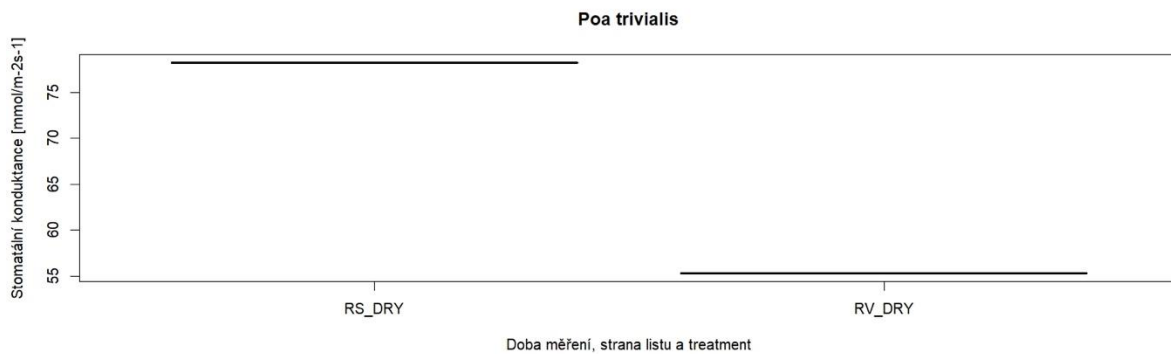
Obrázek 19 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Lythrum salicaria*



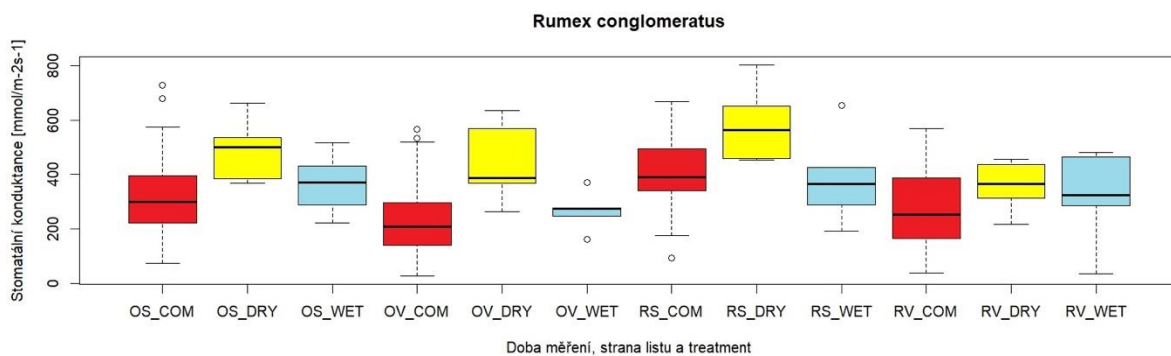
Obrázek 20 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Myosotis palustris agg.*



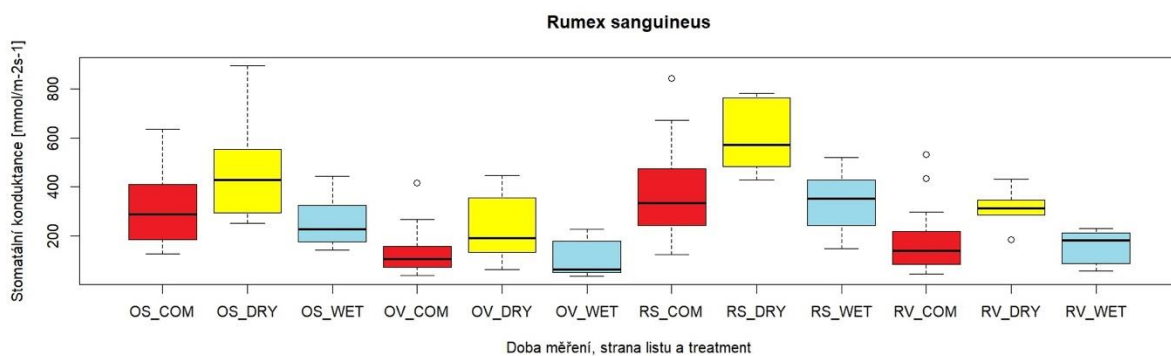
Obrázek 21 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Phalaris arundinacea*



