



Bakalářská práce

Botanický průzkum umělého mokřadu

Studijní program:

B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání

Studijní obory:

Přírodopis se zaměřením na vzdělávání
Zeměpis se zaměřením na vzdělávání

Autor práce:

Adéla Buryánková

Vedoucí práce:

RNDr. Martina Štrojsová, Ph.D.
Katedra biologie a ekologie

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Botanický průzkum umělého mokřadu

<i>Jméno a příjmení:</i>	Adéla Buryánková
<i>Osobní číslo:</i>	P21000478
<i>Studijní program:</i>	B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání
<i>Specializace:</i>	Přírodopis se zaměřením na vzdělávání Zeměpis se zaměřením na vzdělávání
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra biologie a ekologie
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat rešerši na téma kořenových čistíren odpadních vod.
2. V teoretické části se dále zaměřit na látku hexachlorcyklohexan (HCH); její výrobu, použití, toxicitu a degradaci. Dále popsat princip systému Wetland+ zkonstruovaného za účelem čištění vody kontaminované HCH.
3. V praktické části provést botanický průzkum umělého mokřadu na lokalitě Hájek, který je součástí technologie Wetland+.
4. Vyhodnotit změny v rostlinném osídlení mokřadu v prvních dvou letech jeho existence (data z prvního roku převzatá, z druhého roku vlastní).
5. Pokusit se navrhnout management umělého mokřadu (např. redukce expanzivních druhů).

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 40 až 60 normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

1. HOTA, Amrutashree, S GOPAL KRISHNA PATRO, Ahmed J. OBAID, Satish KHATAK a Raghvendra KUMAR. Constructed wetland challenges for the treatment of industrial wastewater in smart cities: A sensitive solution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023, 55. ISSN 22131388. Dostupné z: doi:10.1016/j.seta.2022.102967
2. KAPLAN, Zdeněk, Jiří DANIHELKA, Jindřich CHRTEK, et al. *Klíč ke květeně České republiky*. Druhé, aktualizované a zcela přepracované vydání. Praha: Academia, 2019. ISBN 978-80-200-2660-6.
3. PRZYBYLA, Jennifer, et al. Toxicological profile for hexachlorocyclohexane (HCH): draft for public comment. 2023. URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/124652>
4. RIZZO, A., C. SARTI, A. NARDINI, G. CONTE, F. MASI a A. PISTOCCHI. Nature-based solutions for nutrient pollution control in European agricultural regions: A literature review. *Ecological Engineering*. 2023, 186. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2022.106772
5. WU, Haiming, Ruigang WANG, Peihao YAN, et al. *Constructed wetlands for pollution control*. 2023, 4(4), 218-234. ISSN 2662-138X. Dostupné z: doi:10.1038/s43017-023-00395-z

Vedoucí práce: RNDr. Martina Štrojsová, Ph.D.
Katedra biologie a ekologie

Datum zadání práce: 6. května 2023
Předpokládaný termín odevzdání: 24. dubna 2024

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.
děkan

L.S.

RNDr. Alena Ševců, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 6. května 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce RNDr. Martině Štrojsové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za přátelský přístup, velkou ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi poskytla při psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za velkou podporu a pomoc během celého studia.

Anotace

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na téma kořenových čistíren odpadních vod. Vymezuje pojmy přirozený a umělý mokřad, zabývá se typy kořenových čistíren odpadních vod, druhy používané vegetace, látkami čištěnými v kořenových čistírnách, provozem a údržbou. Dále se zabývá látkou hexachlorcyklohexan v obecné rovině a technologií Wetland+.

V rámci praktické části byl proveden botanický průzkum umělého mokřadu na lokalitě v Hájku. Byly vyhodnoceny rozdíly v druhové diverzitě a pokryvnosti jednotlivých druhů v umělém mokřadu mezi lety 2022 a 2023 a rozdíly ve stavu vegetace na počátku léta a na podzim.

Klíčová slova:

kořenová čistírna odpadních vod, umělý mokřad, vegetace, druhová diverzita, pokryvnost, hexachlorcyklohexan, lindan, technologie Wetland+

Annotation

The theoretical part of the bachelor thesis focuses on the topic of root wastewater treatment plants. It defines the terms natural and artificial wetland, deals with the types of root treatment plants, the types of vegetation used, the substances treated in root treatment plants, operation and maintenance. It also discusses hexachlorocyclohexane in general terms and Wetland+ technology.

Within the practical part, a botanical survey of an artificial wetland in the Hájek area was carried out. Differences in species diversity and species cover in the artificial wetland between 2022 and 2023 and differences in vegetation condition in early summer and autumn were evaluated.

Key words:

root wastewater treatment plant, artificial wetland, vegetation, species diversity, cover, hexachlorocyclohexane, lindane, Wetland+ technology

Obsah

1	Úvod	14
2	Kořenové čistírny odpadních vod.....	15
2.1	Přirozený mokřad.....	15
2.1.1	Ramsarská úmluva.....	15
2.2	Umělý mokřad	17
2.2.1	Historie umělých mokřadů	18
2.2.2	Umělé mokřady s povrchovým průtokem	18
2.2.2.1	Mokřady s emerzní vegetací	18
2.2.2.2	Mokřady s plovoucí vegetací	19
2.2.2.3	Mokřady se submerzní vegetací	19
2.2.2.4	Mokřady s vegetací s plovoucími listy.....	19
2.2.3	Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem – kořenové čistírny odpadních vod	19
2.3	Odpadní vody a její typy.....	20
2.3.1	Komunální splaškové odpadní vody.....	20
2.3.2	Srážkové odpadní vody	20
2.3.3	Průmyslové odpadní vody	21
2.3.4	Balastní vody	21
2.4	Typy kořenových čistíren odpadních vod.....	21
2.4.1	Kořenové čistírny s horizontálním průtokem	21
2.4.2	Kořenové čistírny s vertikálním průtokem	22
2.4.3	Hybridní kořenové čistírny	23
2.5	Jednotlivé části a uspořádání kořenové čistírny.....	23
2.5.1	Mechanické předčištění	23
2.5.2	Filtrační lože	24
2.5.2.1	Distribuce a sběr odpadní vody	25
2.5.2.2	Filtrační materiál	25
2.5.2.3	Vegetace	25
2.6	Provoz a údržba kořenových čistíren	26
2.7	Druhy vegetace	27

2.7.1	Rákos obecný.....	27
2.7.2	Chrastice rákosovitá	28
2.7.3	Orobinec	28
2.7.4	Skřípina.....	29
2.7.5	Kosatec žlutý	29
2.8	Látky čištěné v kořenových čistírnách.....	29
2.8.1	Organické látky.....	29
2.8.2	Nerozpuštěné látky	30
2.8.3	Dusík.....	31
2.8.3.1	Amonifikace	31
2.8.3.2	Nitrifikace.....	31
2.8.3.3	Denitrifikace.....	32
2.8.4	Fosfor.....	32
2.8.5	Rizikové prvky	33
2.9	Výhody a nevýhody kořenových čistíren	33
3	Hexachlorcyklohexan (HCH).....	35
3.1	Základní charakteristika.....	35
3.2	Výroba	35
3.3	Použití	36
3.4	Toxicita	37
3.5	Degradace	37
4	Technologie Wetland+	39
5	Metodika botanického průzkumu	40
6	Výsledky.....	45
6.1	Pokryvnost v roce 2022	51
6.1.1	D1	54
6.1.2	D2	54
6.1.3	D3	56
6.1.4	D4	57
6.2	Pokryvnost v roce 2023	59
6.2.1	D1	61
6.2.2	D2	61

6.2.3	D3	63
6.2.4	D4	64
6.3	Porovnání let 2022 a 2023	65
6.3.1	D1	65
6.3.2	D2	66
6.3.3	D3	67
6.3.4	D4	68
6.3.5	Zhodnocení nejdominantnějších druhů v celém modulu D za sledované roky 2022 a 2023	70
6.4	Porovnání sezónních rozdílů ve stavu vegetace:	71
7	Navržení managementu umělého mokřadu	73
8	Diskuze	74
9	Závěr	79
10	Seznam použitých zdrojů.....	80

Seznam obrázků

Obrázek 1: Lokalita mokřadu v Hájku (Mapy.cz, 2024).....	40
Obrázek 2: Systém Wetland+ v Hájku, převzato z Amirbekov et al., 2023.....	41
Obrázek 3: Vymezený transekt červenou páskou v části D1	42
Obrázek 4: Orobinec úzkolistý	43
Obrázek 5: Orobinec širokolistý.....	43
Obrázek 6: Parožnatka.....	48
Obrázek 7: Sítina článkovaná	50
Obrázek 8: Zblochan vzplývavý.....	51
Obrázek 9: Zevar vzpřímený	51
Obrázek 10: Skřípina lesní	52
Obrázek 11: Žabník jitrocelový	52
Obrázek 12: Halucha vodní	52
Obrázek 13: Puškvorec obecný	53
Obrázek 14: Psárka plavá	53
Obrázek 15: Kosatec žlutý.....	54
Obrázek 16: Dvouzubec černoplodý	55
Obrázek 17: Šmel okoličnatý	55
Obrázek 18: Sítina rozkladitá	55
Obrázek 19: Pryskyřník velký	57
Obrázek 20: Prustka obecná	57
Obrázek 21: Vod'anka žabí.....	57
Obrázek 22: Vachta trojlistá.....	60
Obrázek 23: Ostřice štíhlá	61
Obrázek 24: Ostřice měchýřkatá	61
Obrázek 25: Zábělník bahenní.....	62
Obrázek 26: Kyprej vrbice	62
Obrázek 27: Bublinatka.....	63
Obrázek 28: Olše lepkavá, vlevo u plotu.....	68
Obrázek 29: Vlevo dvouzubec černoplodý, uprostřed vrba, vpravo olše lepkavá	68
Obrázek 30: Stav vegetace v mokřadu v červnu	71

Obrázek 31: Stav vegetace v mokřadu v říjnu.....	71
Obrázek 32: Rozšíření jedinců orobince v červnu.....	72
Obrázek 33: Rozšíření jedinců orobince v říjnu.....	72

Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam vyskytujících se druhů vegetace v mokřadu v letech 2022 a 2023.....	45
Tabulka 2: Hodnoty pokryvnosti druhů vegetace v mokřadu (%); + = <1 %, dominantní druhy jsou vyznačené tučně.....	47
Tabulka 3: Průměrné hodnoty všech dominantních druhů za celý modul D v letech 2022 a 2023.....	49
Tabulka 4: Procentuální stupnice (%) a početní zastoupení druhů; + = <1 %.....	49

Seznam grafů

Graf 1: Proměnlivost hodnot pokryvnosti všech dominantních druhů v roce 2022.....	53
Graf 2: Proměnlivost hodnot pokryvnosti všech dominantních druhů v roce 2023.....	60
Graf 3: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D1 mezi lety 2022 a 2023.....	65
Graf 4: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D2 mezi lety 2022 a 2023.....	66
Graf 5: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D3 mezi lety 2022 a 2023.....	67
Graf 6: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D4 mezi lety 2022 a 2023.....	69
Graf 7: Průměrné hodnoty pokryvnosti všech dominantní druhy modulu D v letech 2022 a 2023.....	70

Seznam zkratek

ADP	adenosindifosfát
ATP	adenosintrifosfát
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
EO	ekvivalentní obyvatel
EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí
HCH	hexachlorcyklohexan
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku
KČOV	kořenová čistírna odpadních vod
NL	nerozpuštěné látky
ORP	oxidačně redukční potenciál
POP	perzistentní organické polutanty
TOC	celkový organický uhlík
USA	Spojené státy Americké

1 Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod jsou přírodní a udržitelnou metodou odstraňování znečišťujících látek z odpadních vod. Jedná se o umělé mokřady, které k odstraňování znečišťujících látek využívají činnost aerobních i anaerobních bakterií, které žijí mimo jiné i na kořenech mokřadních rostlin. Kořenové čistírny odpadních vod jsou v současné době velmi oblíbené kvůli své šetrnosti k životnímu prostředí, jednoduché údržbě, nulové spotřebě energie a nízkým nákladům na pořízení i provozování. Využívají se k čištění odpadních vod z různých zdrojů včetně kanalizací, průmyslových vod, vod z veřejných i soukromých objektů či srážkových vod.

Hlavními úkoly v rešerši bakalářské práce bylo zaměřit se na tematiku kořenových čistíren odpadních vod, na látku hexachlorcyklohexan – toxický pesticid nebezpečný pro přírodní prostředí i společnost, na princip fungování technologie Wetland+ sloužící k odstraňování hexachlorcyklohexanu z odpadních vod za pomoci mokřadní vegetace. Praktická část měla za cíl vyhodnotit změny v rostlinném osídlení mezi lety 2022 a 2023 a na návržení managementu umělého mokřadu.

Předmětem zkoumání byly tyto otázky:

Došlo mezi lety 2022 a 2023 ke změnám v druhovém složení vegetace v umělém mokřadu?

Byl rok 2023 oproti předešlému bohatší z pohledu druhové diverzity rostlin?

Byla v roce 2023 pokryvnost jednotlivých druhů výrazně vyšší oproti roku 2022?

Došlo k rozdílům ve stavu vegetace v létě a na podzim roku 2023?

Cílem této bakalářské práce bylo najít odpovědi na zmíněné otázky.

2 Kořenové čistírny odpadních vod

2.1 Přirozený mokřad

Pojmem přirozený mokřad se rozumí bažiny, slatiny, rašeliniště či vodní plochy přirozeného i umělého původu. Je to biotop, který se skládá z půdy, vody a bioty, která je přizpůsobena zaplavení či zamokření, a tím i zhoršenému přísunu kyslíku. Vyskytují se po celém světě kromě Antarktidy. Mokřady jsou velice důležitým a zároveň jedním z nejohroženějších ekosystémem na Zemi. Podílejí se na řadě procesů na Zemi, jako je např. koloběh vody, zadržování vody v krajině či slouží jako zdroj potravy a sladké vody, ochrana před povodněmi, ale také zmírňují klimatické změny. Jsou důležitým centrem biodiverzity – poskytují vhodné podmínky řadě druhů živočichů, rostlin, hub, prvoků a bakterií. (Reichholf, 1998; Vymazal, 2011a).

V minulosti docházelo k nenávratné devastaci mokřadů po celém světě kvůli nekontrolovanému vypouštění odpadních vod do nich, jelikož byly považovány za bezcenné a k tomuto účelu vhodné. Až v 50. a 60. letech minulého století nabyly mokřady na významu pro lidské využití a staly se okruhem zájmu vědy, čímž se vypouštění odpadních vod do mokřadů (alespoň v civilizovaných zemích) minimalizovalo. Možnost využití mokřadů k čištění odpadních vod je však známá již přes sto let. Mezi takové přirozené mokřady, které již přes sto let slouží k tomuto účelu, patří několik starých mokřadů ve Spojeném království a Severní Americe, např. Great Meadows (Massachusetts), Cootes Paradise (Ontario) či Brillion Marsh (Wisconsin) (Kadlec, Wallace, 2009; Vymazal, 2011a, 2016).

K výraznému úbytku mokřadů také docházelo z důvodu rozvoje zemědělství – přeměna na zemědělskou půdu, odvodňování, budování vodních nádrží, zástavby atd. Mimo jiné odvodňování zamokřených oblastí mělo také důvody zdravotní, mezi které patřilo např. to, že mokřady i v oblasti střední Evropy sloužily jako líhniště komárů, kteří přenášeli malárii (Státní zdravotní ústav SZÚ, 2012). Rašeliniště poskytovala levné a dobré topivo (rašelinu). Společně se současným nedostatkem vegetace a velkou mírou urbanizace a turismu pak dochází k degradaci půd, znečišťování vod a erozi a následnému znehodnocování biodiverzity mokřadů a celkově k jejich zániku. K jejich ochraně slouží Ramsarská úmluva (Reichholf, 1998).

2.1.1 Ramsarská úmluva

Ramsarská úmluva vznikla v roce 1971 v Íránu ve městě Ramsar. Mokřad definuje jako veškerá jezera, bažiny, močály, vlhké louky, rašeliniště, slatiny, oázy, delty, mangrovy, korálové útesy, rybníky, solné pánve, uměle i přirozeně vytvořená území se stojatou či tekoucí,

sladkou slanou či brakickou vodou, nepřesahující hloubku šesti metrů. Úmluvu tvoří „tři pilíře“, ke kterým se státy zavazují:

- snaha o rozumné využívání všech mokřadů,
- zajištění účinné správy mokřadů mezinárodního významu – na tzv. „Ramsarském seznamu“,
- spolupráce na mezinárodní úrovni v oblasti přeshraničních mokřadů, společných mokřadních systémů a společných druhů.

Nejdůležitějším bodem Ramsarské úmluvy, ke kterému se státy zavazují, je „rozumné využívání“ mokřadů a všech vodních zdrojů na území státu prostřednictvím národních plánů, politik a právních předpisů, managementových opatření a vzdělávání veřejnosti. Rozumným využíváním se myslí zachování ekologického charakteru, tedy ochrana a zachování udržitelného využívání mokřadů v prospěch lidí a přírody.

Na seznam jsou zařazovány mokřady, které splňují přísná kritéria mezinárodního významu pro vodní ptactvo a z hlediska ekologie, botaniky, zoologie, hydrobiologie nebo hydrologie.

Ramsarský seznam je současně největší sítí chráněných oblastí na světě. V současnosti je po celém světě více než 2 400 ramsarských lokalit na území 172 států a rozkládají se na ploše celkem větší než 2,5 milionu km². Úplně první lokalitou zapsanou na Ramsarský seznam byl poloostrov Cobourg v Austrálii v roce 1974. Mezi největší lokality patří např. Ngiri-Tumba-Maindombe v Demokratické republice Kongo nebo záliv Queen Maud v Kanadě. Nejvíce lokalit se nachází ve Spojeném království, a to 175, a dále v Mexiku, kde se jich nachází 142. Pro porovnání, v České republice se nachází 14 chráněných lokalit.

Mezi 14 chráněných mokřadů mezinárodního významu na území České republiky patří:

- Šumavská rašeliniště,
- Třeboňské rybníky,
- Novozámecký a Břežský rybník,
- Lednické rybníky,
- Litovelské Pomoraví,
- Poodří,
- Krkonošská rašeliniště,
- Třeboňská rašeliniště,
- Mokřady dolního Podyjí,
- Mokřady Liběchovky a Pšovky,

- Podzemní Punkva,
- Krušnohorská rašeliniště,
- Horní Jizera,
- Pramenné vývěry a rašeliniště Slavkovského lesa.

V roce 1990 se smluvní stranou stalo Československo, od roku 1993 se pak Česká republika a Slovensko staly samostatnými členy. V České republice za splnění kritérií Ramsarské úmluvy zodpovídá Ministerstvo životního prostředí a jako poradní orgán ve věcech ochrany mokřadů působí Český ramsarský výbor, který se skládá z pracovníků státní ochrany přírody a vědeckých a výzkumných pracovišť a zástupců nevládních organizací a Ministerstva životního prostředí.

Byl také vyhlášen mezinárodní den mokřadů, který spadá na 2. února podle dne podepsání Ramsarské úmluvy, tedy 2. února 1971 (Ramsar Convention on Wetlands, 2024).

2.2 Umělý mokřad

Umělé mokřady jsou konstruované systémy, které jsou budovány s cílem čištění odpadních vod. Jejich princip fungování je inspirován procesy probíhajícími v přirozených mokřadech. Využívají mechanismů rostlinné vegetace, řas, bakterií, půdy (součást podloží), substrátu (zemina – oddělená půda od podloží, která byla průmyslově upravena) a vodního prostředí. Stejně tak jako přirozené mokřady mají také důležité ekosystémové funkce – poskytují stanoviště rostlinám a živočichům, udržují tedy biologickou diverzitu, zlepšují kvalitu vody, snižují rizika povodní, jsou zdrojem potravy pro živočichy a mimo jiné mají také rekreační funkci. Jsou považovány za spolehlivou techniku čištění odpadních vod (Hota et al., 2023).

Umělé mokřady určené k čištění odpadních vod se dělí na různé typy především podle těchto tří kritérií: prvním je povrchové či podpovrchové proudění – přítomnost volné vodní plochy, druhým je způsob a směr průtoku odpadní vody – vertikální či horizontální průtok, posledním třetím je typ makrofytické vegetace – plovoucí či zakořeněná. Různé typy umělých mokřadů se mohou kombinovat, takové systémy se nazývají „hybridní“, čímž se dosáhne vyšší účinnosti čištění. První kategorií jsou umělé mokřady s povrchovým průtokem, které využívají různé druhy vegetace. Druhou kategorií jsou umělé mokřady s podpovrchovým průtokem, u kterých se využívá pouze vynořená neboli emerzní vegetace (Vymazal, 2011a, 2016; Maiga et al., 2019; Hota et al., 2023).

2.2.1 Historie umělých mokřadů

První pokusy o využití mokřadních rostlin k čištění odpadních vod prováděla doktorka Kathe Seidelová v Německu již na počátku 50. let 20. století. První systémy byly do plného provozu uvedeny koncem 60. let a od té doby se běžně používají. V Evropě jsou obvyklejší systémy s podpovrchovým průtokem, zatímco v Severní Americe a Austrálii jsou oblíbenější spíše systémy s povrchovým průtokem. V 70. a 80. letech 20. století se informace a znalosti o umělých mokřadech začaly pomalu šířit a od 90. let se tato technologie stala celosvětově známou díky spolupráci a sdílení zkušeností a poznatků mezi vědci a výzkumníky z celého světa. Vzhledem ke zvýšené potřebě odstraňování živin (hlavně dusíku a fosforu) se začaly v 90. letech a po roce 2000 umělé mokřady kombinovat a vznikaly tak hybridní systémy s vertikálním a horizontálním prouděním, aby se vzájemně doplňovaly, a tím se účinnost čištění zvýšila. Dnes jsou umělé mokřady považovány za spolehlivou technologii čištění a pro velké množství druhů odpadních vod jsou dokonce nejvhodnějším řešením (Vymazal, 2011a).

2.2.2 Umělé mokřady s povrchovým průtokem

Umělé mokřady s povrchovým průtokem neboli s volnou vodní hladinou využívají různé typy vegetace, které se dělí na plovoucí, vynořenou (emerzní) a ponořenou (submerzní) vegetaci. Tento typ mokřadů se vyznačuje mělkou vodou a nízkou rychlostí proudění. Proudění vody reguluje malá hloubka a nízká rychlost proudění vody, vegetace a substrát (Crites et al., 2010). Během průtoku jsou látky ve vodě přeměňovány fyzikálními (UV záření, filtrace, sedimentace), chemickými (adsorpce, výpar, srážení) a biologickými (mikrobiální rozklad a přeměna živin) procesy. Organické látky se velmi dobře odstraňují prostřednictvím mikroorganismů a anorganické látky pomocí filtrace a sedimentace. Tento typ umělého mokřadu se nejběžněji využívá k terciárnímu čištění (tedy dočištění) komunálních odpadních vod a také dešťové a důlní drenážní vody. Díky jejich větší kapacitě při přívalových srážkách je riziko hydraulického selhání menší než u podpovrchových mokřadů. Mokřady s povrchovým průtokem se využívají ve všech klimatických podmínkách, včetně velmi chladných oblastí. Tvorba ledu však může mít vliv na rychlost některých procesů, zejména na přeměnu a odstraňování dusíku – jeho míra odstraňování je pak snížena (Crites et al., 2010; Vymazal, 2011a, 2016).

2.2.2.1 Mokřady s emerzní vegetací

První skupinou, která má největší zastoupení u tohoto typu mokřadů, jsou mokřady s emerzní vegetací. Prvně se o čištění vody pomocí těchto mokřadů pokoušeli v Německu již

v 50. letech minulého století, avšak do aktivního provozu byl tento typ čistíren uveden v Maďarsku a Nizozemsku až na přelomu 60. a 70. let. Přestože se v Evropě tento typ čistíren užíval jako první, v Severní Americe je využíván mnohem častěji. V Evropě je nejvíce takových mokřadů ve Švédsku, které zde byly vybudovány v 80. a 90. letech s cílem snižování koncentrace dusíku, které ústí do Baltského moře. Tímto způsobem čištění se převážně odstraňuje znečištění ve vodním sloupci mělkých nádrží, které jsou porostlé mokřadními rostlinami, a také v detritu na dně nádrží. Poslední dobou se uplatňují i systémy s emerzní vegetací vznášející se na hladině. Mokřady s emerzní vegetací jsou využívány nejčastěji a nejběžněji se používají k čištění splaškových vod (Vymazal, 2016).

2.2.2.2 Mokřady s plovoucí vegetací

Dalším typem jsou mokřady s volně plovoucí vegetací. Tento typ využívá rostliny, jako je např. okřehek (*Lemna*) nebo vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) (Vymazal, 2016).

2.2.2.3 Mokřady se submerzní vegetací

Umělé mokřady se submerzní vegetací jsou vhodné, pokud je ve vodě obsaženo menší množství nerozpuštěných látek a rostliny mají dostatek světla pro fotosyntézu. Proto jsou vhodné pro konečnou úpravu odpadních vod. Zde se užívá mnoho druhů rostlin jako např. růžkatec ostnitý (*Ceratophyllum demersum*) či vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*) (Vymazal, 2016).

2.2.2.4 Mokřady s vegetací s plovoucími listy

Poslední skupinou jsou mokřady s rostlinami s plovoucími listy. Zde najdeme rostliny jako lekníny, rdesty nebo stulíky. Tyto mokřady se používají pro čištění dešťové vody (Vymazal, 2016).

2.2.3 Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem – kořenové čistírny odpadních vod

Pojmenování „kořenová čistírna odpadních vod“ (KČOV) pochází z anglického „Root Zone Method“. Jde o umělé mokřady s podpovrchovým prouděním neboli bez volné vodní hladiny. Tento typ se dnes pro čištění odpadních vod využívá nejčastěji. Principem fungování kořenových čistíren je průtok vody horizontálním či vertikálním směrem. Voda protéká propustným substrátem osázeným mokřadní vegetací. Čištění vody je zajištěno filtrací za průběhu biologických, fyzikálních a chemických procesů. Oba typy čistíren vznikly v Německu

v 60. letech minulého století. V současnosti se mohou systémy různě kombinovat (i se systémy s povrchovým průtokem) a ty se označují jako „hybridní“ (Vymazal, 2016).

2.3 Odpadní vody a její typy

Znečištění odpadních vod se vyjadřuje jednotkou „ekvivalentní obyvatel“ (EO) a vyjadřuje znečištění, které vyprodukuje 1 obyvatel za 1 den. Tento údaj je důležitý při určování výkonu čistírny odpadních vod (Sojka, 2013).

Mezi odpadní vody patří veškeré vody, „*kteřé byly použity v domácnostech, průmyslové a zemědělské výrobě, zdravotnických zařízeních a dopravních prostředcích, ovšem jen za předpokladu, že tyto vody během používání změnily svoji jakost.*“ (Sojka, 2013, s. 23). Ta se týká její kvality a teploty. Mezi odpadní vody patří také vody srážkové (např. voda roztátá ze sněhu či dešťová voda) za předpokladu, že by mohly ohrozit podzemní či povrchové vody, a dále vody průsakové pocházející ze skládek odpadu.

Existuje několik typů odpadních vod. Mezi základní parametry, podle kterých se dělí, patří způsob jejich vzniku a dále vzniku a obsahu látek, kterými je odpadní voda znečištěná. Určení, o jaký typ odpadní vody se jedná, závisí na přítomnosti jednotlivých druhů znečišťujících látek a na jejich procentuálním zastoupení ve vodě. Odpadní vody se dělí na tyto typy:

- komunální splaškové vody,
- srážkové odpadní vody,
- průmyslové odpadní vody,
- balastní vody (Sojka, 2013).

2.3.1 Komunální splaškové odpadní vody

Za splaškovou vodu se považují vody, které pochází z domácností či objektů služeb. Je to voda, „*kteřá vzniká převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnosti.*“ (Sojka, 2013, s. 23).

2.3.2 Srážkové odpadní vody

Jedná se o vodu pocházející z dešťových a sněhových srážek. Jejich znečištění pochází zejména ze silnic, které jsou nejvíce znečištěné po dlouhých obdobích sucha. Svým organickým znečištěním se podobají splaškovým vodám. Zejména v zimním období se do kanalizačních systémů dostává velké množství solí ze solení silnic, čímž se zvyšuje koncentrace chloridů v odpadních vodách (Sojka, 2013).

2.3.3 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové vody vznikají při průmyslové výrobě. Jejich složení a zastoupení jednotlivých znečišťujících látek závisí na druhu průmyslové výroby a její technologii. U tohoto typu odpadních vod je třeba posoudit biologickou čistitelnost a obsah toxických látek. Obvykle se pro lepší čistitelnost řadí splaškovými odpadními vodami (Sojka, 2013).

2.3.4 Balastní vody

Tyto odpadní vody se vyznačují tím, že jsou málo znečištěné. Mají dvě složky, a to povrchové vody, které ústí do kanalizace, a podzemní vody, které řadí odpadní vody tím, že do kanalizací pronikají např. netěsnícím potrubím, a tím komplikují či znemožňují biologické čištění. Jde tedy o nežádoucí přítok do stokového systému (Sojka, 2013).

2.4 Typy kořenových čistíren odpadních vod

Podle směru proudění se kořenové čistírny dělí na dva základní typy a třetí kombinovaný systém:

- KČOV s horizontálním průtokem,
- KČOV s vertikálním průtokem,
- hybridní KČOV.

2.4.1 Kořenové čistírny s horizontálním průtokem

V současnosti jsou KČOV s horizontálním průtokem nejběžněji používaným typem. Jsou využívány jako velké čistící systémy splaškových vod a mají nízké náklady a nároky na provoz a údržbu. Jsou vhodné např. v lokalitách bez přísunu elektrické energie, jelikož systém funguje na principu gravitace, tudíž nejsou zapotřebí žádná čerpadla. Tato technologie je v České republice velmi častá a využívá se skoro ve všech případech. Je jednoduchá a její konstrukce se velmi snadno realizuje. Jejich hlavní výhodou je, že umí čistit zředěné odpadní vody, které nelze vyčistit pomocí běžných technologií (Hoffmann et al., 2011; Vymazal, 2011a; Křiška, Němcová, 2015; Hota et al., 2023).

Do horizontálních čistíren je přítok vody neustálý a vytváří se tak anaerobní prostředí, jelikož nepřerušovaným přítokem vody je přístup kyslíku omezen. Tím jsou zajištěny vhodné podmínky pro denitrifikaci. Primárně vznikají dusičnany, které se dalšími reakcemi přeměňují na plynný dusík (více info o denitrifikaci v kapitole 2.8.3.3). Aerobní zóny se tvoří pouze kolem kořenů a oddenků. Velmi dobře odstraňují organické a nerozpuštěné látky, mikrobiální znečištění a těžké kovy. Na jejich odstraňování se podílejí bakterie, které se nachází na povrchu

půdních částic a na kořenech rostlin. Naopak nejsou vhodné pro odstraňování amoniaku či fosforu (Hoffmann et al., 2011; Vymazal, 2011a, 2016).

Na rozdíl od KČOV s vertikálním průtokem mají tyto čistírny velmi malý přísun kyslíku z okolí. To je jeden z důvodů, proč jsou vhodnější jako velkoplošné čistírny. Proto jsou také méně vhodné pro městské prostředí, kde je prostor omezen a dražší a jejich realizace a provoz by byly ekonomicky náročné až nereálné. Jejich použití je tedy vhodnější ve spojení s dalšími čistírnami či jen pro čištění méně znečištěných vod.

Nejdůležitějším bodem při jejich konstrukci je návrh a stavba přítokové zóny, která funguje jako filtr pevných látek. Hlavním technologickým problémem je ucpávání a povrchový odtok. Při ucpání čistírny jde většinou právě o ucpání přítokové zóny pevným materiálem nebo biofilmem. To je způsobeno špatným předčištěním, vysokým zatížením, malou přítokovou zónou nebo jemným materiálem, proto je vhodné zvolit hrubý filtrační materiál. Staví se lineárně, aby se předešlo prosakování vody a zajistil se kontrolovatelný odtok (Hoffmann et al., 2011; Vymazal, 2011a).

2.4.2 Kořenové čistírny s vertikálním průtokem

KČOV s vertikálním průtokem nebyly původně navrženy jako samostatné systémy, ale měly plnit funkci předčištění před KČOV s horizontálním průtokem. Byly tedy součástí tzv. „hybridních“ systémů (Vymazal, 2016).

Vertikální čistírny potřebují méně místa a mají vyšší účinnost než horizontální čistírny, díky čemuž jsou vhodnější v případě omezeného prostoru. Potřebná plocha se obvykle pohybuje kolem 3 m² na EO, liší se ale v závislosti na klimatu. Často se využívají jako malé domovní čistírny. Běžně se používají k úpravám vody domovních odpadních vod či odpadních vod v malých obcích, ale i čištění vod v místech stavby nebo průmyslových odpadních vod.

Do vertikálních čistíren je voda přiváděna na povrch filtru přerušovaně v intervalech (ve 4 až 12 dávkách denně), které jsou střídány klidovými obdobími, během kterých voda odtéká filtrem a filtrační lože (prostor, ve kterém dochází k samotnému čištění rostlinami) poté vysychá. Přerušované dávkování umožňuje lepší přísun kyslíku ke kořenům rostlin, který je nezbytný pro nitrifikaci. Díky tomu má tento typ KČOV vyšší účinnost. Mají také dobrou schopnost odstraňovat organické látky. Na druhou stranu neposkytují vhodné podmínky pro denitrifikaci. U těchto systémů je na rozdíl od horizontálních čistíren zapotřebí čerpadel a rozvodných zařízení, aby byla voda rozváděna po celém povrchu filtračního lože. Jejich hloubka by měla být 1 až 1,2 m a jako filtrační médium se nejčastěji využívá písek (Hoffmann et al., 2011; Vymazal, 2011a, 2016; Hota et al., 2023).

Největším rizikem je ucpání filtračního lože půdou, které může vést ke kompletnímu selhání čistírny. K ucpání často vede rychlým vznikem biofilmu. Ucpání je způsobeno špatným předčištěním či příliš jemným filtračním materiálem. Hlavním faktorem pro správné fungování čistírny je dostatečné provzdušnění půdy v loži (Hoffmann et al., 2011).

2.4.3 Hybridní kořenové čistírny

Hybridní neboli kombinované systémy KČOV byly navrženy s cílem dosáhnout co nejvyšší účinnosti čištění odpadních vod, zejména odstraňování dusíku. K jeho odstraňování se nejčastěji kombinuje vertikální a horizontální systém, ten je také využíván ke složitějším úpravám odpadních vod (Abou-Elela et al., 2013). Existují dva možné způsoby uspořádání: buď může být voda čištěna nejprve ve vertikální části a až poté v horizontální části nebo opačně. Konstrukce jsou dvoufázové – několik paralelních vertikálních systémů následovaných dvěma až třemi sériově zapojenými horizontálními filtračními poli. Druhou možností je umístění velkého horizontálního filtračního lože a následné umístění malého vertikálního lože s přerušovaným zatížením. V obou částech systému probíhá odstraňování organických a nerozpuštěných látek. Samotná vertikální část má za úkol vytvářet vhodné podmínky pro nitrifikaci a horizontální část zajišťuje denitrifikaci.

Hybridní KČOV těchto dvou forem jsou nejčastěji používanými hybridními systémy, ale obecně lze kombinovat různé typy umělých mokřadů, aby se dosáhlo co nejvyšší účinnosti čištění. Jejich nevýhodou je však vyšší počáteční investice, provozní náklady a komplikovanější údržba (Vymazal, 2011a; Wu et al., 2023).

2.5 Jednotlivé části a uspořádání kořenové čistírny

2.5.1 Mechanické předčištění

Před samotnou kořenovou čistírnu odpadních vod je důležité začlenit mechanické předčištění, které je pro tento typ čistíren klíčové, aby ve výsledku nedošlo k ucpání filtračního lože nerozpuštěnými látkami. Je tedy důležité udržovat ho v dobrém stavu. Cílem předčištění je odstranění velkých nerozpustných částic, např. kamenů. Tvoří tak „ochrannou část“ čistírny, aby nedošlo k mechanickému poškození čistírny. U malých domovních čistíren lze použít biologický septik nebo usazovací nádrž či anaerobní filtr. Pokud se jedná o kořenovou čistírnu pro malé obce, je důležité pohlížet na typ kanalizační sítě před zvolením mechanického předčištění. Kanalizační síť může být buď oddílná, nebo jednotná.

Oddílná kanalizační síť odvádí dešťovou a splaškovou vodu zvlášť. Dešťová voda společně se splachy končí v povrchových vodách, převážně ve vodních tocích, což je problém,

Jelikož obsahuje velké množství nerozpuštěných a organických látek. Splašková voda je naopak odváděna do čistíren odpadních vod, kde se k jejímu předčištění nejběžněji využívají česle a šterbinové nádrže (Vymazal, 2016).

Jednotná kanalizační síť je využívána nejběžněji. Jelikož splaškovou a dešťovou vodu odvádí do čistíren dohromady a dešťová voda (ale i ze sněhu apod.) je znečištěná látkami z okolí (komunikace atd.), tak by společně s většími průtoky v případě větších srážek mohla čistírny zatížit a znehodnotit mechanické předčištění. Mohlo by tedy ve výsledku dojít k negativnímu ovlivnění celého procesu čištění v kořenové čistírně. Je proto důležité provádět opatření pro minimalizaci množství srážkových vod, které do čistíren kanalizace odvede, a srážkovou vodu oddělit ještě před samotným předčištěním. V některých zemích se pak čistí v samostatných KČOV (např. ve Velké Británii). Pro tento typ kanalizace se využívá kombinace česlí, lapáku písku, případně i šterku, a šterbinové nádrže či septiku (Vymazal, 2016; Maiga et al., 2019).

2.5.2 Filtrační lože

Filtrační lože představuje nejdůležitější část KČOV. Filtrační lože se u KČOV s horizontálním a vertikálním průtokem liší.

U KČOV s horizontálním průtokem bývá filtrační lože hluboké 60 až 80 cm a je třeba použít dostatečně propustný substrát, aby se předešlo ucpávání. Dříve se využívaly těžké jílovité zeminy s vysokou filtrační a čistící účinností, avšak ty se rychle ucpávaly a docházelo k povrchovému odtoku, který nemá výrazný vliv na účinnost čištění, ale způsobovaly hygienické problémy jako např. zápach. Nejčastěji se používá praný šterk, drcené kamenivo nebo kačirek o zrnitosti 5 až 20 mm. Materiály pro filtrační lože musí být prané a zbavené prachu nebo zeminy. Rozvodné a sběrné zóny se vyplňují hrubým kamenivem, aby odpadní voda byla dobře rozvedena po celém profilu nátokové hrany. Filtrační lože se od podloží odděluje nepropustnou vrstvou, nejčastěji je to plastová fólie, která zabraňuje prosakování vody do podloží a tím i znehodnocování podzemních vod. Plastovou fólii je vhodné chránit např. geotextilií, aby nedošlo k jejímu poškození při navážení filtračního materiálu. V případě málo propustného podloží není nutné používat další izolace. Plocha filtračních polí musí být správně dimenzována, aby bylo odstraněno co největší množství znečišťujících látek. K výpočtu plochy se užívá speciální rovnice, podle které vychází velikost plochy filtračních polí pro městské či domovní odpadní vody přibližně 5 m² na jednoho obyvatele (Vymazal, 2016).

Filtrační lože u KČOV s vertikálním průtokem bývá 1 až 1,2 m hluboké a jako filtrační médium se často používá písek v několika vrstvách různých frakcí. Na filtrační lože je voda přiváděna ve 4 až 12 dávkách denně, tedy po intervalech, které umožňují mnohem lepší

provzdušnění filtračního lože a ke kořenům se tak dostane více kyslíku. Každá další dávka vody se přičerpá, až když se filtrační lože vyprázdí. První systémy vertikálních čistíren se skládaly z dvou až čtyř filtračních loží a nazývaly se „systémy první generace“. Dnes se používají čistírny pouze s jedním ložem, ty se nazývají „systémy druhé generace“. Vertikální čistírny vyžadují menší plochu, a to kolem 3 m² (Vymazal, 2011a, 2016).

2.5.2.1 Distribuce a sběr odpadní vody

Předčištěná odpadní voda je distribuována do rozvodné zóny, která je vyplněna hrubým kamením. Pro rozvod předčištěné odpadní vody se obvykle používají plastové trubky s dostatečně velkými otvory, aby se předešlo ucpávání.

Sběrné potrubí je umístěno na dně filtračního lože a je propojeno s výpustním mechanismem, který se nachází v odtokové šachtě. Tento mechanismus umožňuje regulaci výšky vodního sloupce ve filtračním loži využívající principu spojených nádob. V současnosti se často používají flexibilní hadice či plastové trubky, které slouží k přesnému nastavení výšky vodní hladiny. Obvykle se hladina vody udržuje 5 až 10 cm pod povrchem filtračního lože (Vymazal, 2016).

2.5.2.2 Filtrační materiál

Filtrační materiál neboli substrát tvoří médium pro růst rostlin a slouží též k uchycení biofilmu. Účastní se různých procesů odstraňování, jako je filtrace, adsorpce a biodegradace živin (zejména fosforu) a dalších znečišťujících látek (Yang et al., 2018). Kategorizují se v závislosti na jejich hlavních rolích při odstraňování polutantů (substráty pro výměnu iontů, substráty pro sorpci fosforu a substráty s donorem elektronů) (Wu et al., 2014).

V současnosti se v České republice i v celé Evropě využívají filtrační materiály s hrubší zrnitostí (8–16 mm nebo 16–32 mm). Mají dobrou schopnost odstraňování znečišťujících látek a vysokou hydraulickou vodivost a také mají nižší rychlost ucpávání přítokové části (Yang et al., 2018). Ve většině případů není žádné předčištění schopno odstranit všechny nerozpuštěné látky, což ale neznamená snížení účinnosti čištění vody ani to, že by se čistírna nějakým způsobem porouchala. K tomuto jevu dochází postupem času přirozeně, avšak při nesprávné údržbě čistírny k němu může dojít mnohem dříve (Vymazal, 2016).