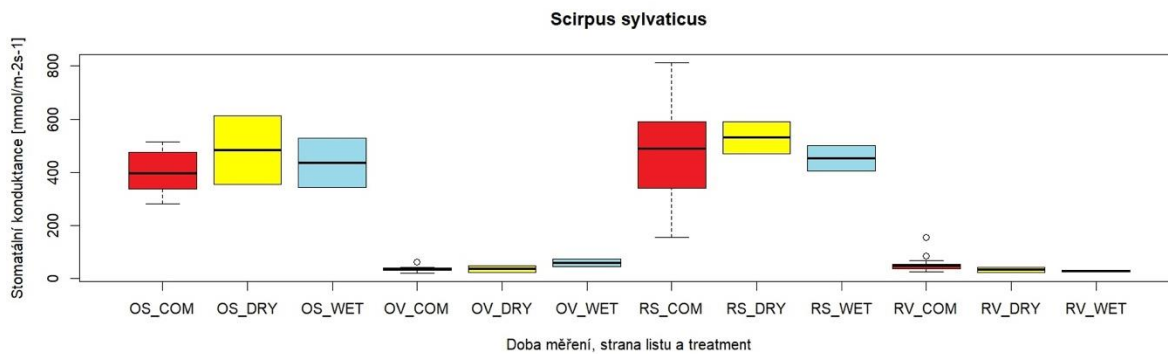
Obrázek 22 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Poa trivialis*



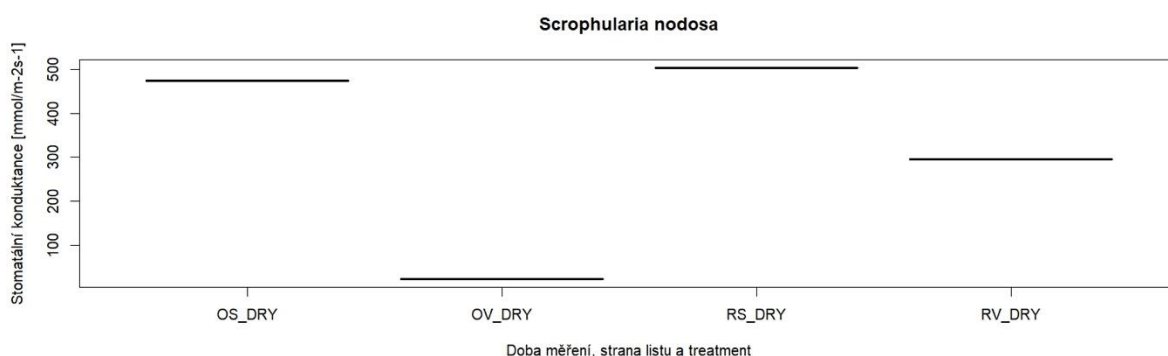
Obrázek 23 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Rumex conglomeratus*



Obrázek 24 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Rumex sanguineus*



Obrázek 25 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Scirpus sylvaticus*



Obrázek 26 - Naměřené hodnoty průduchové vodivosti u *Scrophularia nodosa*

Na ose x každého boxplotu jsou zobrazeny tři hlavní faktory: doba měření (dopoledne/odpoledne), strana listu (spodní/horní) a typ treatmentu (kompetiční, suchý a mokrý režim). Osa y zobrazuje hodnoty stomatální konduktance v $\text{mmol/m}^2\text{s}$. Každý z těchto grafů obsahuje 12 boxů, které odpovídají kombinacím těchto faktorů. Zkratky OS, OV, RS a RV znamenají kombinaci denní doby a strany listu (OS – odpoledne spodní, OV – odpoledne vrchní, RS – dopoledne (ráno) spodní, RV – dopoledne vrchní). Následuje zkratka pro daný režim (COM – kompetiční režim, DRY – suchý režim, WET – mokrý režim). Režimu také odpovídá barva boxu – červená pro kompetiční, žlutá pro suchý a modrá pro mokrý režim.