2.5.2.3 Vegetace

Nezbytnou součástí kořenových čistíren jsou mokřadní rostliny. V mírném klimatickém pásmu, jako je u nás, plní v chladných měsících funkci zateplování povrchu filtračních polí, v teplejších měsících naopak ochlazuje, čímž zajišťuje stabilní výkon a možnost čištění vody

po celý rok (Vymazal, 2011b). Kořeny a oddenky tvoří substrát pro růst bakterií a dalších mikroorganismů (Vymazal, 2011a). V půdách s kořeny je totiž mnohem více bakterií. K nejdůležitějším funkcím mokřadních rostlin patří transport kyslíku do kořenové zóny, která by byla bez rostlin anoxická (Vymazal, 2016), dále přijímají a ukládají živiny a kořenové exudáty (Vymazal, 2011a). Kořenové exudáty jsou uvolňované zdravými kořeny rostlin do půdy. Jedná se o látky bohaté na živiny, zejména snadno dostupný uhlík, který využívají mikroorganismy ke svému růstu. Podporují tedy růst rhizosférických bakterií, některé ale mohou mít naopak antimikrobiální vlastnosti. Jejich složení závisí na druhu rostliny. Jsou to tzv. „spojovací články“ mezi rostlinami a půdními mikroorganismy (Šimek et al., 2015; Ma et al., 2021). Transport kyslíku umožňuje aerenchym, což je specializované pletivo mokřadních a vodních rostlin, které umožňuje provzdušňování jejich kořenů. Kyslík, který rostliny nespotřebují k dýchání, se dostane do okolí kořenů, čímž vznikají aerobní zóny, ve kterých probíhá nitrifikace a oxidace toxických sloučenin. Rostliny také vážou z odpadní vody velké množství živin jako fosfor a dusík (Vymazal, 2016). Rostliny se sklízí až po zimě, nebo se přes zimu nechá posekaná vegetace na povrchu kořenového lože a sklídí se až na jaře, čímž v chladných měsících slouží jako izolační vrstva proti promrznutí filtračního lože, nebo se v některých případech nesklízí vůbec. Sklizená rostlinná biomasa je předmětem zájmu vědců už více než čtyři desetiletí kvůli jejímu možnému využití k výrobě bioplynu. Další výhodou a možným využitím biomasy z orobince je využití ve stavebnictví. Biomasa společně s hlinou tvoří dobrý stavební materiál. Vyznačuje se svou dobrou tepelnou izolací, bezpečností, je lehký a také cenově výhodný. Mimo jiné se z něj vyrábí také výrobky jako klobouky, tašky, krabice a mnoho dalšího (Maddison et al., 2009; Vymazal, 2011a, 2011b).

Výběr rostlin je hlavním faktorem, který ovlivňuje kvalitu pročištěné vody. U mokřadní vegetace je důležité, aby splňovala řadu podmínek, a to zaprvé tolerance k anaerobii, dále k anorganickému znečištění i vysokému zatížení organickými látkami a živinami. Zadruhé produkce velké podzemní biomasy a dobré prokořenění, aby poskytovala substrát pro bakterie a dostatečné okysličení (Vymazal, 2011a, 2011b, 2016; Wu et al., 2023).

2.6 Provoz a údržba kořenových čistíren

Oproti klasickým čistírnám odpadních vod jsou KČOV poměrně nenáročné. Jelikož horizontální čistírny nepotřebují ke svému fungování čerpadla ani rozvodné systémy, nevyžadují elektrickou energii a ani se nijak mechanicky neopotřebovávají. I tak ale vyžadují pozornost. Je třeba pravidelně kontrolovat jednotlivé části – mechanické předčištění a kořenové pole. Větší pozornost je třeba věnovat součastem mechanického předčištění, které zachycují

nerozpuštěné materiály, a tím je septik a štěrbínová nádrž. To znamená odčerpávání kalu a dále je nutné pravidelně čistit česle a lapák písku a šterku. Septik by se měl jednou za tři roky vyčerpát a dále by se jednou za dva až pět let mělo propláchnout rozvodné a sběrné potrubí tlakovou vodou. Dalším důležitým bodem je kontrola výšky hladiny, rozdělení nátoku odpadní vody a na závěr také obstarání vegetace (posekat před či po zimě). Je-li údržba důsledná, je kořenová čistírna v podstatě časově nenáročná a náklady na ni nejsou vysoké (Vymazal, 2016).

2.7 Druhy vegetace

V průběhu vývoje KČOV bylo využito velké množství druhů mokřadních rostlin, ale ne všechny se ukázaly jako vhodné. Mezi nejčastěji používané rostliny patří rákos obecný (*Phragmites australis*), který se používá téměř po celém světě, či chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Velmi časté jsou také druhy z rodu skřípiny (*Scirpus* spp.). Využívají se i rostliny, které mají estetický a dekorativní charakter, např. orobinec širokolistý (*Typha latifolia*) a úzkolistý (*Typha angustifolia*) či kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*). Ty se hodí pro domovní čistírny (Vymazal, 2011a, 2011b, 2016).

Dalšími druhy vegetace často využívanými v České republice jsou např. zblochan vodní (*Glyceria maxima*), vrbovka chlupatá (*Epilobium hirsutum*), šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*), kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*) a mnoho dalších (Vymazal, 2011b, 2016).

2.7.1 Rákos obecný

Rákos obecný (*Phragmites australis*) patří do čeledi lipnicovité (Poaceae). Řadí se mezi vytrvalé rostliny. Vyskytuje se po celém světě – v Evropě, Asii, Africe, Severní Americe a Austrálii mezi 10. a 70. rovnoběžkou. Je dominantní rostlinou zejména sladkovodních či brakických a někdy i mořských vod a nejčastěji se vyskytuje u břehů vod, v rašeliništích či mokřích ruderalních trávnících. Bývá vysoký 2 až 4 m v závislosti na lokálních podmínkách, avšak některé formy mohou být až 8 m vysoké. Obvykle se rozmnožuje vegetativně pomocí oddenků či plazivých stolonů. Je snadno zaměnitelný s chrasticí rákosovitou, která se liší 3 až 6 mm dlouhým blanitým dřipěným jazýčkem (Vymazal, 2011b, 2016; Kaplan et al., 2019).

Rákos obecný patří mezi nejčastěji používanou mokřadní rostlinu vůbec. Je velmi odolný vůči zaplavení a dokáže dobře tolerovat znečištění. Má dutá stébla, která umožňují dobré vedení kyslíku ke kořenům. Má rozsáhlý kořenový systém, který sahá do hloubky 0,6 až 1 m. Je vhodný k čištění různých druhů odpadních vod, zejména komunálních a domovních. Používá se v celé Evropě, Kanadě, Austrálii, téměř celé Asii a Africe (s výjimkou střední

Afriky). Ve Spojených státech Amerických a na Novém Zélandu je rákos obecný považován za invazivní druh, proto zde bylo využívání této rostliny omezeno (Kaplan et al., 2019).

2.7.2 Chrastice rákosovitá

Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) patří jako rákos obecný do čeledi lipnicovitých (Poaceae). Patří mezi vytrvalé trávy s nekvetoucími výhonky, je „úzce podlouhlá, laločnatá, často načervenalá“ (Kaplan et al., 2019, s. 289). Je vysoká 1 až 3 m. Nejlepší podmínky pro růst jsou v chladných a vlhkých oblastech, v mokřadních stanovištích, jako jsou mokré louky, lužní lesy, rákosiny či břehy řek. Vytváří husté porosty a síť kořenů a oddenků pronikajících do hloubky 30 až 40 cm, díky čemuž se velmi dobře vegetativně šíří. Má velmi dobrou klíčivost semen. Původem je z oblastí mírného pásu severní polokoule a byla rozšířena po celé Eurasii a dále do Severní Ameriky (Vymazal, 2011b, 2016; Kaplan et al., 2019).

V České republice se v kořenových čistírnách používá běžně, buď samostatně jako monokultura či v kombinaci s rákosem obecným, jelikož se dobře snáší s jinými druhy a také má dobrou izolační schopnost v zimním období (Vymazal, 2011b).

2.7.3 Orobinec

Orobinec (*Typha*) patří do čeledi orobincovitě (Typhaceae). Je to jednoděložná vytrvalá rostlina. Bývá až 3 m vysoký a má rozsáhlý rozvětvený kořenový systém. Jeho listy jsou na rubu ploché a mírně zaoblené. Nejčastěji se vyskytuje na březích stojatých a pomalu tekoucích vod, v mělkých zátokách, jezerech, rybnících, řekách a sladkovodních či brakických mokřadech (Vymazal, 2011b; Kaplan et al., 2019).

Nejvýznamnějšími druhy rodu orobinec, které se využívají v mokřadech, jsou orobinec širokolistý (*Typha latifolia*) a orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia*). Tyto dva druhy jsou snadno zaměnitelné. Odlišují se od sebe postavením palic: palice u orobince úzkolistého se nedotýkají, jsou od sebe vzdálené 3 až 5 cm, zatímco u širokolistého se dotýkají. Orobinec širokolistý je kosmopolitní druh až na střední a jižní Afriku. Orobinec úzkolistý je také rozšířený po celém světě, ale je považován za invazivní v Severní Americe. Dále se nevyskytuje v tropických oblastech – zde je nahrazen druhem orobinec jižní (*Typha domingensis*) nacházející se v Americe, Africe či Austrálii. Orobinec je obvykle využíván k čištění komunálních a domovních odpadních vod. V České republice však nejsou příliš často využívány, případně jsou kombinované s rákosem obecným (Vymazal, 2011b, 2016; Kaplan et al., 2019).

2.7.4 Skřípina

Skřípina (*Scirpus*) patří do čeledi šachorovité (Cyperaceae). Rostliny tohoto rodu mohou být jednoleté i vytrvalé. Roste v trsech či velkých koloniích. Stonky jsou trojúhelníkovitého tvaru nebo mohou být mírně zaoblené. Jsou až 3 m vysoké, některé druhy jsou i vyšší. Její kořeny pronikají do hloubky 70 až 80 cm, čímž se kořenová zóna lépe provzdušní a to vytváří dobré podmínky pro mikrobiální nitrifikaci (Vymazal, 2011b).

V raných fázích vývoje umělých mokřadů se používal skřípinec jezerní (*Scirpus lacustris*). V současnosti se využívá např. skřípina lesní (*Scirpus sylvaticus*), a to především v Severní Americe, Austrálii a na Novém Zélandu (Vymazal, 2011b). Skřípina lesní se hojně vyskytuje na vlhkých loukách, v mokřadních olšinách a na lučních či lesních prameništích. Tento druh má podzemní výběžky a vyznačuje se vejcovitými shloučenými klásky (Kaplan et al., 2019).

2.7.5 Kosatec žlutý

Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) se řadí do čeledi kosatcovité (Iridaceae). Je to vytrvalá bylina vysoká až 1,5 m. Lodyha je vzpřímená, oblá až plochá a větvená. Vyskytuje se v celé Evropě a velmi hojně v teplých oblastech, jako je Blízký východ a severní Afrika. Osidluje břehy rybníků, jezer, stojatých a mírně tekoucích vod, především eutrofní vody s bahnitým dnem, rákosiny a také vlhké louky. Pro svůj vzhled má v kořenových čistírnách často dekorativní charakter (Vymazal, 2011b). Vyznačuje se žlutými květy s červenohnědou kresbou u báze a mečovitými listy (Kaplan et al., 2019).

V Severní Americe se také používá kosatec různobarvý (*Iris versicolor*) a v Evropě kosatec sibiřský (*Iris sibirica*) (Vymazal, 2011b).

2.8 Látky čištěné v kořenových čistírnách

Procesy odstraňování látek jsou ovlivňovány podmínkami vnitřního i vnějšího prostředí. V případě mikrobiálních procesů odstraňování látek záleží na vlastnostech odpadních vod, hydraulických podmínkách systému, dostupnosti živin, typu filtračního materiálu, na druhu vegetace, teplotě (tedy klimatických podmínkách), množství rozpuštěného kyslíku a hodnotě pH (Wu et al., 2023).

2.8.1 Organické látky

Organické látky jsou v kořenových čistírnách odstraňovány s velkou účinností (Vymazal, 2016). Jejich koncentrace v odpadní vodě se vyjadřuje jako „množství

v jednotkovém objemu vody“ (mg/l, g/l) nebo množství za čas (kg/den, g/s). Organické látky se vyjadřují jako biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅), chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{Cr}) a dále pak jako ztráta žiháním a celkový organický uhlík (TOC) (Sojka, 2013).

BSK₅ vyjadřuje množství kyslíku, které spotřebují mikroorganismy při biologickém rozkladu organických látek ve vodě za dobu pěti dnů za aerobních podmínek.

CHSK_{Cr} vyjadřuje míru látek, která je schopná oxidovat. Udává se „*v množství kyslíku, které je ekvivalentní spotřebě použitého oxidačního činidla*“ (Sojka, 2013, s. 21). Poměr CHSK_{Cr}/BSK₅ znázorňuje biologickou rozložitelnost organických látek. Nízké hodnoty tohoto poměru poukazují na množství látek, které se snadno rozkládají, naopak vysoké na obtížně se rozkládající.

TOC vyjadřuje celkové množství organických látek v odpadní vodě. Ztráta žiháním probíhá při teplotách až 1100 °C a vyjadřuje rozdíl mezi celkovým obsahem látek a jejich zbytky po žihání. Může být vyjádřena i v procentech. Žiháním se odstraní organické látky a zbyde popel (anorganické látky) (Sojka, 2013).

Na rozkladu se podílí především mikroorganismy aerobním či anaerobním způsobem. Některé mikroorganismy se navážou na povrch substrátu a kořeny mokřadních rostlin a vytvářejí biofilmy, ve kterých dochází k přeměně a degradaci kontaminantů (Wang et al., 2021; Wu et al., 2023). Tento rozklad probíhá ve filtračním loži. Aerobní rozklad probíhá zejména poblíž kořenů vegetace, kam se dostává kyslík nespotebovaný k dýchání rostlin. Převažuje však rozklad za anaerobních podmínek. Nejvyšší míra odstranění organických látek je již v počátečních fázích, a to již na přítoku (Vymazal, 2016).

2.8.2 Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěnými látkami (NL) se rozumí látky v pevném skupenství. Mohou se dělit na usaditelné a neusaditelné. U KČOV s horizontálním průtokem je míra odstraňování nerozpuštěných látek vysoká pomocí filtrace a sedimentace ve filtračním loži. Při špatném mechanickém předčištění, které zachycuje nejvíce nerozpuštěných látek, může dojít k ucpání filtračního lože těmito látkami. Kvůli jemným materiálům, které byly používány v 70. a 80. letech minulého století, docházelo často k ucpávání přítokových zón, avšak tento jev neměl na účinnost čištění v podstatě žádný vliv. Vyjadřují se také mg/l či kg/den (Sojka, 2013; Vymazal, 2016).

2.8.3 Dusík

Dusík se v odpadních vodách může vyskytovat v celé řadě forem organických i anorganických sloučenin. Obě formy (organické i anorganické) jsou v mokřadech důležité pro život. V anorganické formě se vyskytuje zejména amoniak (NH_3), dusitany (NO_2^-) a dusičnany (NO_3^-), v organické formě močovina, aminokyseliny, aminy, puriny a pyrimidiny. Dusík je zastoupen i v plynné formě, a to jako N_2 , oxid dusný (N_2O), oxid dusičitý (NO_2) či oxid dusnatý (N_2O_2). Neustále dochází k přeměnám organických látek na anorganické a naopak. Některé procesy uvolňují energii, kterou bakterie zužitkují pro svůj růst. Dusík je také živinou pro řasy. Koncentrace dusíku je vyjadřována v mg/l nebo kg/den. (Sojka, 2013; Vymazal, 2016).

Odstraňování dusíku je proměnlivé a závisí na mnoha faktorech, jako je koncentrace v přítoku, chemická forma dusíku, teplota vody, roční období, obsah organického uhlíku a koncentrace rozpuštěného kyslíku. Dusík lze také odstranit sklizením rostlinné biomasy, ale množství odstraněného dusíku je malé a nepřesahuje 10 %. Obvykle záleží také na druhu vegetace a jejím vegetačním období a dále na množství biomasy a koncentraci dusíku (a obecně živin) v biomase. Období maximální biomasy a maximální koncentrace dusíku se liší. Např. u rákosu obecného je to na přelomu srpna a září, zatímco u chrastice rákosovité už v druhé polovině července (Vymazal, 2016). Toto období, kdy se v biomase uloží nejvíce dusíku, je tak důležitým faktorem při určování naakumulovaného dusíku (Kadlec, Wallace, 2009).

2.8.3.1 Amonifikace

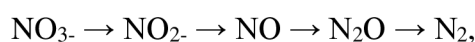
Při amonifikaci dochází přeměně organického dusíku na amoniak. Během procesu je uvolňována energie, která je využívána mikroorganismy k růstu a přežívání, a amoniak se stává součástí biomasy. Amonifikace může probíhat jak v aerobním, tak anaerobním prostředí, avšak za aerobních podmínek je její rychlost výrazně vyšší než za anaerobních podmínek (Vymazal, 2016).

2.8.3.2 Nitrifikace

Při nitrifikaci dochází k oxidaci amoniaku na dusitany a dusičnany. Probíhá za aerobních podmínek a za přítomnosti nitrifikačních bakterií. Ovlivňuje kvalitu a čistotu vody. Vhodné podmínky pro nitrifikaci jsou zejména v KČOV s vertikálním průtokem kvůli intervalovému přísunu vody, čímž se filtrační lože dobře provzdušňuje (Vymazal, 2011a, 2016).

2.8.3.3 Denitrifikace

Denitrifikace je proces, při kterém dochází k přeměně dusitanů a dusičnanů na dusík (N_2) či plynné oxidy dusíku a ve výsledku vede ke snížení koncentrace dusíku v povrchových vodách. Probíhá za anaerobních podmínek a za přítomnosti denitrifikačních bakterií. V letních měsících také omezuje vznik vodního květu. V případě deficitu uhlíku může dojít k jejímu zpomalení (Rizzo et al., 2023). Denitrifikaci lze vyjádřit následující rovnicí:



kde: NO_3^- – dusičnany, NO_2^- – dusitany, NO – oxid dusnatý, N_2O – oxid dusný, N_2 – dusík.

Dochází k ní naopak především v KČOV s horizontálním průtokem, jelikož kvůli trvalému zatopení je přísun kyslíku omezený, čímž jsou zajištěny vhodné podmínky k denitrifikaci (Vymazal, 2011b, 2016).

2.8.4 Fosfor

Fosfor je důležitým prvkem pro normální fungování ekosystémů. Jeho přebytek společně s dusíkem ale může způsobovat eutrofizaci (Schindler, 1977). Do přírodního prostředí se dostává zejména prostřednictvím jeho používání v zemědělství (hnojením) a z domovních odpadních vod (Bennett et al., 2001).

Fosfor se vyskytuje v organické i anorganické formě. Obvykle je obsažen především v pevných látkách. Je zadržován hlavně fyzikálně-chemickými procesy, mezi které patří sorpční procesy (adsorpce, absorpce, příjem rostlinami) a srážení s ionty vápníku, železa a hliníku. Při biologickém procesu dochází k hydrolýze, čímž se stává využitelným pro rostliny. Mikroorganismy přijímají fosfor rychle, ale po jejich odumření se fosfor uvolňuje zpět do prostředí (Vymazal, 2016). Vyšší účinnost odstraňování fosforu zajišťují filtrační materiály s vyšší sorpční schopností, jako je např. jíl, který dokáže odstranit až 95 % fosforu (Rizzo et al., 2023). V opačném případě je míra odstranění fosforu nízká. Stejně tak jde fosfor odstranit sklízením biomasy, avšak množství je ještě menší, než je tomu u dusíku, a to kolem 5 %. Vyjadřuje se v mg/l nebo kg/den (Vohla et al., 2011; Sojka, 2013; Vymazal, 2016).

Jednou z forem fosforu v mokřadech je volný orthofosforečnan, který je pravděpodobně jedinou formou, kterou přímo využívají řasy a makrofyty. Mezi anorganické sloučeniny fosforu patří např. polyfosfáty. Organicky vázaný fosfor je přítomen např. ve fosfolipidech, nukleových kyselinách, nukleoproteinech, fosforylovaných cukrech či kondenzovaných polyfosfátech (koenzymy, ATP, ADP). Mokřady poskytují vhodné prostředí pro vzájemnou přeměnu všech forem fosforu. Dochází k akreci rašeliny či půdy, srážení či rozpouštění, adsorpci či desorpci,

příjmu rostlinami či mikroorganismy, fragmentaci, vyluhování, mineralizaci či pohřbívání (Vymazal, 2007).

2.8.5 Rizikové prvky

Schopnost KČOV odstraňovat rizikové prvky je u jednotlivých prvků rozdílná. Mezi rizikové prvky se řadí např. těžké kovy. Těžké kovy jsou většinou zadržovány v kořenové části mokřadu a v substrátu. V nadzemních částech je spíše méně těžkých kovů, proto není sklizená biomasa považována za nebezpečný odpad a nevyžaduje zvláštní zacházení. V anaerobních i aerobních částech mokřadu dochází k vysrážení těžkých kovů a reakcí s jinými prvky vznikají další sloučeniny (např. siřníky). Některé oxidované formy prvků pak mohou být rozpuštěny či vyplaveny (Vymazal, 2016).