Z analýzy těchto grafů vyplývá několik klíčových zjištění. Prvním je, že nejvyšší hodnoty průduchové vodivosti byly v průměru naměřeny v suchém režimu, následované kompetičním režimem a nejnižší hodnoty byly v mokrém režimu. Druhem rostliny, který v suchém režimu dosáhl nejvyšší průměrné průduchové vodivosti byl *Rumex conglomeratus*. Naopak, nejnižší průměrnou hodnotu průduchové vodivosti v tomto treatmentu vykázal druh *Poa trivialis*, i když je třeba

poznamenat, že byla změřena pouze jedna rostlina tohoto druhu. Tím druhem, který byl změřen vícekrát a byla u něj zaznamenána nejnižší průměrná hodnota průduchové vodivosti v suchém režimu, byl *Carex elongata*. V kompetičním režimu byla nejvyšší průměrná hodnota průduchové vodivosti naměřena u druhu *Lythrum salicaria*, zatímco nejnižší průměrnou hodnotu měl opět druh *Carex elongata*. V mokřém režimu se ukázalo, že druh *Cirsium palustre* vykazoval nejvyšší průměrnou hodnotu průduchové vodivosti, zatímco druh *Carex remota* měl průměrnou hodnotu nejnižší.

Druhým zjištěním je, že většina druhů rostlin vykazovala vysokou průduchovou vodivost na spodní straně listů, zatímco hodnoty na horní straně listů byly výrazně nižší. Konkrétně se jedná o druhy *Carex acuta*, *Carex acutiformis*, *Carex elata*, *Carex paniculata*, *Carex pseudocyperus*, *Carex riparia*, *Epilobium hirsutum*, *Lysimachia vulgaris* a *Scirpus sylvaticus*. *Carex elongata* a *Carex remota* také vykazovaly vyšší hodnoty na spodní straně listů, ale rozdíl mezi horní a spodní stranou nebyl tak markantní. Nicméně, u druhů z čeledi *Poaceae* (*Deschampsia cespitosa*, *Glyceria fluitans*, *Glyceria maxima* a *Phalaris arundinacea*) byla situace odlišná, kdy byla naměřena vyšší průduchová vodivost na horní straně listů. Ostatní druhy – *Cirsium palustre*, *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Myosotis palustris* agg., *Rumex conglomeratus* a *Rumex sanguineus*, vykazovaly vyšší průměrné hodnoty průduchové vodivosti na spodní straně listů, ale s téměř stejnými hodnotami také na horní straně listů. Co se týče části dne, ve které se měřilo, dle výsledků nebyl prokázán výrazný vliv na hodnoty průduchové vodivosti.

Jak je již zmíněno výše, u druhů *Poa trivialis* a *Scrophularia nodosa* (viz. Obrázek 22 a 26) byla kvůli vzrůstu a stavu rostlin naměřena průduchová vodivost pouze u jednoho jedince v suchém režimu. Také u druhu *Carex elongata* (viz Obrázek 7) nebyla naměřena průduchová vodivost v mokřém režimu.

Co se týče extrémních hodnot, nejvyšší a zároveň nejnižší hodnota ze všech naměřených byla zaznamenána u druhu *Carex acutiformis* (viz. Obrázek 2). Nejvyšší hodnota byla naměřena u rostliny rostoucí v suchém režimu, a to odpoledne na spodní straně listu, dosahující 954,9 mmol/m²s. Naopak nejnižší hodnota, 16 mmol/m²s, byla naměřena u rostliny v kompetičním režimu (společně s *Rumex conglomeratus*) odpoledne na horní straně listu.

5 Diskuze

5.1 Kompetiční režim

Při experimentu v této práci bylo zjištěno, že rostliny pěstované v kompetičním režimu vykazovaly průměrně druhou nejvyšší hodnotu průduchové vodivosti, hned po režimu suchém. Je ale na místě uvést, že ne všechny rostliny v kompetičním režimu sdílely růstovou trubku s jinou rostlinou, protože mnoho jedinců rostlin během experimentu uhynulo. Je otázkou, zda byl tento úhyn způsoben neschopností těchto rostlin soupeřit o prostor a jiné klíčové faktory pro růst, nebo zda šlo čistě o úhyn způsobený původním přesazením sazenic z předpěstebních nádob. Také výzkum provedený Vysotskayou et. al. 2011 odhalil zajímavé souvislosti spojené s průduchovou vodivostí rostlin. Zjistili, že rostliny pěstované v samostatných květináčích vykazují větší průduchovou vodivost než ty, které sdílely květináče s jinými jedinci.

Podle Buckleyho 2017 může snížená průduchová vodivost v konkurenčních podmínkách také souviset s nedostatkem vody, kterou by rostliny mohly přijímat. Avšak, v průběhu tohoto experimentu zůstávala hladina vody v nádržích, kde rostliny v kompetičním režimu žily, konstantně poměrně vysoká (podobně jako v nádržích pro mokrý režim). Proto je možné, že vyšší hodnoty průduchové vodivosti jsou důsledkem této "výhody" pro rostliny - nemusely totiž v takovém množství hospodařit s vodou ve svých tělech, což způsobilo zvýšenou transpiraci.

5.2 Suchý režim

Dle Lehmann & Or 2015 je rozmístění průduchů a mezery mezi nimi klíčovým faktorem ovlivňujícím průduchovou vodivost rostlin. Tato studie zkoumala hypotézu, že při větším shlukování průduchů může dojít ke snížení průduchové vodivosti až o 60 %, kdy shlukování průduchů je jev často spojovaný se stresem z nedostatku vody, kterou by rostliny mohly v prostředí využívat. Nicméně, data získaná v rámci této práce tuto hypotézu vyvracejí. Rostliny pěstované v suchém prostředí vykazovaly v průměru vyšší hodnoty průduchové vodivosti než ty, které rostly v jiných (mokřejších) režimech. Je třeba vzít v úvahu, že existuje rozdíl mezi druhy rostlin, některé jsou více přizpůsobivé suchému prostředí a mají tedy určitou výhodu, jak uvádí Touchette et. al. 2007.

Studie provedená Liu et. al. 2012 navíc naznačuje, že rostliny mohou krátkodobě reagovat na stres suchem pomocí mechanismů, jako je právě snížení průduchové vodivosti. Zdá se tedy, že rostliny v suchých podmínkách nebyly stresem z nedostatku vody zasaženy, naopak vykazovaly vyšší transpiraci než rostliny v prostředí s vyšší hladinou vody. To naznačuje, že přebytek vody nemusí být pro rostliny vždy příznivý. Tato zjištění otevírají dveře pro další zkoumání interakcí mezi rostlinami a jejich prostředím v kontextu sucha a vodního režimu.

5.3 Mokrý režim

Pokud se zaměříme na rostliny, které byly pěstovány v mokřém režimu, kde byla hladina vody v nádrži, ve které rostly, trvale vyšší, byla u nich naměřena průměrně nejnižší hodnota průduchové vodivosti. Je však důležité poznamenat, že stejně jako v případě kompetičního režimu, kde byla udržována stejně vysoká hladina vody v nádrži, uhynulo v tomto režimu více rostlin než v suchém režimu. Tím pádem bylo v mokřém režimu změřeno méně jedinců než v suchém režimu.

Liu et al. 2018 provedli studii, ve které zjistili, že hodnota průduchové vodivosti může být vyšší u rostlin pěstovaných v sušších podmínkách. Tento jev je připisován skutečnosti, že rostliny pěstované v suchu se snaží dosáhnout vyšší a rychlejší výměny plynů přes průduchy, dokud jim je poskytováno i to nejmenší množství vody. Tento fakt by mohl naznačovat, že naopak rostliny, které byly během experimentu v mokřém prostředí, nemusí transpirovat tak intenzivně, což by mohlo vysvětlit nižší naměřené hodnoty průduchové vodivosti ve srovnání s rostlinami v suchém experimentu. Tato teorie znovu vyvrací již výše zmíněnou hypotézu Lehmann & Or 2015, kde se pracuje s myšlenkou, že v suchém prostředí rostliny vykazují nižší průduchovou vodivost.