Jako dobrá technologie odstraňování těžkých kovů se ukázalo pěstování křídlatky japonské (*Reynoutria japonica*). Křídlatka japonská přijímá ionty těžkých kovů. Vázání těchto látek jí přispívá k růstu a vývoji kořenů a zároveň tím minimalizuje negativní dopady těchto látek. Tato metoda se tedy jeví jako velmi vhodná a účinná pro čištění odpadních vod v městech, kde je voda znečištěná průmyslovou výrobou. Tato rostlina je navíc účinná při léčbě bronchitidy, onemocnění jako bolest v krku, zánět dásní nebo kašel, kožních onemocnění či problémů s plícemi – má protizánětlivé účinky. V České republice je však její pěstování problematické, jelikož se jedná o invazní druh (Hota et al., 2023).

2.9 Výhody a nevýhody kořenových čistíren

Výhody KČOV:

- oproti běžným čistírnám odpadních vod jsou kořenové čistírny schopné čistit i vody s nízkou koncentrací organických látek,
- umí se dobře vyrovnávat s rozdílným množstvím a kvalitami odpadních vod – umí tedy čistit různé typy odpadních vod,
- umí pracovat přerušovaně (běžné čistírny nemohou),
- vyžadují minimální údržbu,
- horizontální kořenové čistírny nevyžadují elektrickou energii,
- mají menší náchylnost k poruchám,
- mají také estetickou funkci – v krajině velmi dobře zapadnou a na zahradách mohou plnit také okrasnou funkci.

Nevýhody KČOV:

- jsou náročnější na rozlohu (zejména horizontální čistírny),
- horizontální KČOV jsou méně účinné v odstraňování fosforu a amoniaku,
- mají horší předpoklady pro řízení čistícího procesu a pro analýzu v případě výskytu problémů (Vymazal, 2016).

3 Hexachlorcyklohexan (HCH)

3.1 Základní charakteristika

Hexachlorcyklohexan (HCH) je látka, která existuje v šesti izomerech, z nichž čtyři měly komerční význam: alfa (α)-HCH, beta (β)-HCH, gama (γ)-HCH a delta (δ)-HCH. Technický HCH se vyráběl se jako směs izomerů (především alfa, beta, gama, delta a epsilon) pro své insekticidní účinky (Kutz et al. 1991). Nejprozkoumanějším izomerem je γ -HCH zvaný lindan pro své nejsilnější insekticidní účinky (Srivastava et al., 2019). Izomery HCH jsou látky pevného skupenství bílé až nažloutlé barvy s typickým zatuchlým zápachem (Przybyla et al., 2023).

HCH patří do skupiny syntetických těžkých organických látek a do skupiny perzistentních organických polutantů (POP), což jsou látky, které jsou nebezpečné pro zdraví organismů a mají škodlivé účinky a negativní dopady na životní prostředí. Jsou extrémně toxické a v přírodním prostředí přetrvávají po dlouhou dobu kvůli své pomalé degradaci i v případě velmi nízké koncentrace. Mají také schopnost přemísťovat se z místa svého zdroje na velké vzdálenosti prostřednictvím vody či vzduchu. Jejich lipofilní povaha jim umožňuje bioakumulaci v tukových tkáních organismů (Srivastava et al., 2019). K odstranění jejich výroby, a používání, zneškodnění a bezpečnému nakládání slouží tzv. „Stockholmská úmluva“, což je seznam původně dvanácti látek POP (Stockholm Convention, 2019), který se průběžně rozšiřuje a na který patří i HCH. Zpravidla se jedná o pesticidy, průmyslové chemikálie a jejich vedlejší produkty (Srivastava et al., 2019).

HCH uvolněný do životního prostředí se může vypařovat do atmosféry nebo se dostávat do půdy a z ní se následně vyluhovat do podzemních vod. Lidé mohou být vystaveni malému množství HCH vdechováním kontaminovaného vzduchu, požitím kontaminované vody nebo kontaktem s kontaminovanou půdou. K největšímu kontaktu dochází farmaceutickou léčbou pomocí γ -HCH. Lidé, kteří pracovali v továrnách, které používaly nebo zpracovávaly γ -HCH, byli vystaveni zvýšené expozici, a dále lidé, kteří žijí v blízkosti kontaminovaných míst s HCH, jsou vystaveni zvýšené expozici (Przybyla et al., 2023).

3.2 Výroba

Výroba HCH (lindanu) začala po druhé světové válce ve 40. letech 20. století z důvodu jeho nízké ceny a velké pesticidní účinnosti (Grung et al., 2015; Ozcan, 2016).

Výroba technického HCH zahrnuje fotochlorace benzenu, čímž vzniká směs izomerů α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH, ϵ -HCH a inertních látek (chemicky neaktivní látky) (IARC,

1979). Žádný z izomerů HCH nebo technického HCH se již v současné době nevyrábí. V USA komerční výroba údajně skončila již v roce 1976 a od roku 2006 platí zákaz výroby na celém světě (Przybyla et al., 2023).

Lindan se vyráběl a byl dostupný v tekutých a emulgovatelných koncentrátech, rozpustných koncentrátech či kapalinách, smáčitelných prášcích, dále jako kapaliny připravené k použití, stlačené kapaliny a impregnované materiály, olejové báze a aerosolové spreje, rozprašovače a granule (EPA, 1985). Lindan se prodával samostatně nebo v kombinaci s fungicidy, hnojivy a dalšími insekticidy nebo prostředky na ochranu dřeva a jiných porostů (Morgan, 1982).

Odhaduje se, že od zahájení výroby lindanu je na skládkách celosvětově uloženo přibližně 4 až 7 milionů tun odpadu technického HCH. Odhad celkové spotřeby lindanu vyšel na 600 000 tun, z čehož 450 000 tun zahrnuje použití pro zemědělské účely a 150 000 tun pro hospodářská zvířata, lesnictví a lidské zdraví (Vijgen et al., 2006). Odhaduje se, že celosvětově může být životní prostředí stále kontaminované až 4,8 miliony tun zbytků HCH. HCH (a zejména lindan) se našel i v místech, kde se nikdy nepoužíval. Důvodem je schopnost transportu na velké vzdálenosti prostřednictvím vody nebo vzduchu (Srivastava et al., 2019). Mezi země s uloženými odpady HCH patří Rakousko, Brazílie, Čína, Česká republika, Francie, Německo, Maďarsko, Indie, Itálie, Japonsko, Makedonie, Nigérie, Polsko, Rumunsko, Slovensko, Jižní Afrika, Španělsko, Švýcarsko, Turecko, Nizozemsko, Velká Británie, USA a Rusko (Vijgen et al., 2011). V Sasku a ve městě Bitterfeld v Německu se stále nachází velké množství izomerů HCH v půdách a vodonosných vrstvách (Wycisk et al., 2013). V Indii byl v roce 1977 vydán celostátní zákaz používání HCH, přesto Indie vyrobila mezi lety 1995 až 2005 6 200 tun lindanu (Srivastava et al., 2019; Zhang et al., 2020).

3.3 Použití

Od 40. let 20. století se lindan (γ -HCH) začal používat v zemědělství po celém světě pro své insekticidní vlastnosti (Srivastava et al., 2019). Jeho používání v zemědělství začala v 70. letech omezovat americká Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) z důvodu obav z možných karcinogenních, vývojových, reprodukčních či jinak toxických účinků na lidské zdraví. Koncem roku 2006 byla výroba a používání přípravků obsahujících izomer γ -HCH zrušena (Przybyla et al., 2023).

V průběhu let byl lindan schválen k použití jako prostředku k ochraně dřeva před okusem zvěří, k ochraně ovocných a zeleninových plodin, k ošetřování semen, okrasných rostlin i hospodářských a domácích zvířat, apod. HCH sloužil jako surovina pro výrobu

trichlorbenzenu a dalších pesticidních přípravků a také jako přípravek do barev (Przybyla et al., 2023).

3.4 Toxicita

Mezi toxické účinky izomerů HCH patří zejména poruchy jater, neurologické (Grandjean, Landrigan, 2006), reprodukční (Khan et al., 2010) a vývojové poruchy, poruchy endokrinního (Diamanti-Kandarakis et al., 2009) a imunitního systému a rakovinu (Olivero-Verbel et al., 2011). Účinky jednotlivých izomerů se mohou mírně lišit, v zásadě ale všechny způsobují vyjmenované poruchy a onemocnění (Vijgen et al., 2022). Např. na účinky α -HCH jsou nejcitlivější játra. U izomeru β -HCH se u zvířat vyskytly také účinky na játra a dále i na nervovou soustavu. Izomer γ -HCH u zvířat vyvolává poruchy vývoje a dále má účinky na imunitní systém. Všechny tyto účinky u zvířat tvoří potenciální riziko pro člověka (Przybyla et al., 2023).

β -HCH je z izomerů nejodolnější, proto se v půdě udržuje i dlouho poté, kdy ostatní izomery byly již degradované. Přítomnost izomeru β -HCH byla zjištěna v mateřském mléce, v lidské krvi, zvířecích tkáních, půdě a sedimentech (Solomon a Weiss, 2002). Lindan se bioakumuluje v tukových tkáních lidského organismu a má mutagenní a karcinogenní povahu (Bhatt et al., 2007). Důsledky na zdraví se projevují jako akutní i chronické expozice. Akutní narušuje respirační funkce, chronická pak endokrinní, nervové (Gupta, 2004; Warren a Mahmoud, 1984), ledvinové, jaterní (Srinivasan et al., 1984) a reprodukční funkce (Pesce et al., 2008).

3.5 Degradace

Cesty používané pro sanaci HCH mohou mít fyzikální, chemický či biologický charakter a mohou se také vzájemně kombinovat (Nagpal a Paknikar, 2006). V poslední době se biodegradace stává stále zajímavějším řešením kvůli své šetrnosti pro životní prostředí a poměrně nízkým nákladům v porovnání s chemickými a fyzikálními úpravami (Srivastava et al., 2019).

Odstraňování izomerů HCH z půdy závisí na půdních podmínkách, koncentraci HCH a druhu přítomné vegetace (Vrchovecká et al., 2024). Řada různých mikroorganismů, jako jsou bakterie, houby, řasy či aktinomycety, má schopnost lindan degradovat, avšak úplné degradace lindanu a ostatních izomerů t-HCH je při bioremediaci (přeměna toxických a rizikových látek živými organismy či enzymy na netoxické a nerizikové) obtížné dosáhnout, jelikož dochází k tvorbě toxických meziproductů, jako je pentachlorcyklohexan, který je mnohem více toxický

než samotný HCH. Jejich lipofilní vlastnosti v kombinaci s chlorovanou povahou HCH omezuje přístup mikroorganismů (Srivastava et al., 2019). Proto je při degradaci lindanu důležité, aby došlo k odstranění šesti atomů chloru, jelikož stabilita vazby uhlíku a halogenu dělá sloučeninu perzistentní a toxickou (Nagata et al., 2007). Odstranění atomu chloru probíhá za anaerobních i aerobních podmínek (Phillips et al., 2005).

K degradaci HCH dochází ve rhizosféře prostřednictvím mikroorganismů a kořenových exudátů. Následně mohou být meziprodukty i nepozměněná sloučenina HCH absorbovány rostlinami. Příjem HCH rostlinami může být ovlivněn produkcí a složením exudátů. Ty mohou podporovat desorpci lipofilních polutantů (Rodríguez-Garrido et al., 2020). Dalším faktorem odstraňování HCH je kořenová struktura. Rostliny s hlubšími a vláknitými kořeny vytváří větší povrch pro uchycení mikroorganismů, které se podílí na degradaci a asimilaci kontaminantů (Prathna, 2021).

4 Technologie Wetland+

Technologie Wetland+ je využívána od září roku 2021 k čištění vody, která je kontaminována toxickou látkou HCH. Proces čištění kontaminované vody probíhá pomocí přírodních metod a ke svému fungování nevyžaduje žádnou energii ani použití jiných chemikálií. Při biologické degradaci HCH se uplatňují bakterie jako *Clostridium*, *Citrobacter*, *Desulfovibrio* a další, které se podílí na anaerobní degradaci. Naopak mezi aerobní bakterie patří např. rody *Bacillus*, *Escherichia*, *Pseudomonas* či *Streptomyces*. Ty rozkládají HCH na benzeny.

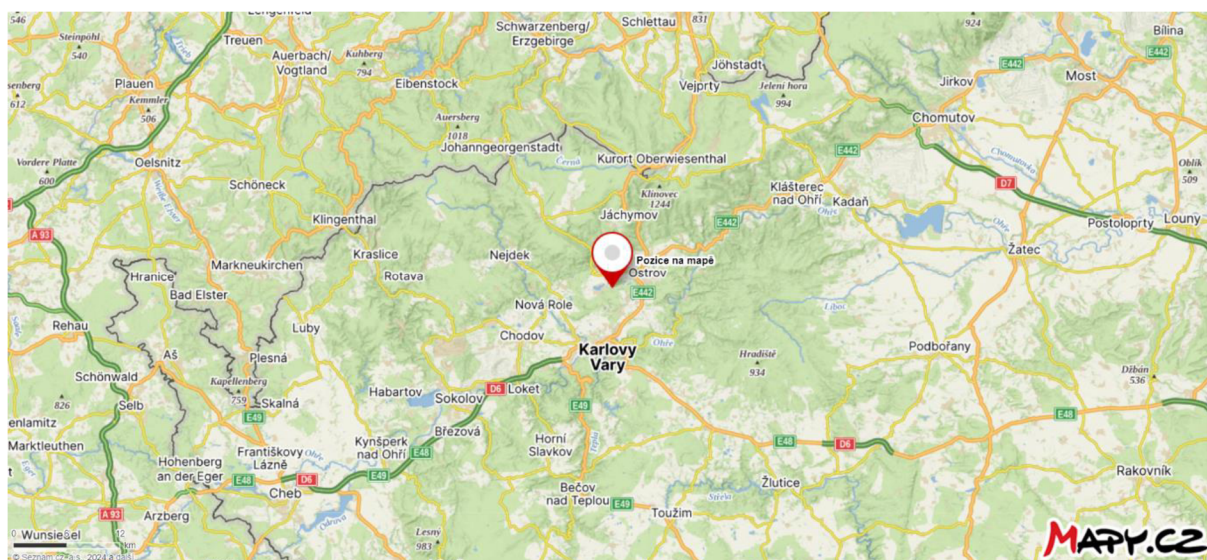
Účinnost technologie čištění je hodnocena podle míry odstranění kontaminantů. V případě HCH se průměrně pohybuje kolem 84 %. Odchytky účinnosti jsou způsobeny kolísáním průtoku, který se mění v závislosti na ročním období (na jaře více vody z roztátého sněhu, v létě málo vody z důvodu sucha). Také účinnost odstraňování jednotlivých izomerů není stejnorodá (jiná je na přítoku a jiná je na odtoku ze systému Wetland+).

Zlepšení kvality vody se projevuje zvýšenou biodiverzitou, např. počtem rozsivek (jednobuněčných řas), které se v systému monitorují a používají jako bioindikátory kvality vody (Černík et al, 2024).

5 Metodika botanického průzkumu

Botanický průzkum byl zaměřen na prozkoumání diverzity a stanovení hodnot pokryvnosti zastoupených druhů vegetace v mokřadu v Hájku, který se nachází v západní části České republiky ($50^{\circ}17'31,5''$ N $12^{\circ}53'35,2''$ E; obrázek 1). Mokřad byl navštíven celkem dvakrát – poprvé v červnu roku 2023 a podruhé v říjnu téhož roku. Návštěvě lokality předcházela domluva termínu návštěvy a prostudování poskytnutých materiálů od vedoucí bakalářské práce.

Mokřad, kde byl proveden botanický průzkum, je součástí technologie Wetland+ (Černík et al., 2024). V letech 1966 až 1968 zde bylo uloženo cca 3000 až 5000 tun balastních izomerů HCH a odpadů chlorbenzenu z chemické výroby lindanu (γ -HCH). Dlouhodobé průměrné koncentrace HCH, chlorbenzenu a chlorfenolu na výstupu z drenážního systému jsou $129 \mu\text{g/l}$, $640 \mu\text{g/l}$ a $16 \mu\text{g/l}$.



Obrázek 1: Lokalita mokřadu v Hájku (Mapy.cz, 2024)

Systém Wetland+ má tři sekce (obrázek 2). Kontaminovaná voda pochází z jednotlivých subhorizontálních vrtů výsypky Hájek a ústí do tří paralelních větví tvořící propustnou reaktivní bariéru tvořenou šesti jímkami naplněnými železnými šponami (modul B). Zde upravená voda ztrácí rozpuštěný kyslík a získává nízký redoxní potenciál (ORP) a mohou se zde rozkládat některé β - a ε -HCH izomery. Poté voda proudí do dvou paralelních kompartmentů – biosorpčních modulů (moduly C), kde byly vysazeny chrostice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) a rákos obecný (*Phragmites australis*). Zde se vysrážejí oxyhydroxidy železa, což má za následek tvorbu velkého množství sraženin železa. Celková plocha nádrží je 650 m^2 a doba zdržení vody je cca 10 hodin (při průtoku 3 l/s). Systém aerobních mokřadů (modul D)

je posledním krokem čištění. Mokřad se vyznačuje vysokou biodiverzitou rostlin, nejvíce zastoupenými mokřadními rostlinami jsou zblochan vzplývavý (*Glyceria fluitans*), sítina článkovaná (*Juncus articulatus*), sítina rozkladitá (*Juncus Effusus*), skřípina lesní (*Scirpus sylvaticus*), zevar vzpřímený (*Sparganium erectum*), orobinec úzkolistý (*Typha latifolia*) a makroskopická řasa parožnatka (*Chara* sp.). Aerobní mokřadní systém se skládá z jednoho oddělení o celkové ploše 2 669 m², hladina vody je cca 25 cm. Tento modul slouží k finálnímu odstranění organických látek a produktů rozkladu HCH, zejména chlorbenzenů. Doba zdržení vody v mokřadu je přibližně 65 hodin (při průtoku 3 l/s) (Černík et al., 2024).



Obrázek 2: Systém Wetland+ v Hájků, převzato z Amirbekov et al., 2023

K první návštěvě mokřadu došlo 22. června roku 2023. Kvůli velké vzdálenosti lokality bylo nutné vyjet brzy ráno. Po příjezdu na místo mě vedoucí práce provedla po zázemí celého systému a seznámila mě s jednotlivými částmi mokřadu. Poté jsme se přesunuly k modulu D, kde probíhal samotný botanický průzkum. Modul D je rozdělen na čtyři části – D1, D2, D3 a D4 (obrázek 2). Každou část bylo nutné rozdělit na několik transektů (obrázek 3). Počet transektů každé části modulu D se v jednotlivých částech lišil v závislosti na celkové velikosti plochy, kterou každá část zabírala, a na hustotě a bohatosti vegetace v daném prostoru. Počet transektů činil přibližně 8 až 12 v jednotlivých částech D1, D2, D3 a D4.



Obrázek 3: Vymezený transekt červenou pásku v části D1

Následně jsem začala se stanovováním hodnot pokryvnosti jednotlivých druhů ve vymezeném transektu. Do tabulky, ve které byly zaznamenány druhy vegetace vyskytující se v dané části modulu D, jsem zaznamenávala hodnoty odhadů pokryvnosti jednotlivých druhů. Obdobným způsobem jsem pokračovala až do konce části D1 a následně i u ostatních částí modulu D. V případě objevení nového druhu vegetace, který se v předešlých částech či roce v mokřadu nevyskytoval, jsem druh zaznamenala do tabulky a dále s ním pracovala jako s ostatními druhy. Důležité je podotknout, že kvůli horší determinaci u nekvetoucích jedinců orobince (*Typha*) jsem jedince dále nerozlišovala na orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia*) (obrázek 4) a širokolistý (*Typha latifolia*) (obrázek 5), ale zaznamenávala jsem všechny jedince do rodu orobinec (*Typha* spp.).



Obrázek 4: Orobinec úzkolistý



Obrázek 5: Orobinec širokolistý

Na závěr, po zaznamenání všech odhadů, jsem pořídila fotografie druhů vegetace a celého mokřadu, které slouží jako obrazová příloha této práce a také k porovnání se stavem vegetace při následující návštěvě v říjnu.

V dalším kroku bylo potřeba získat průměrné hodnoty odhadů pokryvnosti pro všechny druhy v každé části. U každého druhu jsem sečetla všechny odhadnuté hodnoty a vydělila je počtem transektů v dané části modulu D. Získané hodnoty jsem pro přehlednost a snazší práci zaokrouhlila na celá čísla a hodnoty menší než 1 % jsem v tabulkách označila znaménkem „+“. Zprůměrovaná a upravená data byla dále zaznamenána do elektronické podoby. Následně jsem pro přehlednost vytvořila procentuální stupnici, která znázorňuje početní zastoupení druhů v daném procentuálním rozmezí. Jako poslední jsem zprůměrovala hodnoty pokryvnosti veškerých dominantních druhů, které byly označeny jako dominantní alespoň v jedné části modulu D a alespoň v jednom pozorovaném roce, a získala tak průměrné hodnoty jejich pokryvnosti v celém modulu D v letech 2022 a 2023. Průměrné hodnoty byly zaokrouhleny na jedno desetinné místo, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků. Veškerá získaná data byla zaznamenána do tabulek.