5.4 Spodní a horní strana listu

Ve své publikaci Vinter 2008 rozlišuje typy listů na základě distribuce průduchů na jejich povrchu. Nejběžnějším typem listu je tzv. hypostomatický list, kde je většina průduchů umístěna na spodní straně daného listu. Dalším, pro tuto práci zajímavým typem je list tzv. amfistomatický, kde jsou průduchy rozloženy téměř rovnoměrně na obou stranách listu. Tento typ listu je pozorován například u rodu *Iris* či čeledi *Poaceae*. Také Zarinkamar 2006 pracuje s myšlenkou, že čeledi jako lipnicovité mají stejnou nebo vyšší hustotu průduchů na horní straně listu než na spodní. Tento fakt je

podpořen naměřenými výsledky, kde druhy z čeledi *Poaceae* skutečně vykazovaly vyšší průduchovou vodivost na horní straně listu. Nunes et al. 2020 dále popisují tyto průduchy jako tzv. graminoidní typ, který je charakteristický právě pro čeleď *Poaceae*. Tento typ průduchů má větší otvory, což umožňuje rychlejší reakci na změny prostředí.

Naopak u ostatních rostlin, které byly v experimentu pěstovány, byla zjištěna vyšší hodnota průduchové vodivosti na spodní straně listu, což naznačuje, že se u nich vyskytuje hypostomatický typ listu. Tento rozdíl v distribuci průduchů může ovlivnit schopnost rostlin přizpůsobit se různým podmínkám prostředí a jejich schopnost reagovat na změny ve vlhkosti a dostupnosti vody.

5.5 Denní doba měření

Ve své studii, Verhoef 1997 upozorňuje na významné faktory ovlivňující měření průduchové vodivosti, jako je počasí během konkrétního dne a také denní doba. Je zřejmé, že teploty a intenzita slunečního záření se během dne několikrát mění. Z dat získaných pro tuto studii je patrné, že naměřené hodnoty průduchové vodivosti se od sebe nelišily nijak zásadně. I když tato studie přímo nepracuje s hodnotami teploty listu nebo okolní teploty, byla při měření průduchové vodivosti zaznamenána i teplota měřeného listu.

Pokud jde o vztah mezi hodnotami průduchové vodivosti a teplotou listu, získaná data naznačují, že s rostoucí teplotou listu (a tedy i teplotou vzduchu a intenzitou slunečního záření) stoupá hodnota průduchové vodivosti. Vzhledem k tomu, že během trvání experimentu bylo obvykle poměrně teplo a časové intervaly mezi jednotlivými měřeními nebyly příliš dlouhé, nebyly rozdíly mezi hodnotami průduchové vodivosti naměřenými v poledních a odpoledních hodinách příliš výrazné.

6 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, jestli se mokřadní rostliny liší svojí schopností využívat vodu v heterogenním prostředí. K tomu byl využit experiment, kdy se 24 druhů mokřadních či vlhkomilných rostlin zasadilo do nádrží, kde každá nádrž představovala jiné podmínky. Rostliny rostly v kompetičním režimu, s vyšší hladinou vody, kterou mohly využívat. Tyto rostliny rostly v květináčích po dvou. Dalším režimem byl režim suchý, kde rostliny rostly pouze po jedné a hladina vody byla výrazně nižší, než u režimu kompetičního. Posledním režimem byl režim mokrý. V tomto případě rostliny rostly také samy a hladina vody byla zase vyšší, stejně jako u kompetičního režimu.

K ověření, jak rostliny nakládají s vodou, se využila metoda měření průduchové vodivosti (stomatální konduktance). Ta se měřila pomocí porometru, který se přiložil na list a změřil danou hodnotu. Měřilo se na obou stranách listu, pro porovnání spodní strany a horní strany listu a také ve dvě různé denní doby, nejprve dopoledne od 11-12 hod., poté od 15-16 hod. odpoledne.

Tímto experimentem bylo zjištěno, že rostliny v různých experimentálních režimech opravdu vodu využívaly různě. Nejvíce transpirovaly rostliny rostoucí v suchém režimu, druhá největší průměrná hodnota byla naměřena u rostlin v kompetičním režimu a nejméně otevřené průduchy měly rostliny pěstované v mokřadním režimu. Také bylo dokázáno, že jednotlivé rostliny se také liší tím, na které straně listu mají více průduchů a zároveň je mají více otevřené, tím pádem více transpirují a hodnota průduchové vodivosti byla větší. U travin z čeledi *Poaceae* to byla horní strana listu, u ostatních rostlin strana spodní.

7 Zdroje

Aichele, D., 1996: Co tu kvete?: Kvetoucí rostliny střední Evropy ve volné přírodě. Ikar, Praha. ISBN 80-85944-97-9.

AOPK ČR, 2024: Mokřady České republiky (online) [cit. 2024.03.10], dostupné z <<https://mokrady.ochranaprirody.cz/>>.

Buckley, T. N., 2017: Modeling Stomatal Conductance. *Plant Physiology*, Volume 174, Issue 2, p. 572–582.

Cicero, F. D., et. al., 2019: *Carex paniculata* constructed wetland efficacy for stormwater, sewage and livestock wastewater treatment in rural settlements of mountain areas. *Water Science and Technology*, Volume 79, Issue 7, p. 1338-1347.

Damour, G., et. al., 2010: An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, Cell & Environment*, Volume 33, Issue 9, p. 1419-1438.

Deyl, M., et. al., 2001: Naše květiny. Academia, Praha. ISBN 80-200-0940-x.

Dítě, D., 2011: CAREX RIPARIA Curtis – ostrice pobřežní / ostrica pobřežná (online) [cit. 2024.03.10], dostupné z <<https://botany.cz/cs/carex-riparia/>>.

Edelkraut, K., et. al., 2000: Competition of wetland plants as affected by shade and nutrient supply. *Geobotanisches Institut ETH*, Volume 66, p. 61-69.

Ehleringer, J., 1984: Intraspecific competitive effects on water relations, growth and reproduction in *Encelia farinosa*. *Oecologia*, Volume 63, Issue 2, p. 153-158.

Farooq, M., et. al., 2012: Drought Stress in Plants: An Overview. *Plant Responses to Drought Stress*, p. 1–33.

Grau, J., 1998: Trávy: lipnicovité, šachorovité, sítinovité a rostliny podobné travám Evropy. Knižní klub, Praha. ISBN 80-7202-260-1.

Honnisová, M., et. al., 2015: Seasonal dynamics of biomass partitioning in a tall sedge, *Carex acuta* L. *Aquatic Botany*, Volume 125, p. 64-71.

Kadlec, R. H., Wallace, S. D., 2009: Treatment wetlands. Taylor & Francis Group, Boca Raton. ISBN 978-1-56670-526-4.

Kaplan, Z., et. al., 2019: Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha. ISBN 9788020026606.

Krejča, J., Červenka, M., 1984: Z naší přírody: rostliny, horniny, minerály, skameneliny. Příroda, Bratislava. ISBN 64-058-84.

Lehmann, P., Or, D., 2015: Effects of stomata clustering on leaf gas Exchange. *New Phytologist*, Volume 207, Issue 4, p. 1015-1025.

Liu, C., et. al., 2018: Variation of stomatal traits from cold temperate to tropical forests and association with water use efficiency. *Functional Ecology*, Volume 32, Issue 1, p. 20-28.

Liu, J., et. al., 2012: Phytochrome B control of total leaf area and stomatal density affects drought tolerance in rice. *Plant Molecular Biology*, Volume 78, Issue 3, p. 289-300.

Mackenzie, K., 1910: Notes on Carex-VI. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, Volume 37, Issues 5, p. 231.

Moor, H., et. al., 2017: Towards a trait-based ecology of wetlands vegetation. *Journal of Ecology*, Volume 105, Issue 6, p. 1623-1635.

Morris, J., 2006: Competition among marsh macrophytes by means of geomorphological displacement in the intertidal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 69, Issues 3-4, p. 395-402.