Následně jsem data získaná v červnu roku 2023 porovnávala s daty z léta roku 2022, která byla převzata od vedoucí práce. Byly hodnoceny a porovnávány části D1, D2, D3 a D4 mezi sebou, tedy k jakým rozdílům hodnot pokryvnosti jednotlivých druhů docházelo mezi jednotlivými částmi (zvyšování či snižování, neměnné hodnoty), celkový vývoj pokryvnosti

každého druhu, určování dominantních druhů a druhů, které se v mokřadu objevily a které naopak ustoupily, a nakonec hodnocení a porovnání celkových rozdílů v pokryvnosti dominantních druhů mezi lety 2022 a 2023.

Na podzim koncem října 2023 jsme lokalitu navštívily podruhé. Účelem této návštěvy bylo především pořízení fotografií, které byly využity ke znázornění sezónních rozdílů.

6 Výsledky

V srpnu roku 2021 bylo vysázeno 31 druhů mokřadních rostlin, které pocházely z přilehlých mokřadů Ostrovských rybníků, botanické zahrady Dalovice a některé sazenice poskytla DEKONTA, a.s.: puškvorec obecný, žabník jitrocelový, olše lepkavá, psárka plavá, šmel okoličnatý, d'áblík bahenní (*Calla palustris*), ostřice štíhlá, ostřice měchýřkatá, bahnička mokřadní, zblochan vzplývavý, prustka obecná, voďanka žabí, kosatec žlutý, sítina článkovaná, sítina rozkladitá, vrbina obecná (*Lysimachia vulgaris*), kyprej vrbice, vachta trojlistá, pomněnka bahenní (*Myosotis palustris*), stulík žlutý, halucha vodní, pryskyřník velký, vrba, skřipina lesní, skřipinec jezerní, zevar vzpřímený, závitka mnohokořenná (*Spirodela polyrhiza*), orobinec úzkolistý, orobinec širokolistý a bublinatka.

V mokřadu v Hájku se vyskytuje velké množství druhů typicky mokřadní, ale i suchozemské vegetace. V roce 2022 bylo zaznamenáno 39 druhů a v roce 2023 bylo zaznamenáno 53 druhů (tabulka 1):

Tabulka 1: Seznam vyskytujících se druhů vegetace v mokřadu v letech 2022 a 2023

Rok 2022	Rok 2023
<i>Acorus calamus</i> – puškvorec obecný	<i>Acorus calamus</i> – puškvorec obecný
<i>Alisma plantago-aquatica</i> – žabník jitrocelový	<i>Alisma plantago-aquatica</i> – žabník jitrocelový
<i>Alnus glutinosa</i> – olše lepkavá	<i>Alnus glutinosa</i> – olše lepkavá
<i>Alopecurus aequalis</i> – psárka plavá	<i>Alopecurus aequalis</i> – psárka plavá
<i>Bidens frondosa</i> – dvouzubec černoplodý	<i>Bidens frondosa</i> – dvouzubec černoplodý
<i>Butomus umbellatus</i> – šmel okoličnatý	<i>Butomus umbellatus</i> – šmel okoličnatý
–	<i>Calamagrotis epigejos</i> – třtina křovištní
<i>Callitriche palustris</i> – hvězdoš jarní	<i>Callitriche palustris</i> – hvězdoš jarní
<i>Carex acuta</i> – ostřice štíhlá	<i>Carex acuta</i> – ostřice štíhlá
<i>Carex vesicaria</i> – ostřice měchýřkatá	<i>Carex vesicaria</i> – ostřice měchýřkatá
<i>Chara</i> sp. – parožnatka	<i>Chara</i> sp. – parožnatka
<i>Comarum palustre</i> – zábělník bahenní	<i>Comarum palustre</i> – zábělník bahenní
<i>Eleocharis palustris</i> – bahnička mokřadní	<i>Eleocharis palustris</i> – bahnička mokřadní
–	<i>Epilobium hirsutum</i> – vrbovka chlupatá
–	<i>Equisetum palustre</i> – přeslička bahenní
<i>Glyceria fluitans</i> – zblochan vzplývavý	<i>Glyceria fluitans</i> – zblochan vzplývavý
<i>Hippuris vulgaris</i> – prustka obecná	<i>Hippuris vulgaris</i> – prustka obecná
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> – voďanka žabí	–
<i>Iris pseudacorus</i> – kosatec žlutý	<i>Iris pseudacorus</i> – kosatec žlutý
<i>Juncus articulatus</i> – sítina článkovaná	<i>Juncus articulatus</i> – sítina článkovaná
–	<i>Juncus conglomeratus</i> – sítina klubkatá

<i>Juncus effusus</i> – sítina rozkladitá	<i>Juncus effusus</i> – sítina rozkladitá
–	<i>Lactusa serriola</i> – locika kompasová
<i>Lemna</i> sp. – okřehek	<i>Lemna</i> sp. – okřehek
–	<i>Lolium</i> sp. – jílek
–	<i>Lotus corniculatus</i> – štírovník růžkatý
–	<i>Lupinus polyphyllus</i> – lupina mnoholistá
–	<i>Lycopus europaeus</i> – karbinec evropský
<i>Lythrum salicaria</i> – kyprej vrbice	<i>Lythrum salicaria</i> – kyprej vrbice
<i>Mentha arvensis</i> – máta rolní	<i>Mentha arvensis</i> – máta rolní
<i>Menyanthes trifoliata</i> – vachta trojlistá	<i>Menyanthes trifoliata</i> – vachta trojlistá
–	<i>Myosotis</i> sp. – pomněnka
<i>Nuphar lutea</i> – stulík žlutý	<i>Nuphar lutea</i> – stulík žlutý
<i>Oenanthe aquatica</i> – halucha vodní	<i>Oenanthe aquatica</i> – halucha vodní
<i>Phragmites australis</i> – rákos obecný	<i>Phragmites australis</i> – rákos obecný
–	<i>Poa chaixii</i> – lipnice široolistá
–	<i>Poa</i> sp. – lipnice
<i>Potamogeton natans</i> – rdest vzplývavý	<i>Potamogeton natans</i> – rdest vzplývavý
<i>Ranunculus lingua</i> – pryskyřník velký	<i>Ranunculus lingua</i> – pryskyřník velký
–	<i>Ranunculus repens</i> – pryskyřník plazivý
<i>Ranunculus sceleratus</i> – pryskyřník lýtý	<i>Ranunculus sceleratus</i> – pryskyřník lýtý
–	<i>Rumex</i> sp. – šťovík
<i>Salix</i> sp. – vrba	<i>Salix</i> sp. – vrba
<i>Schoenoplectus lacustris</i> – skřipinec jezerní	<i>Schoenoplectus lacustris</i> – skřipinec jezerní
<i>Scirpus sylvaticus</i> – skřipina lesní	<i>Scirpus sylvaticus</i> – skřipina lesní
<i>Sparganium erectum</i> – zevar vzpřímený	<i>Sparganium erectum</i> – zevar vzpřímený
–	<i>Trifolium hybridum</i> – jetel zvrhlý
–	<i>Trifolium repens</i> – jetel plazivý
–	<i>Tussiago farfara</i> – podběl lékařský
<i>Typha angustifolia</i> – orobinec úzkolistý	<i>Typha angustifolia</i> – orobinec úzkolistý
<i>Typha latifolia</i> – orobinec širokolistý	<i>Typha latifolia</i> – orobinec širokolistý
<i>Utricularia</i> sp. – bublinatka	<i>Utricularia</i> sp. – bublinatka
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> – rozrazil drchničkovitý	–
<i>Veronica anagalloides</i> – rozrazil bažinný	<i>Veronica anagalloides</i> – rozrazil bažinný
<i>Veronica beccabunga</i> – rozrazil potoční	<i>Veronica beccabunga</i> – rozrazil potoční
<i>Veronica scutellata</i> – rozrazil štítkovitý	–

V roce 2023 se vyskytlo 17 nových druhů a zmizely 3 druhy, které se vyskytovaly se v roce 2022 (tabulka 1).

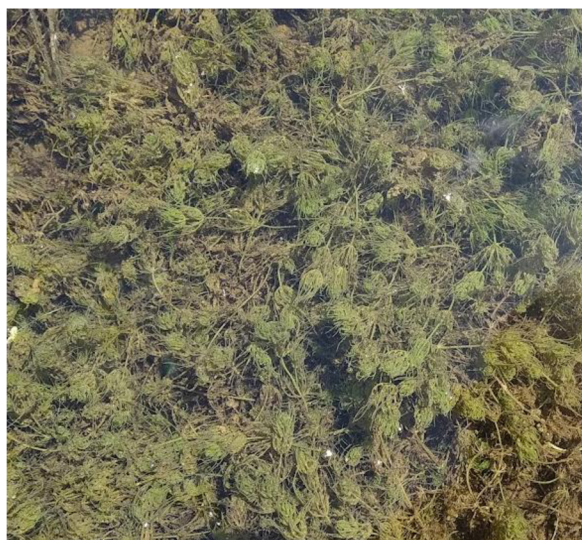
V tabulce 2 jsou zaznamenány hodnoty pokryvnosti zastoupených druhů vegetace v letech 2022 a 2023 a v jednotlivých částech modulu D:

Tabulka 2: Hodnoty pokryvnosti druhů vegetace v mokřadu (%); + = <1 %, dominantní druhy jsou vyznačené tučně

Druh	Pokryvnost (%)							
	2022				2023			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
<i>Acorus calamus</i> – puškvorec obecný	+		+		+	+	1	
<i>Alisma plantago-aquatica</i> – žabník jitrocelový	+	1	2	4	+	+	3	6
<i>Alnus glutinosa</i> – olše lepkavá	+				2			2
<i>Alopecurus aequalis</i> – psárka plavá	3	4	2	4	3	2	2	2
<i>Bidens frondosa</i> – dvouzubec černoplodý		+				+		
<i>Butomus umbellatus</i> – šmel okolíčnatý		+	+	+		+	+	+
<i>Calamagrotis epigejos</i> – třtina křovištní					+			
<i>Callitriche palustris</i> – hvězdoš jarní	+	1	+	1	2	2	+	+
<i>Carex acuta</i> – ostřice štíhlá		+	+	+		1	1	3
<i>Carex vesicaria</i> – ostřice měchýřkatá		+	+	+		+		+
<i>Chara</i> sp. – parožnatka	97	97	97	97	95	95	97	86
<i>Comarum palustre</i> – zábělník bahenní	+	+	+	+		+	+	2
<i>Eleocharis palustris</i> – bahnička mokřadní				1	+	+	4	4
<i>Epilobium hirsutum</i> – vrbovka chlupatá					+	+		+
<i>Equisetum palustre</i> – přeslička bahenní					+			
<i>Glyceria fluitans</i> – zblochan vzplývavý	5	4	7	7	10	5	8	18
<i>Hippuris vulgaris</i> – prustka obecná				1				3
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> – voďanka žabí				+				
<i>Iris pseudacorus</i> – kosatec žlutý	+	+	2	+	1	+	3	+
<i>Juncus articulatus</i> – sítina článkovaná	3	5	11	5	17	30	22	13
<i>Juncus conglomeratus</i> – sítina klubkatá					+	+		3
<i>Juncus effusus</i> – sítina rozkladitá	+	4	3	3	1	6	22	15
<i>Lactusa serriola</i> – locika kompasová					+			
<i>Lemna</i> sp. – okřehek			+	+			+	1
<i>Lolium</i> sp. – jílek					+			
<i>Lotus corniculatus</i> – štírovník růžkatý						+		
<i>Lupinus polyphyllus</i> – lupina mnoholistá						+		
<i>Lycopus europaeus</i> – karbinec evropský								1
<i>Lythrum salicaria</i> – kyprej vrbice	+	+	+	3	2	+	1	4
<i>Mentha arvensis</i> – máta rolní				+				+
<i>Menyanthes trifoliata</i> – vachta trojlistá		2	1	3		1	2	5
<i>Myosotis</i> sp. – pomněnka						+	+	
<i>Nuphar lutea</i> – stulík žlutý				+				+
<i>Oenanthe aquatica</i> – halucha vodní	+	3	3	4		+	4	7
<i>Phragmites australis</i> – rákos obecný	+			+				+
<i>Poa chaixii</i> – lipnice širolistá					+			
<i>Poa</i> sp. – lipnice					+			

<i>Potamogeton natans</i> – rdest vzplývavý	+	+	+	+	+	+	2	1
<i>Ranunculus lingua</i> – pryskyřník velký			+	2				17
<i>Ranunculus repens</i> – pryskyřník plazivý					+	+		
<i>Ranunculus sceleratus</i> – pryskyřník lýtý	+				+	+		
<i>Rumex</i> sp. – šťovík					+	+		
<i>Salix</i> sp. – vrba	+				+			+
<i>Schoenoplectus lacustris</i> – skřípinec jezerní	+	+	3	1	+	+	6	2
<i>Scirpus sylvaticus</i> – skřípina lesní	3	2	1	1	8	4	2	2
<i>Sparganium erectum</i> – zevar vzpřímený	+	6	7	14		9	20	35
<i>Trifolium hybridum</i> – jetel zvrhlý					+	+		
<i>Trifolium repens</i> – jetel plazivý					+			
<i>Tussilago farfara</i> – podběl lékařský					+			
<i>Typha</i> spp. – orobinec	4	7	6	6	16	10	11	16
<i>Utricularia</i> sp. – bublinatka				+			2	2
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> – rozrazil drchničkovitý				+				
<i>Veronica anagalloides</i> – rozrazil bažinný			+	+				1
<i>Veronica beccabunga</i> – rozrazil potoční	+	+	+		1			
<i>Veronica scutellata</i> – rozrazil štítkovitý				1				

Druhem s nejvyšší pokryvností pro oba roky je parožnatka a její pokryvnost se v mokřadu téměř nemění (tabulka 2, obrázek 6). Dalšími druhy s nejvyšší pokryvností pro oba roky jsou zblochan vzplývavý, sítina článkovaná, zevar vzpřímený a orobinec (obrázek 4 a 5). V roce 2023 se rozšířily ještě tyto druhy: sítina rozkladitá, pryskyřník velký a skřípina lesní.



Obrázek 6: Parožnatka

V tabulce 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty pokryvnosti všech dominantních druhů v celém modulu D, které byly označeny alespoň v jedné části a alespoň v jednom pozorovaném

roce jako dominantní. Pro zachování větší přesnosti byly hodnoty zaokrouhleny na jedno desetinné místo:

Tabulka 3: Průměrné hodnoty všech dominantních druhů za celý modul D v letech 2022 a 2023

Druh	Průměrná hodnota pokryvnosti (%)	
	2022	2023
<i>Alopecurus aequalis</i> – psárka plavá	3,3	2,3
<i>Glyceria fluitans</i> – zblochan vzplývavý	5,8	10,3
<i>Juncus articulatus</i> – sítina článkovaná	6	20,5
<i>Juncus effusus</i> – sítina rozkladitá	2,7	11
<i>Ranunculus lingua</i> – pryskyřník velký	0,5	4,3
<i>Schoenoplectus lacustris</i> – skřípinec jezerní	1,3	2,3
<i>Scirpus sylvaticus</i> – skřípina lesní	1,8	4
<i>Sparganium erectum</i> – zepar vzpřímený	6,8	16
<i>Typha</i> spp. – orobinec	5,8	13,3

Byla vytvořena procentuální stupnice pro znázornění početnosti druhů v daném procentuálním rozmezí. V tabulce 4 je zaznamenán počet druhů v každé kategorii:

Tabulka 4: Procentuální stupnice (%) a početní zastoupení druhů; + = <1 %

	Pokryvnost (%)													
	2022							2023						
	+	1– 2,99	3– 9,99	10– 19,99	20– 39,99	40–80	>80	+	1– 2,99	3– 9,99	10– 19,99	20– 39,99	40–80	>80
Počet druhů	26	6	5	0	0	0	1	32	12	2	4	1	0	1

Počet druhů v jednotlivých kategoriích se v obou letech mění. V obou letech je největší množství druhů s pokryvností menší než 1 % (značeno „+“), v roce 2022 jich bylo 26 a v roce 2023 jich bylo 30. Konkrétní druhy jsou uvedeny výše v tabulce 2. Kategorie s vyšším procentuálním zastoupením jednotlivých druhů jsou druhově postupně chudší. V roce 2023 se ve většině kategorií vyskytuje více druhů oproti předešlému roku. Zprvce se v roce 2023 vyskytovalo v celém modulu D větší množství druhů (tabulka 1 a 2), zadruhé byla vegetace obecně oproti roku 2022 bohatší. Samostatnou kategorií v roce 2022 tvoří parožnatka (obrázek 6), v roce 2023 tvoří druhou samostatnou kategorií sítina článkovaná (tabulka 3, obrázek 7).



Obrázek 7: Sítina článkovaná

V obou letech jsou hodnoty pokryvnosti u většiny druhů poměrně proměnlivé (tabulka 2). U většiny druhů dochází oproti roku 2022 ke zvýšení pokryvnosti v roce 2023 a díky mnoha novým druhům je rok 2023 výrazně bohatší na diverzitu. I přesto 3 druhy v roce 2023 zmizely: vod'anka žabí, rozrazil drchničkovitý a rozrazil šitkovitý (tabulka 1 a 2). U ostatních druhů se pokryvnost výrazně nemění, a tak jejich zařazení do kategorie zůstává stejné (tabulka 3). U dominantních druhů psárka plavá, zblochan vzplývavý, sítina článkovaná (obrázek 7), sítina rozkladitá, pryskyřník velký, skřipinec jezerní, zevar vzpřímený a orobinec dochází k proměnám v jednotlivých částech modulu D i mezi oběma roky, většina z nich však zůstává stejných. Dominantní druhy pro každý rok jsou v tabulce 2 vyznačeny tučně.

6.1 Pokryvnost v roce 2022

V roce 2022 se v mokřadu v Hájku v modulu D vyskytovalo celkem 37 druhů vegetace. Hodnoty pokryvnosti jednotlivých druhů jsou velmi proměnlivé. Nejrozšířenějším druhem je parožnatka, jejíž zastoupení je v celém modulu D konstantní a vysoké. Mezi dominantní druhy roku 2022 (mimo parožnatku) patří zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), zevar vzpřímený (obrázek 9) a orobinec (obrázek 4 a 5). V jednotlivých částech modulu D se dominantních druhů průběžně proměňují (tabulka 2).



Obrázek 8: Zblochan vzplývavý



Obrázek 9: Zevar vzpřímený

Obecně se pokryvnost všech druhů pohybuje v nízkých hodnotách. Největší množství zastoupených druhů je kategorie „+“ (tabulka 3), tedy s velmi ojedinělým výskytem. Konkrétní druhy jsou uvedeny v tabulce 2.

U některých druhů dochází směrem od přítokové části (na začátku D1) k odtokové části (na konci D4) k postupně se zvyšujícím nárůstům hodnot pokryvnosti. K takovému trendu dochází zejména u 3 druhů – žabník jitrocelový (obrázek 11), halucha vodní (obrázek 12) a zevar vzpřímený, který zaznamenal nejprudší nárůst hodnoty pokryvnosti. K opačnému jevu, tj. snižování hodnoty pokryvnosti, dochází pouze u skřípiny lesní (obrázek 10). K oběma jevům dochází i u druhů hodnoty pokryvnosti „+“ (tabulka 2). Jejich výskyt je ale tak ojedinělý, že je tento jev v podstatě zanedbatelný.



Obrázek 10: Skřípina lesní



Obrázek 11: Žabník jitrocelový



Obrázek 12: Halucha vodní

Druhy olše lepkavá a vrba byly vysazeny na začátku části D1. V roce 2022 se vyskytovaly pouze v části D1.

Vyskytují se také druhy, jejichž hodnota pokryvnosti byla v celém modulu D konstantní – zábělník bahenní a rdest vzplývavý. U většiny druhů je však častým jevem rozkolísanost hodnoty pokryvnosti, např. puškvorec obecný (obrázek 13), psárka plavá (obrázek 14), hvězdoš jarní atd. (tabulka 2). Na závěr můžeme vymezit i skupinu druhů, které se vyskytly až v průběhu modulu D, tj. nevyskytují se již od části D1. Těchto druhů je zastoupeno velmi mnoho (tabulka 2, pokryvnost D1 rovna hodnotě 0).