Mrázek, T., 2011: CAREX REMOTA L. – ostřice řídkoklasá / ostrica oddialená (online) [cit. 2024.03.10], dostupné z <<https://botany.cz/cs/carex-remota/>>.

Nunes, T., et. al., 2020: Form, development and function of grass stomata. *The Plant Journal*, Volume 101, Issue 4, p. 780-799.

Paradis, É., et. al., 2014: Interspecific Competition for Space Between Wetland Plants with Clonal Growth. *Wetlands*, Volume 34, Issue 5, p. 1003-1012.

Parkhurst, D., 1978: The Adaptive Significance of Stomatal Occurrence on One or Both Surfaces of Leaves. *The Journal of Ecology*, Volume 66, Issue 2, p. 367.

Prančl, J., 2011: RUMEX CONGLOMERATUS Murray – šťovík klubkatý / štiavec klubkatý (online) [cit. 2024.03.10], dostupné z <<https://botany.cz/cs/rumex-conglomeratus/>>.

Rak, L., 2007: LYSIMACHIA VULGARIS L. – vrbina obecná / čerkáč obyčejný (online) [cit. 2024.03.10], dostupné z <<https://botany.cz/cs/lysimachia-vulgaris/>>.

Sandi, S., et. al., 2020: Resilience to drought of dryland wetlands threatened by climate change. *Scientific Reports*, Volume 10, Issue 1, Article n. 13232.

Seleiman, M., et. al., 2021: Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*, Volume 10, Issue 2, Article n. 259.

Skoumalová-Hadačová, A., Hrouda L., 2018: Rostliny naší přírody: štětcem Anny Skoumalové, perem Lubomíra Hroudy. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-2867-9.

Smith, M., Moss, J., 1998: An experimental investigation, using stomatal conductance and fluorescence, of the flood sensitivity of *Boltonia decurrens* and its competitors. *Journal of Applied Ecology*, Volume 35, Issue 4, p. 553-561.

Stirling, E., et. al., 2020: Drought effects on wet soils in inland wetlands and peatlands. *Earth-Science Reviews*, Volume 210, Article n. 103387.

Šíkula, J., Větvička V., 2021: Trávy: traviny a trávniky v ilustracích Vojtěcha Štolfy a Zdeňky Krejčové. Aventinum, Praha. ISBN 978-80-7442-132-7.

Turner, N., 1991: Measurement and influence of environmental and plant factors on stomatal conductance in the field. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 54, Issues 2-4, p. 137-154.

Urban, J., et. al., 2017: Stomatal conductance increases with rising temperature. *Plant Signaling & Behavior*, Volume 12, Issue 8, Article n. e1356534.

Uria-Diez, J., et. al., 2014: Drivers of a riparian forest specialist (*Carex remota*, *Cyperaceae*): It is not only a matter of soil moisture. *American Journal of Botany*, Volume 101, Issue 8, p. 1286-1292.

Verhoef, A., 1997: The effect of temperature differences between porometer head and leaf surface on stomatal conductance measurements. *Plant, Cell and Environment*, Volume 20, p. 641-646.

Vinter, V., 2008: *Rostliny pod mikroskopem: základy anatomie cévnatých rostlin*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. ISBN 978-80-244-1972-5.

Vysotskaya, L., et. al., 2011: The effect of competition from neighbours on stomatal conductance in lettuce and tomato plants. *Plant, Cell & Environment*, Volume 34, Issue 5, p. 729-737.

Wong, S., et. al., 1979: Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. *Nature* 282, p. 424–426.

Zarinkamar, F., 2006: Density, Size and Distribution of Stomata in Different Monocotyledons. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Volume 9, Issue 9, p. 1650-1659.

8 Přílohy



Příloha 1 - *Poa trivialis* a *Cirsium palustre* v mokrém režimu (autor – Přemysl Král 2023)



Příloha 2 - *Poa trivialis* v mokrém režimu (autor – Přemysl Král 2023)



Příloha 3 - Rostliny v suchém režimu (autor – Přemysl Král 2023)



Příloha 4 - Rostliny v kompetičním režimu (autor – Přemysl Král 2023)