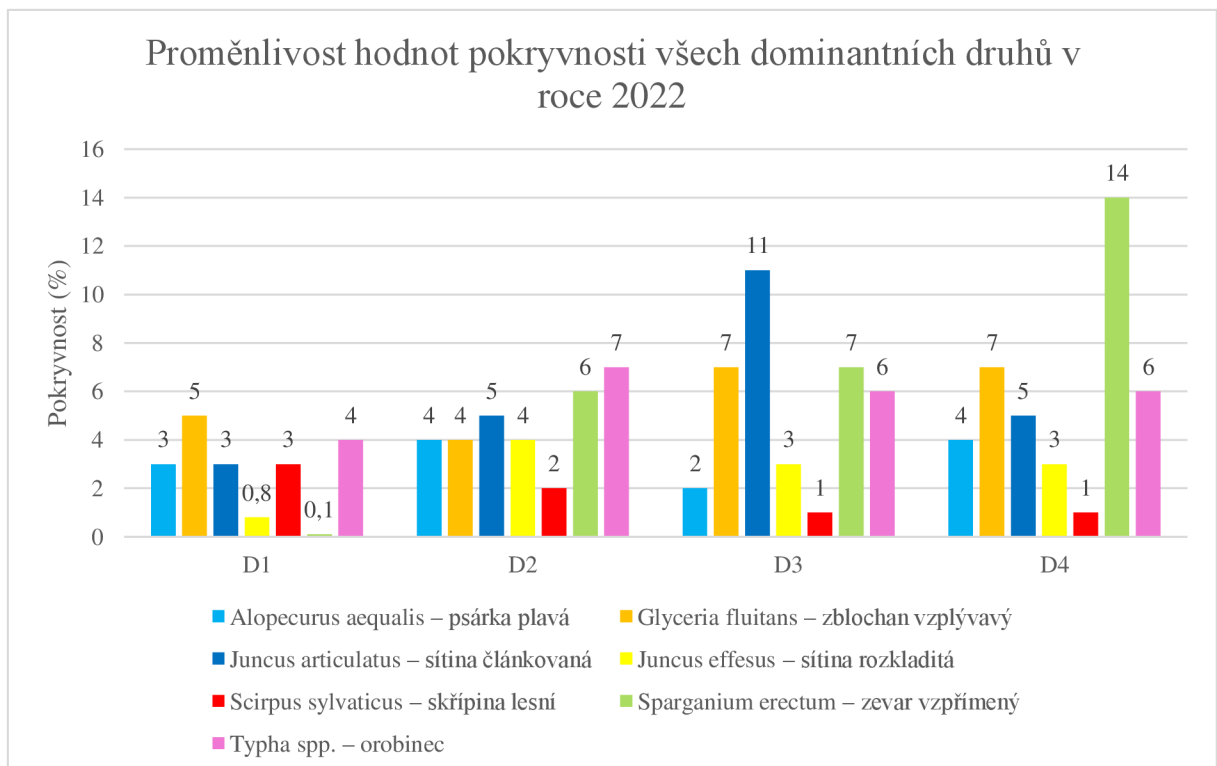


Obrázek 13: Puškvorec obecný



Obrázek 14: Psárka plavá

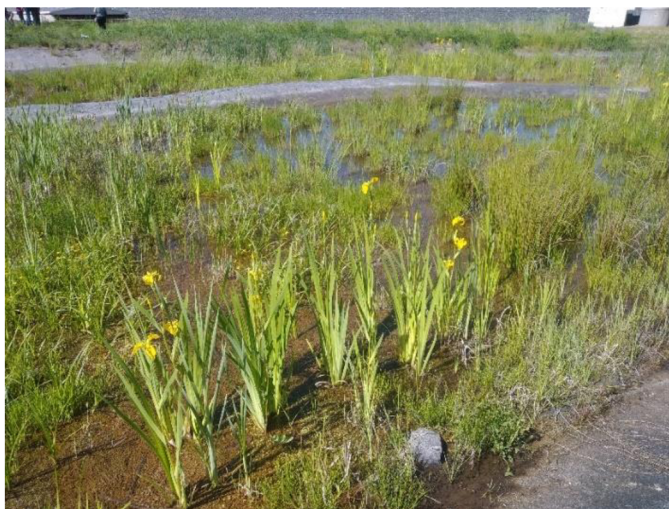
Graf 1 znázorňuje proměnlivost hodnot pokryvnosti všech druhů, které byly označeny jako dominantní alespoň v jedné části modulu D v roce 2022:



Graf 1: Proměnlivost hodnot pokryvnosti všech dominantních druhů v roce 2022

6.1.1 D1

V roce 2022 se zde vyskytovalo 22 druhů, z nichž velké množství druhů je zastoupeno velmi ojediněle (hodnota „+“). Jedná se např. o puškvorec obecný (obrázek 13), hvězdoš jarní nebo kosatec žlutý (obrázek 15) (tabulka 2).



Obrázek 15: Kosatec žlutý

Dominantními druhy části D1 jsou psárka plavá (obrázek 14), zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), skřípina lesní (obrázek 10) a orobinec (obrázek 4 a 5), nicméně hodnoty těchto dominantních druhů nejsou příliš vysoké. Největší zastoupení v části D1 měl zblochan vzplývavý (5 %) (graf 1).

6.1.2 D2

I v části D2 převažují druhy hodnoty pokryvnosti „+“. Přibývají nové druhy – dvouzubec černoplodý (obrázek 16), šmel okoličnatý (obrázek 17), ostřice štíhlá a ostřice měchýřkatá. Dochází také k ústupu 5 druhů, mezi kterými nalezneme i druhy olše lepkavá, pryskyřník lýtý a vrba, které se nadále v roce 2022 nevyskytují vůbec (tabulka 2).



Obrázek 16: Dvouzubec černoplodý



Obrázek 17: Šmel okoličnatý

U některých druhů došlo k nárůstu hodnoty pokryvnosti oproti části D1. K nejvýraznějšímu zvýšení pokryvnosti došlo u druhu zevar vzpřímený (obrázek 9), dále také u sítiny rozkladité (obrázek 18) a haluchy vodní (obrázek 12). Naopak u druhů zblochan vzplývavý a skřípina lesní došlo k mírnému poklesu hodnoty pokryvnosti, ale pouze o 1 % (tabulka 2).



Obrázek 18: Sítina rozkladitá

Některé dominantní druhy v části D2 jsou stejné jako v D1 – psárka plavá, zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7) a orobinec (obrázek 4 a 5). Přibývají však nové dominantní druhy, a to sítina rozkladitá (obrázek 18) a zevar vzpřímený, a naopak ustupuje

skřípina lesní (obrázek 10) z důvodu poklesu její pokrývnosti. U všech zmíněných druhů dochází k nárůstu hodnoty pokrývnosti, jen u druhu zblochan vzplývavý dochází k poklesu (graf 1). Za nejrozšířenější druhy v části D2 můžeme tedy označit zevar vzpřímený a orobinec (6 %) (tabulka 2).

6.1.3 D3

V porovnání s částí D2 dochází v části D3 jak k poklesům, tak k nárůstům hodnoty pokrývnosti druhů (tabulka 2), nejde však o extrémní hodnoty, obvykle pouze do 3 %. K nejvyššímu nárůstu hodnoty pokrývnosti došlo u sítiny článkované (obrázek 7). U dominantních druhů části D2 došlo ke zvýšení pokrývnosti u druhů zblochan vzpřímený, sítina článkovaná a zevar vzpřímený (obrázek 9). Naopak pokrývnosti ubylo u druhů psárka plavá (obrázek 14), sítina rozkladitá (obrázek 18) a orobinec (obrázek 4 a 5) (tabulka 2, graf 1).

Mezi dominantní druhy se v části D3 řadí celkem 4 druhy – zblochan vzplývavý, sítina článkovaná, zevar vzpřímený a s větším rozestupem také orobinec. Zastoupení dominantních druhů je tedy stejné jako v části D2, ale dochází také k ústupu některých dominantních druhů, a těmi jsou psárka plavá a sítina rozkladitá, u kterých se hodnota pokrývnosti snížila a pokrývají tak pouze 2 až 3 % plochy části D3. Až na orobinec u všech zmíněných dominantních druhů části D3 hodnota pokrývnosti stoupla. Jednoznačně největší zastoupení má sítina článkovaná (11 %) (tabulka 2, graf 1).

Mezi hojněji se vyskytující druhy tak v této části patří druhy s pokrývností hodnoty 2 až 3 %. I nadále však převažují druhy, jejichž zastoupení je velmi ojedinělé a jejich hodnota pokrývnosti nepřesahuje 1 % (tabulka 2).

V části D3 se objevují nové druhy – okřehek, pryskyřník velký (obrázek 19) a rozrazil bažinný. Naopak z mokřadu v roce 2022 mizí dvouzubec černoplodý (obrázek 16), který se vyskytoval pouze v části D2 (tabulka 2).



Obrázek 19: Pryskyřník velký

6.1.4 D4

V části D4 se objevilo poměrně velké množství nových druhů – bahnička mokřadní, prustka obecná (obrázek 20), vodňanka žabí (obrázek 21), máta rolní, stulík žlutý, bublinatka, rozrazil drchničkovitý a rozrazil štítkovitý, všechny v hodnotách do 1 %. Naopak ustupuje rozrazil potoční a znovu puškvorec obecný (obrázek 13). Znovu se objevil rákos obecný, který se předtím vyskytoval pouze v části D1 (tabulka 2).



Obrázek 20: Prustka obecná



Obrázek 21: Vodňanka žabí

Stále převažuje velké množství druhů hodnot pokryvnosti do 1 %, např. šmel okoličnatý (obrázek 17), ostřice štíhlá, hvězdoš jarní, okřehek apod. (tabulka 2). Hodnoty pokryvnosti druhů jsou v části D4 poměrně proměnlivé. Pokryvnost u poměrně velkého množství druhů zůstává konstantní, v některých případech ale dochází jak ke zvyšování, tak i ke snižování (tabulka 2).

Dominantní druhy části D4 jsou stejné jako v části D3 – zblochan vzplývavý (obrázek 8), síťina článkovaná (obrázek 7), zevar vzpřímený (obrázek 9) a orobinec (obrázek 4 a 5). Nejprudší nárůst zaznamenal opět zevar vzpřímený (až dvakrát vyšší, tabulka 2), což z něj dělá nejdominantnější druh části D4 a celého modulu D (14 %) (po parožnatce). Naopak k velkému poklesu pokryvnosti došlo u síťiny článkované, a to o více než polovinu. Svým zastoupením se ale stále řadí k dominantním druhům. Hodnota pokryvnosti zblochanu vzplývavého a orobince zůstává konstantní (graf 1). Za zmínku stojí i druhy žabník jitrocelový (obrázek 11), psárka plavá (obrázek 14) a halucha vodní (obrázek 12). Nejsou považovány za dominantní druhy, ale jejich pokryvnost převyšuje ostatní méně zastoupené druhy (tabulka 2).

6.2 Pokryvnost v roce 2023

V roce 2023 se počet druhů v mokřadu v modulu D zvýšil na 50 (tabulka 1). Hodnoty jsou stále velmi proměnlivé. Pokryvnost některých druhů má rostoucí trend, u jiných klesající. Nejrozšířenějším druhem je nadále parožnatka (obrázek 6) a její pokryvnost se tedy dále nehodnotí. Svou průměrnou hodnotou v celém modulu se mezi dominantní druhy v roce 2023 řadí zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), sítina rozkladitá (obrázek 18), pryskyřník velký (obrázek 19), zevar vzpřímený (obrázek 9) a orobinec (obrázek 4 a 5), v menší míře také skřípina lesní (obrázek 10). Druhy jsou vyznačeny tučně v tabulce 2. V jednotlivých částech modulu D dochází k jejich průběžnému obměňování, některé jsou však stálé.

Pokryvnost téměř všech druhů oproti roku 2022 vzrostla. K opačnému jevu (poklesu pokryvnosti) dochází především u druhů, které se do roku 2023 v mokřadu neudržely. Ty jsou celkem 3 – vodňanka žabí (obrázek 21), rozrazil drchničkovitý a rozrazil štítkovitý. Dalším případem, kdy pokryvnost poklesla, jsou některé druhy hodnoty pokryvnosti „+“ (tabulka 2). Tato hodnota je ale tak nízká, že tento jev lze zanedbat. Došlo ke zvýšení počtu druhů ve všech kategoriích tabulky 3 (kromě kategorie 3–9,99 %). Nejvyšší početní zastoupení druhů má stále kategorie „+“, a to především díky výskytu mnoha nových druhů.

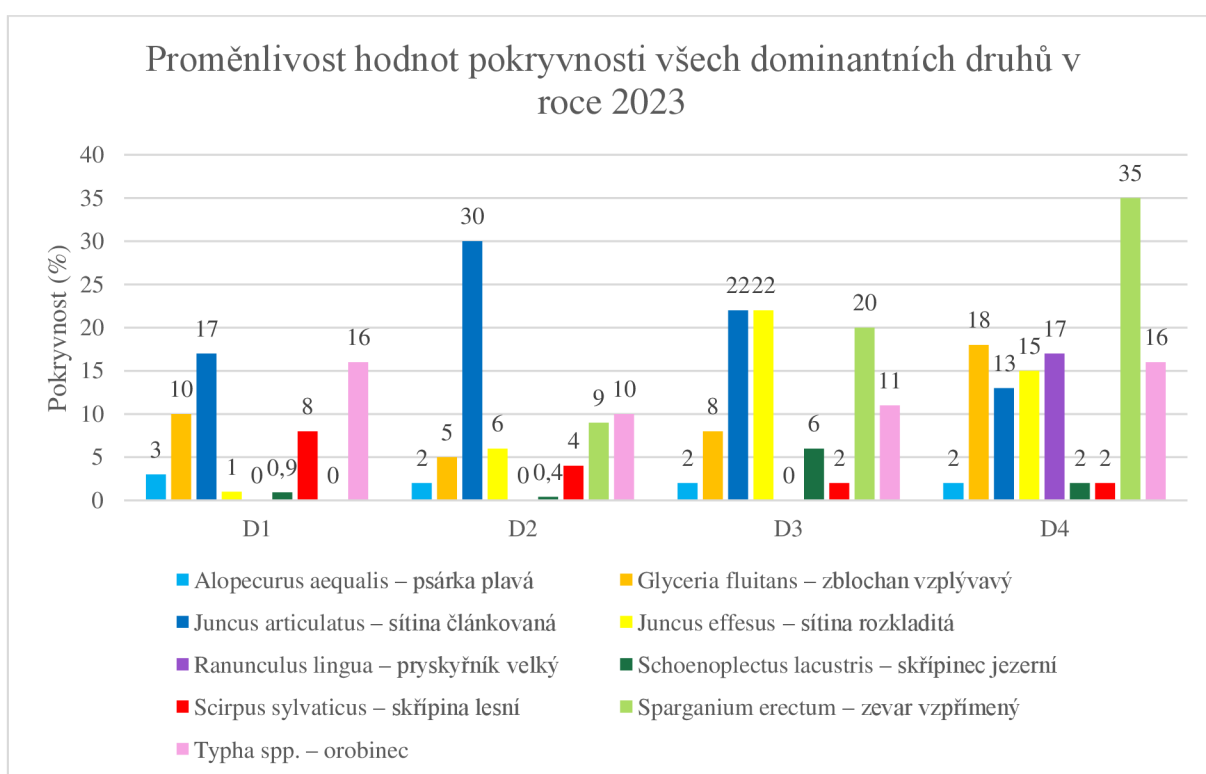
V roce 2023 se v modulu D vyskytlo 17 nových druhů, např. třtina křovištní, vrbovka chlupatá, přeslička bahenní, locika kompasová atd. (tabulka 1 a 2).

Stejně jako v roce 2022 dochází u některých druhů k postupnému nárůstu pokryvnosti (tj. od části D1 k části D4). K takovému jevu dochází opět u stejných druhů – žabník jitrocelový (obrázek 11), halucha vodní (obrázek 12) a zevar vzpřímený (obrázek 9) a dále také např. u vachty trojlisté (obrázek 22). Opačný případ zaznamenala opět skřípina lesní stejně jako v roce 2022, u níž je pokles v průběhu modulu D nejvýraznější, a dále také např. psárka plavá či hvězdoš jarní (tabulka 2). Také se vyskytuje velké množství druhů, které nemá v celém modulu D stálé zastoupení a jejich pokryvnost se často pohybuje v hodnotě 0 (tabulka 2).



Obrázek 22: Vachta trojlistá

Graf 2 znázorňuje proměnlivost hodnot pokryvnosti všech druhů, které byly označeny jako dominantní alespoň v jedné části modulu D v roce 2023:



Graf 2: Proměnlivost hodnot pokryvnosti všech dominantních druhů v roce 2023

6.2.1 D1

V roce 2023 se v modulu D objevilo celkem 13 nových druhů, např. sítina klubkatá, jílek, lipnice široolistá či šťovík atd. (tabulka 2).

Většina druhů má opět velmi ojedinělé zastoupení, tedy hodnoty pokryvnosti „+“ (tabulka 2). Naopak mezi dominantní druhy se mimo parožnatku řadí psárka plavá (obrázek 14), zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), skřípina lesní (obrázek 10) a orobinec (obrázek 4 a 5). Nejvyšší pokryvnost mají sítina článkovaná (17 %) a orobinec (16 %, tabulka 2, graf 2).

6.2.2 D2

I v části D2 se objevily 3 nové druhy – štírovník růžkatý, lupina mnoholistá a pomněnka. Naopak dochází k úplnému zániku několika druhů – třtina křovištní, přeslička bahenní, jílek, lipnice široolistá, lipnice, jetel plazivý, podběl lékařský a rozrazil potoční (tabulka 2). Dochází také k zániku olše lepkavé a vrby, které se dále vyskytly až v části D4.

V části D2 se objevují druhy, které se nevyskytovaly v části D1, např. ostřice štíhlá (obrázek 23), ostřice měchýřkatá (obrázek 24), zábělník bahenní (obrázek 25) apod. (tabulka 2), pozoruhodný je opět prudký nárůst pokryvnosti druhu zevar vzpřímený (obrázek 9).



Obrázek 23: Ostřice štíhlá



Obrázek 24: Ostřice měchýřkatá



Obrázek 25: Zábělník bahenní

K největšímu nárůstu pokryvnosti došlo u sítiny článkované (až o 13 %, obrázek 7). Naopak k největšímu úbytku pokryvnosti došlo u zblochanu vzplývavého, a dále např. u druhů kyprej vrbice (obrázek 26) či skřípiny lesní (tabulka 2, graf 2).



Obrázek 26: Kyprej vrbice

Mezi dominantní druhy části D2 se podobně jako v části D1 řadí zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), skřípina lesní (obrázek 10) a orobinec (obrázek 4

a 5). Nově přibývá také sítina rozkladitá (obrázek 18) a zevar vzpřímený (obrázek 9), na druhé straně ustupuje psárka plavá. Velmi dobře se začalo dařit sítině článkované, jejíž hodnota pokryvnosti se oproti části D1 téměř zdvojnásobila a stává se tak nejdominantnějším druhem části D2. Ostatní dominantní druhy se pohybují v hodnotách nižších minimálně o 20 % a u zbývajících dominantních druhů části D1 dochází k poklesu hodnoty pokryvnosti (graf 2).

6.2.3 D3

Hodnoty pokryvnosti většiny druhů se nadále zvyšují, nejvíce u druhů sítiny rozkladité (obrázek 18) a zevaru vzpřímeného (tabulka 2, graf 2). V roce 2023 se v části D3 opět objevuje okřehek, který byl v roce 2022 přítomný také až v části D3, a bublinatka (obrázek 27), která se v roce 2022 vyskytovala až v části D4. Snižuje se množství druhů řadících se do kategorie „+“ (tabulka 3), tedy pokryvnost většiny druhů přesahuje alespoň 1 %. Zároveň ustoupilo poměrně velké množství druhů (tabulka 2).



Obrázek 27: Bublinatka

V části D3 se nevyskytují pryskyřník plazivý, pryskyřník lýtý, šťovík a jetel zvrhlý, které vymizely z modulu D úplně. Dále se nevyskytují ostřice měchýřkatá (obrázek 24), vrbovka chlupatá a sítina klubkatá (tabulka 2).

Dominantními druhy části D3 jsou nadále zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), sítina rozkladitá, zevar vzpřímený (obrázek 9), orobinec a nově také skřipinec jezerní. Nejvyšší pokryvnost mají oba druhy sítiny (22 %, tabulka 2), přestože u sítiny článkované došlo k výraznému poklesu hodnoty pokryvnosti a u sítiny rozkladité naopak k velmi vysokému nárůstu. Dalším velmi rozšířeným druhem je zevar vzpřímený. Zbylé dominantní druhy mají výrazně nižší zastoupení, u zblochanu vzplývavého a skřipince jezerního však dochází k nárůstu hodnoty pokryvnosti oproti části D2 (tabulka 2, graf 2).

6.2.4 D4

I v části D4 v roce 2023 dochází u mnoha druhů k nárůstu hodnot pokryvnosti, zejména u těch, u kterých docházelo k nárůstu průběžně v celém modulu D. K poklesům hodnoty pokryvnosti dochází již jen ojediněle, zato i u dominantních druhů části D3, a to u sítiny článkované, sítiny rozkladité a skřípince jezerního (graf 2). Výrazný pokles nově zaznamenala i parožnatka (obrázek 6). Některé druhy, např. puškvorec obecný (obrázek 13) a pomněnka, ustupují a v části D4 se již nevyskytují vůbec (tabulka 2).

Novým druhem, který se doposud nevyskytoval v žádné z částí modulu D v roce 2022 ani 2023, je karbinec evropský. Druhy, které se v mokřadu vyskytovaly již v roce 2022, ale nyní se v roce 2023 objevují poprvé až v části D4, jsou např. prustka obecná (obrázek 20), máta rolní, rákos obecný či rozrazil bažinný atd. (tabulka 2).

Dominantní druhy zůstávají stále stejné – zblochan vzplývavý (obrázek 8), sítina článkovaná (obrázek 7), sítina rozkladitá, zevar vzpřímený (obrázek 9) a orobinec (obrázek 4 a 5). Ustoupil skřípince jezerní, který byl dominantní v části D3. Naopak novým dominantním druhem se stal pryskyřník velký (obrázek 19), jehož hodnota pokryvnosti byla v roce 2022 velmi nízká a v roce 2023 se dokonce doposud nevyskytoval. Jeho hodnota pokryvnosti však zaznamenala nejprudší nárůst. Nejdominantnějším druhem části D4 a celého modulu D je stejně jako v roce 2022 zevar vzpřímený (po parožnatce) jehož pokryvnost činí 35 % (tabulka 2). U všech dominantních druhů došlo k nárůstu hodnot pokryvnosti oproti části D3 až na oba druhy sítin, u kterých pokryvnost poklesla téměř o 10 % (tabulka 2, graf 2).

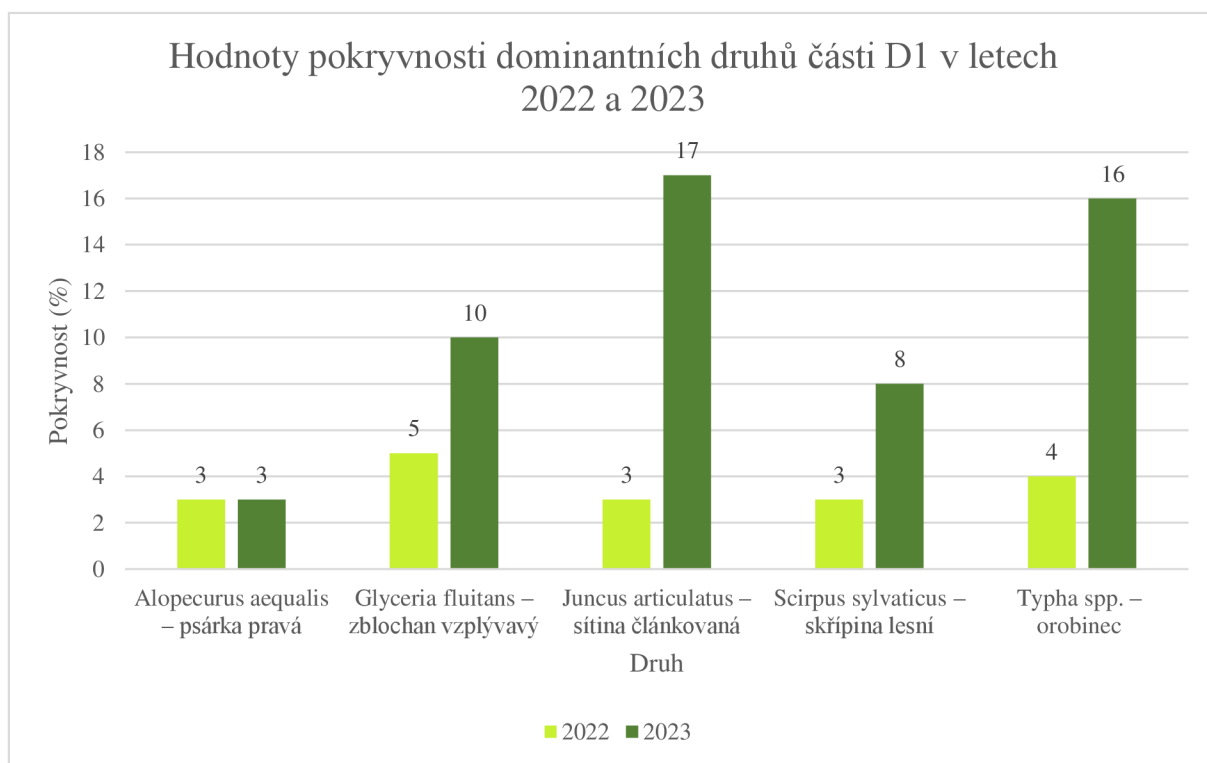
6.3 Porovnání let 2022 a 2023

6.3.1 D1

Pro část D1 je v letech 2022 i 2023 charakteristické zastoupení mnoha druhů, jejichž pokryvnost nepřesahuje 1 %, např. puškvorec obecný, žabník jitrocelový, kosatec žlutý atd. (tabulka 2). Největší změnou v roce 2023 oproti roku 2022 je výskyt mnoha nových druhů (tabulka 1 a 2). Došlo však také k ústupu některých druhů, které se v části D1 do roku 2023 neudržely – zábělník bahenní, halucha vodní, rákos obecný a zevar vzpřímený. Celkový počet druhů v roce 2022 byl 22 druhů, v roce 2023 to bylo 32 druhů.

U většiny druhů dochází v části D1 v roce 2023 ke zvyšování hodnoty pokryvnosti oproti roku 2022. K opačnému jevu dochází pouze u parožnatky, jejíž změna pokryvnosti je zanedbatelná z důvodu jejího velkého rozšíření.

Dominantní druhy části D1 se v letech 2022 a 2023 nemění a zůstávají pro oba roky stejné – psárka plavá, zblochan vzplývavý, sítina článkovaná, skřípina lesní a orobinec. V grafu 3 jsou porovnány hodnoty pokryvnosti dominantních druhů části D2 mezi lety 2022 a 2023:



Graf 3: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D1 mezi lety 2022 a 2023

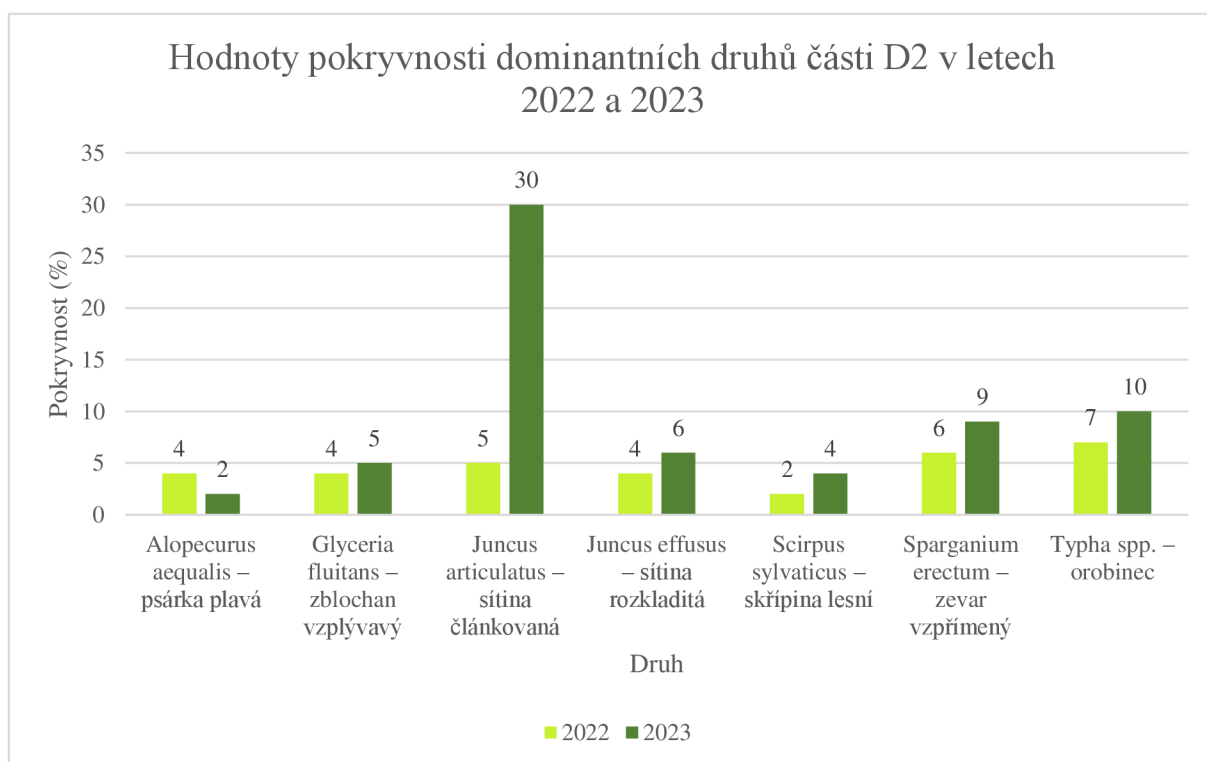
Je viditelný nárůst pokryvnosti u všech druhů kromě psárky plavé, u které se hodnota pokryvnosti nezměnila (graf 3).

6.3.2 D2

I v části D2 se v roce 2023 vyskytuje několik druhů, které se v roce 2022 nevyskytovaly – bahnička mokřadní, sítina klubkatá, lupina mnoholistá či pomněnka atd. (tabulka 2). V roce 2022 se vyskytovalo 22 druhů, v roce 2023 se vyskytovalo 32 druhů.

U několika druhů se hodnota pokryvnosti v roce 2023 zvýšila, zejména u sítiny článkované z 5 na 30 %. V porovnání s částí D1 dochází v části D2 u řady druhů k poklesu pokryvnosti v roce 2023. Nejedná se však o příliš rozdílné hodnoty, největší rozdíl zaznamenala halucha vodní (tabulka 2).

Většina dominantních druhů je v části D2 v obou letech stejná. V roce 2022 byla navíc dominantní také psárka plavá, v roce 2023 skřípina lesní. V grafu 4 jsou porovnány hodnoty pokryvnosti dominantních druhů části D2 mezi lety 2022 a 2023:



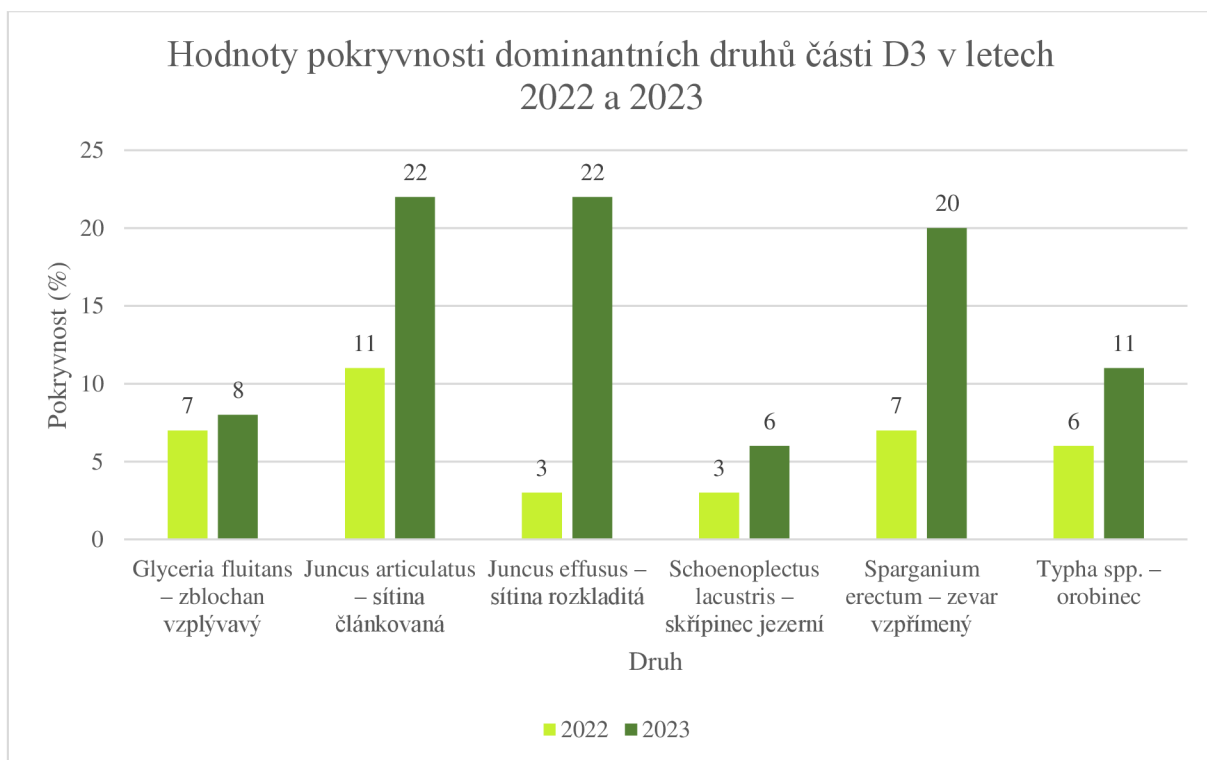
Graf 4: Porovnání hodnot pokryvnosti dominantních druhů části D2 mezi lety 2022 a 2023

U všech druhů dochází k nárůstu hodnoty pokryvnosti v roce 2023. Nejvýraznější rozdíl byl zaznamenán u sítiny článkované. Psárka plavá je jediným druhem, u kterého v roce 2023 došlo k poklesu pokryvnosti (graf 4).

6.3.3 D3

V části D3 je pokrývnost většiny druhů v roce 2023 vyšší než v roce 2022. K úbytku pokrývnosti u žádného druhu nedochází. Přesto se v roce 2023 nevyskytují některé druhy, které byly přítomny v roce 2022, např. ostřice měchýřkatá či rozrazil bažinný atd. (tabulka 2), a zároveň se vyskytly druhy, které naopak nebyly přítomné v roce 2022 – bahnička mokřadní, pomněnka a bublinatka. Celkový počet druhů v roce 2022 byl 25, v roce 2023 pouze 24 – část D3 je tedy jedinou, ve které byl rok 2022 druhově bohatší než rok 2023.

Dominantních druhů společných pro oba roky je v části D3 méně – zblochan vzplývavý, sítina článkovaná, zevar vzpřímený a orobinec. V roce 2023 přibýly navíc druhy sítina rozkladitá a skřípinec jezerní. Jejich změny v pokrývnosti mezi lety 2022 a 2023 jsou znázorněny v grafu 5. Největší rozdíl byl zaznamenán u sítiny článkované, naopak nejmenší u druhu zblochan vzplývavý.



Graf 5: Porovnání hodnot pokrývnosti dominantních druhů části D3 mezi lety 2022 a 2023

6.3.4 D4

V části D4 u většiny druhů dochází nadále k nárůstu pokryvnosti v roce 2023. K úbytku dochází pouze u 3 druhů, jedním z nich je parožnatka, jejíž hodnota pokryvnosti poklesla o 11 % (tabulka 2). Na rozdíl od roku 2022 se v roce 2023 vyskytuje např. olše lepkavá, sítina klubkatá či vrba atd. a také se nově vyskytl druh karbinec evropský (tabulka 2). Několik druhů se do roku 2023 neudrželo, např. vod'anka žabí (obrázek 21) či rozrazil štítkovitý apod. (tabulka 2). V roce 2022 se v části D4 vyskytovalo 32 druhů, v roce 2023 34 druhů.

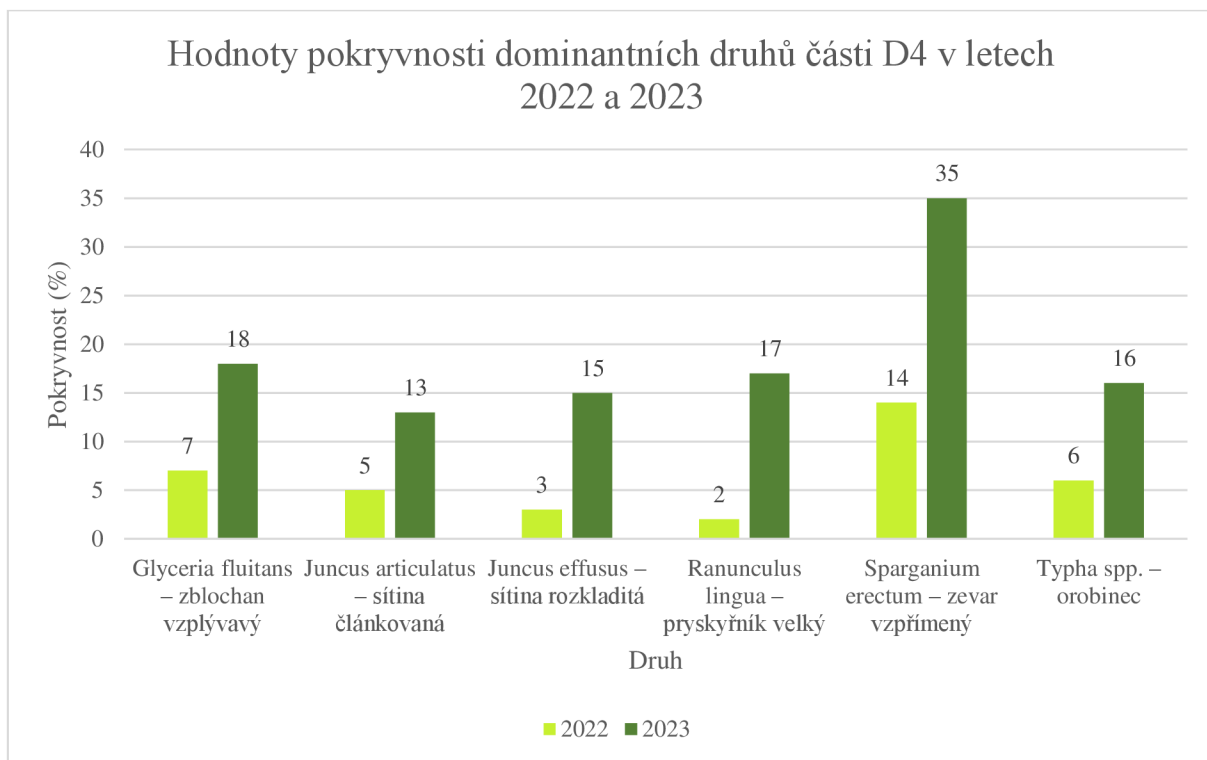


Obrázek 28: Olše lepkavá, vlevo u plotu



Obrázek 29: Vlevo dvouzubec černoplodý, uprostřed vrba, vpravo olše lepkavá

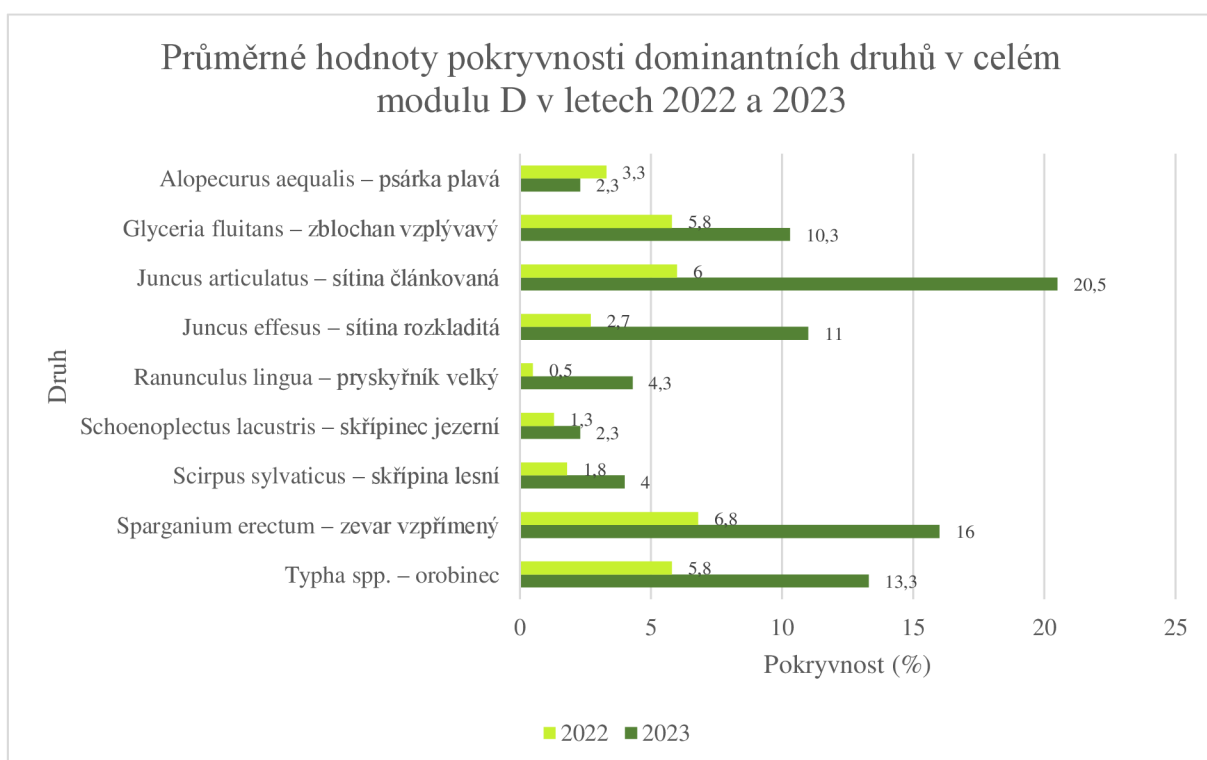
Dominantními druhy v letech 2022 a 2023 jsou opět zblochan vzplývavý, sítina článkovaná, zevar vzpřímený a orobinec. V roce 2023 přibyly druhy sítina rozkladitá a nově také pryskyřník velký, který v roce 2023 zaznamenal velký nárůst pokryvnosti (oproti roku 2022 až o 15 %, tabulka 2). V grafu 6 jsou znázorněny nárůsty hodnot pokryvnosti všech dominantních druhů části D4 v letech 2022 a 2023. Nejvýraznější nárůst tentokrát zaznamenal zevar vzpřímený (o více než 20 %, graf 6), kterému se v obou letech daří nejvíce v části D4.



Graf 6: Porovnání hodnot pokrývnosti dominantních druhů části D4 mezi lety 2022 a 2023

6.3.5 Zhodnocení nejdominantnějších druhů v celém modulu D za sledované roky 2022 a 2023

Graf 7 znázorňuje průměrné hodnoty pokryvnosti všech dominantních druhů v celém modulu D v obou letech, které byly alespoň jednou označeny jako dominantní. Uvedené hodnoty pokryvnosti vychází z tabulky 4. V roce 2022 je po parožnatce nejhojněji zastoupeným druhem zevar vzpřímený. V roce 2023 je po parožnatce nejrozšířenějším druhem sítna článkovaná.



Graf 7: Průměrné hodnoty pokryvnosti všech dominantní druhy modulu D v letech 2022 a 2023

6.4 Porovnání sezónních rozdílů ve stavu vegetace:

Ve stavu vegetace došlo mezi červnem a říjnem k výrazným změnám. V červnu se vyskytovalo velké množství rostoucí a kvetoucí vegetace a celková pokryvnost plochy mokřadu byla velmi bohatá (obrázek 30). Na podzim byl viditelný rozdíl v odkvetlé vegetaci. Rostliny už byly ve většině případů uschlé. Byl znatelný výrazný úbytek celkové pokryvnosti v mokřadu (obrázek 31).



Obrázek 30: Stav vegetace v mokřadu v červnu



Obrázek 31: Stav vegetace v mokřadu v říjnu

V létě bylo zaznamenáno menší množství jedinců orobince (obrázek 32). Na podzim bylo jeho rozšíření větší a po rozkvetu jeho jedinců bylo zaznamenáno více jedinců orobince širokolistého (obrázek 33).



Obrázek 32: Rozšíření jedinců orobince v červnu



Obrázek 33: Rozšíření jedinců orobince v říjnu

7 Navržení managementu umělého mokřadu

Potenciálně největší problematikou umělého mokřadu je rozšiřování náletových dřevin, které by mohly postupem času technologii narušit. Jedná se o druhy olše lepkavá a vrba, které by svými kořeny mohly protrhat geotextilii, kterou je plocha mokřadu pokrytá. Vyskytují se nejvíce v odtokové části mokřadu, která je nejbližší lesu, odkud se druhy do mokřadu dostávají. Proto by bylo vhodné lokalitu průběžně kontrolovat a tyto druhy dřevin vytrhávat, přestože je jejich výskyt v mokřadu zatím nepatrný.

V budoucnu by druhou možnou problematikou mohlo být rozšiřování expanzivních taxonů, jako je např. orobinec, rákos, sítiny a ostřice. Jedná se o dominantní druhy mokřadu, které svou pokryvností převyšují ostatní (mimo rákosu, který se zatím vyskytuje jen ve velice malé pokryvnosti). Možným opatřením by mohla být průběžná kontrola lokality a množství těchto druhů redukovat vytrháváním, a tím zamezit jejich expanzivnímu šíření a vytlačování ostatních druhů.

Také invazivní druhy by mohly potenciálně narušit druhovou diverzitu. Svým rychlým a prudkým rozrůstáním by mohly začít vytěsňovat jiné méně odolné druhy, a tím by mohlo dojít k postupnému snižování druhové diverzity. Na lokalitě jsou zatím přítomny jen dva invazní druhy, dvouzubec černoplodý a lupina mnoholistá. Rozšíření lupiny se kvůli její terestričnosti nepředpokládá. Možným opatřením by mohla být, stejně jako u expanzivně šířících se druhů, průběžná kontrola lokality a jejich cílená likvidace vytrháváním.

8 Diskuze

Botanický průzkum mokřadu se uskutečnil na lokalitě Wetland+ nacházející se v Hájku. Bylo porovnáváno druhové složení přítomných rostlin a jejich pokryvnost v jednotlivých částech mokřadu a v mokřadu celém pro dvě období – roky 2022 a 2023. Dále byla zhodnocena změna v druhovém složení, která proběhla od osázení mokřadu. V mokřadu se vyskytuje velké množství druhů mokřadní i suchozemské vegetace. Byla hodnocena druhová diverzita a pokryvnost jednotlivých druhů v modulu D a bylo zjištěno, že se obě charakteristiky v rámci jednotlivých druhů v letech 2022 a 2023 liší (tabulka 1 a 2).

V roce 2021 bylo v mokřadu v modulu D vysázeno 31 druhů rostlin. Většina druhů se do následujícího roku udržela a jejich pokryvnost v modulu D vzrostla. V tabulce 1 můžeme vidět, že zmizely druhy d'áblík bahenní, vrbina obecná, pomněnka bahenní a závitka mnohokořenná. Druhy olše lepkavá (obrázek 28) a vrba (obrázek 29) byly vysázeny na začátku a na konci modulu D. Později se semenáčky těchto druhů v mokřadu rozšířily především v části D4 (tabulka 2).

V okolí mokřadu se rozprostírá les a travnatá plocha, odkud se do mokřadu dostalo během sledovaného období mnoho druhů rostlin přirozenou sukcesí. Jedná se o tyto druhy: hvězdoš jarní, parožnatka, okřehek menší, máta rolní, rákos obecný, rdest vzplývavý, dvouzubec černoplodý a 4 druhy rozrazilu – r. drchničkovitý, r. bažinný, r. potoční a r. štítkovitý (tabulka 1). Pro zmíněné druhy mokřad pravděpodobně vytváří vhodné podmínky, a tak došlo k jejich uchycení. V tabulce 2 si ale lze povšimnout, že u většiny těchto druhů rozšíření není velké a pohybuje se do 1 %.

V roce 2023 se v mokřadu v modulu D vyskytovalo o 14 druhů více než v roce 2022 – v roce 2022 to bylo 38 druhů a v roce 2023 počet druhů vzrostl na 52 druhů. V roce 2023 se v modulu D objevilo 17 nových druhů, které se v roce 2022 nevyskytovaly, a těmi jsou třtina křovištní, vrbovka chlupatá, přeslička bahenní, sítina klubkatá, locika kompasová, jílek, štírovník růžkatý, lupina mnoholistá, karbinec evropský, pomněnka, lipnice široolistá, lipnice sp., pryskyřník plazivý, šťovík, jetel zvrhlý, jetel plazivý a podběl lékařský (tabulka 1). Výskyt nových druhů byl zapříčiněn přirozenou sukcesí a většinu nových druhů představovaly suchozemské druhy, které se uchytily na březích mokřadu a na místech, kde nebyla přítomna hladina vody (v části D4). V roce 2023 zmizely 3 druhy: vod'anka žabí, rozrazil drchničkovitý a rozrazil štítkovitý (tabulka 1). Tyto druhy měly v roce 2022 velmi nízkou pokryvnost, takže pravděpodobně byly vytlačeny jinými silnějšími a odolnějšími druhy. Nebo je také možné, že při monitoringu došlo k jejich přehlédnutí. Vyskytovaly se 2 druhy orobince (úzkolistý

a širokolistý), ale kvůli jejich horší determinaci u nekvetoucích jedinců tyto druhy nebyly při odhadu pokryvnosti rozlišovány.

Z tabulky 2 lze vyvodit, že pokryvnost téměř všech vyskytujících se druhů se v roce 2023 oproti roku 2022 zvýšila. To může být dáno přirozeným časovým vývojem. Výjimkami jsou pouze druhy psárka plavá a parožnatka. Vzhledem k jejich velké pokryvnosti je však úbytek pokryvnosti v roce 2023 téměř zanedbatelný. Z tabulky 3 je zřejmé, že nejdominantnějším druhem v obou letech je řasa parožnatka, jejíž pokryvnost v celém modulu D byla 93 % a výrazně převyšuje ostatní druhy velkou měrou. Druhým nejrozšířenějším druhem v roce 2022 byl zevar vzpřímený, jehož pokryvnost činila v celém modulu D necelých 7 %, a v roce 2023 byla nejrozšířenějším druhem sítna článkovaná, jejíž pokryvnost činila téměř 21 %.

Většina dominantních druhů (druh je považován za dominantní celého modulu D, pokud má pokryvnost >4 %) byla v obou letech stejná. Jak je vidět v grafech 1 a 2, těmito druhy pro oba roky byly zblochan vzplývavý, sítna článkovaná a orobinec, které byly dominantní ve všech částech modulu D, a od části D2 k nim patří také zevar vzpřímený. V roce 2022 byly v celém modulu D dominantními druhy zblochan vzplývavý, sítna článkovaná, zevar vzpřímený a orobinec. V roce 2023 bylo v celém modulu D dominantních druhů více, jelikož došlo ke zvýšení hodnot pokryvnosti dalších druhů. V roce 2023 se jednalo o stejné druhy a přibýly k nim ještě druhy sítna rozkladitá, pryskyřník velký a skřípina lesní (tabulka 3). V rámci jednotlivých částí modulu D se tato hodnota mění a dominantní druhy se průběžně proměňovaly. V grafu 3 si lze povšimnout, že pro oba roky je typické, že v části D1 byla dominantní psárka plavá, ale kvůli její neměnné pokryvnosti oproti ostatním druhům v dalších částech ustoupila. Zevar vzpřímený se v části D1 v roce 2022 vyskytoval ojediněle, v roce 2023 vůbec a dominantním je až od části D2 (tabulka 2, graf 4). Jak dokládají grafy 1 a 2, pokryvnost zevaru zaznamenala jeden z nejprudších nárůstů, jelikož se pravděpodobně jedná o velmi odolný druh a v poskytnutých podmínkách se mu daří. Z grafu 1 a 2 je zřejmé, že skřípina lesní byla dominantní spíše v první polovině modulu D, i přesto je svou průměrnou hodnotou pokryvnosti považována za dominantní druh roku 2023. Pro sítnu rozkladitou je typické vyšší rozšíření v roce 2023. Pokryvnost sítny článkované zaznamenala v roce 2023 prudký pokles, naopak u sítny rozkladité došlo k prudkému nárůstu pokryvnosti, což by mohlo být způsobeno tím, že začala sítnu článkovanou vytlačovat (graf 2). Z grafu 2 je zřejmé, že pryskyřník velký se nejvíce rozšířil v roce 2023 v části D4. Zajímavým jevem je, že se v předešlém roce ani

částech příliš nevyskytoval. Způsobeno to může být jeho rozrůstáním z několika mála jedinců a nánosem semen do konečné části D4, ve které semena vyklíčí.

Tabulka 2 a 4 dokládá, že druhové složení druhů, které nepatří mezi dominantní, je tvořeno z velké části druhy vyskytujícími se velmi ojediněle a jejich pokryvnost nepřesahuje 1 % a je typické pro druhy rozšířené přirozenou sukcesí. Tato kategorie je druhově bohatá, avšak jednotlivé druhy této kategorie mají jen malou pokryvnost. V roce 2022 je výjimkou pouze několik druhů – psárka plavá, parožnatka, halucha vodní a zevar vzpřímený (tabulka 2). Těmto druhům se pravděpodobně v přítomných podmínkách daří a mimo haluchu vodní se jedná o dominantní druhy (tabulka 3). Zato u druhů, které se vyskytly až v roce 2023, je ojedinělý výskyt typický pro všechny druhy (tabulka 2 a 4). U většiny druhů vyskytujících se v roce 2022 došlo ke zvýšení pokryvnosti v roce 2023. Z tabulky 2 je zřejmé, že zbylé druhy pravděpodobně nebyly tolik odolné, a tak jejich výskyt zůstal v obou letech konstantní, nebo ustoupily úplně.

U některých druhů dochází k nárůstu pokryvnosti ve směru proudění vody, tedy od části D1 k části D4. V roce 2022 k takovému jevu dochází např. u druhů žabník jitrocelový, zblochan vzplývavý, halucha vodní či zevar vzpřímený. V roce 2023 se jedná např. o druhy bahnička mokřadní, sítina rozkladitá, vachta trojlistá a jako v předešlém roce halucha vodní a zevar vzpřímený (tabulka 2). To může být způsobeno unášením semen vodou a jejich následné uchycení a vyklíčení a také vegetativním množení. Tyto druhy mohou také vytlačovat ostatní méně odolné druhy. K takovému jevu mohlo dojít u druhů sítina článkovaná a sítina rozkladitá.

V části D4 se nachází největší množství terestrických druhů, které se do mokřadu rozšířily z okolí, jelikož se část D4 nachází nejbližší lesu a travnatého okolí, ze kterého jsou zavlečeny. Mnoho z nich se vyskytuje na březích mokřadu. Terestrickými druhy nalezenými v mokřadu jsou např. locika kompasová, jetel zvrhlý, jetel plazivý či podběl lékařský. Dochází spíše k jejich sezónnímu výskytu, jelikož se v části D4 v případě snížení vodní hladiny vytváří „ostrůvek“, na kterém terestrické druhy rostou. V případě zaplavení tohoto ostrůvku, např. na jaře po roztátí sněhu nebo během prudších či dlouhodobějších dešťů, terestrické druhy pravděpodobně ustupují.

Druhá návštěva lokality v říjnu 2023 sloužila především pro porovnání sezónních změn ve stavu vegetace. Stav vegetace se v červnu a v říjnu výrazně lišil. Na obrázku 29 je vidět, že v červnu vegetace rozkvétala a její biomasa byla velká. Některé druhy byly stále nerozkvetlé, např. orobinec (obrázek 31). Naopak obrázek 30 demonstruje, že vegetace byla oproti létu na podzim u některých druhů již uschlá. Některé druhy, které jsou pravděpodobně odolnější vůči

špatnému počasí, se při ústupu ostatních ještě více rozrostly. Ústup většiny druhů byl nejspíše způsoben nastupujícím vegetačním klidem a chladnějším a méně slunečným počasím.

Pro porovnání druhové diverzity bylo vybráno několik KČOV v Plzeňském kraji (Vymazal, 2016) a několik přirozených mokřadů. Vybrané KČOV se vyznačovaly poměrně nízkou druhovou diverzitou. Přirozené mokřady byly druhově bohatší.

K hodnocení druhové diverzity v jiných KČOV bylo vybráno osm lokalit: KČOV Spálené Poříčí, KČOV Ptenín, KČOV Chotíkov, KČOV Němčice, KČOV Třemešné, KČOV Nezdice na Šumavě, KČOV Sklárna-Žihle a KČOV Horušany. V sedmi zmíněných KČOV byly vysázeny druhy rákos obecný nebo chrastice rákosovitá, v některých byly vysázeny oba druhy (Vymazal, 2016). Od lokality v Hájku se liší tedy mírou zastoupení rákosu obecného a výskytem chrastice rákosovité, která se ve zkoumaném modulu D nevyskytuje. Jedinou výjimkou je KČOV Němčice, která byla na rozdíl od předešlých KČOV druhově bohatší. V té byly původně před uvedením do provozu v roce 2005 vysázeny druhy chrastice rákosovitá a zblochan vzplývavý. Dnes v KČOV převládá chrastice rákosovitá a mnoho dalších druhů, které se sem dostaly sukcesí (náletem). V roce 2011 byla KČOV dosázena ještě druhem puškvorec obecný (Vymazal, 2016). Na lokalitě v Hájku bylo vysázeno značně větší množství druhů a sukcesí se z okolí do mokřadu rozšířilo mnoho dalších druhů.

V případě přirozených mokřadů byla situace opačná. Ve všech vybraných lokalitách se vyskytovalo mnohem větší množství druhů. Námi provedený botanický průzkum se uskutečnil až v letech 2022 až 2023 a osázen byl teprve v roce 2021. Botanické průzkumy ostatních uvedených mokřadů byly provedeny v předešlých letech a jejich doba existence je značně delší. To by mohlo být důvodem větší druhové diverzity.

První vybranou lokalitou k porovnání jsou Pístovské mokřady. Botanický průzkum zde byl proveden v roce 2011. V Pístovských mokřadech bylo nalezeno značně více druhů než v mokřadu v Hájku. Bylo zde nalezeno až 282 taxonů (Berka, 2011). Mnoho druhů se v obou lokalitách shodovalo, a to až kolem 40 druhů. Jedná se např. o tyto druhy: jetel plazivý, karbínek evropský, kyprej vrbice, locika kompasová, máta rolní, olše lepkavá, orobínek úzkolistý, orobínek širokolistý, ostřice štíhlá, podběl lékařský, pryskyřník velký, přeslička bahenní, psárka plavá, rákos obecný, rozrazil potoční, sítina článkovaná, sítina rozkladitá, skřípina lesní, štírovník růžkatý, vachta trojlistá, zblochan vzplývavý, zevar vzpřímený a mnoho dalších.

Další vybranou lokalitou je Vrbovkový mokřad ve Vyškovské bráně, kde byl botanický průzkum proveden v letech 2010 až 2014. Mimo 71 taxonů kvetoucích rostlin zde byly nalezeny i druhy mechů, přesliček, kapradin, jätrovek, lišejníků a hub (Novotný a Floriánová, 2014).

Druhově je tato lokalita také bohatší než mokřad v Hájku. Mezi druhy bylo nalezeno přibližně 15 shodných druhů, a to např. dvouzubec černoplodý, třtina křovištní, vrbovka chlupatá, karbinec evropský, kyprej vrbice, rákos obecný, pryskyřník plazivý, podběl lékařský, orobinec úzkolistý, rozrazil drchničkovitý a mnoho dalších.

Poslední vybranou mokřadní lokalitou je Cholutický mokřad. Zde byl botanický průzkum proveden v roce 2021 a nalezeno bylo 61 druhů rostlin (Ekocentrum Koniklec, 2022). Mezi nalezenými druhy bylo přibližně 17 shodných, mezi které patří např. tyto: olše lepkavá, psárka plavá, ostřice štíhlá, vrbovka chlupatá, zblochan vzplývavý, sítina rozkladitá, karbinec evropský, rákos obecný, skřípina lesní, zevar vzpřímený, orobinec širokolistý a mnoho dalších.

9 Závěr

V teoretické části bakalářské práce byla provedena rešerše na tematiku kořenových čistíren odpadních vod, látku hexachlorcyklohexan a technologii Wetland+, která dokáže tuto látku účinně odstraňovat mimo jiné za pomoci mikroorganismů žijících na kořenech mokřadní vegetace.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo nalézt odpovědi na otázky kladené v úvodu. Odpovědi vychází z vlastních a převzatých naměřených hodnot.

První kladenou otázkou bylo, zda mezi lety 2022 a 2023 došlo ke změnám v druhovém složení. Odpověď zní ano. I přestože většina ze zastoupených druhů se v obou letech shodovala, rok 2022 i 2023 byl na druhové složení specifický. V roce 2022 se v mokřadu vyskytovaly druhy, které v roce 2023 zmizely. A naopak v roce 2023 se v mokřadu objevily druhy, které v předešlém roce nalezeny nebyly.

Druhou otázkou byla, zda byl rok 2023 bohatší z pohledu druhové diverzity. Již na začátku existoval předpoklad pro kladnou odpověď a provedený botanický průzkum toto potvrdil.

I u třetí otázky, zda byla v roce 2023 pokryvnost druhů výrazně vyšší oproti roku 2022, existoval předpoklad, že ano, ale ne výrazně. Odpověď však není tak jednoznačná, jak bylo očekáváno. U většiny druhů velmi záleželo, jak dlouho se v mokřadu vyskytovaly, tj. zda byly přítomny již v roce 2022 nebo až v roce 2023. U většiny druhů bylo pravidlem, že se v prvním roce svého výskytu v mokřadu vyskytovaly velmi ojediněle a až v následujícím roce se jejich pokryvnost zvyšovala, obvykle se však nejednalo o extrémní nárůsty. Jiná situace nastala u dominantních druhů, u kterých se pokryvnost ve většině případů zvýšila výrazněji. Ojediněle však došlo i k poklesu pokryvnosti v roce 2023, např. u druhu psárka plavá.

Poslední otázkou byl rozdíl ve stavu vegetace v létě a na podzim. Na podzim došlo k celkovému úbytku vegetace v mokřadu. Vegetace byla již odkvetlá a ve většině případů uschlá. Bylo již znatelné období vegetačního klidu.

10 Seznam použitých zdrojů

ABOU-ELELA, Sohair I.; GOLINIELLI, G.; ABOU-TALEB, Enas M. a HELLAL, Mohamed S., 2013. Municipal wastewater treatment in horizontal and vertical flows constructed wetlands. Online. *Ecological Engineering*. Roč. 61, s. 460-468. ISSN 09258574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.010>. [cit. 2024-03-28].

ALAVANJA, Michael C. R.; HOFMANN, Jonathan N.; LYNCH, Charles F.; HINES, Cynthia J.; BARRY, Kathryn H. et al., 2014. Non-Hodgkin Lymphoma Risk and Insecticide, Fungicide and Fumigant Use in the Agricultural Health Study. Online. *PLoS ONE*. 2014-10-22, roč. 9, č. 10. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109332>. [cit. 2024-04-03].

AMIRBEKOV, Aday; STROJSOVA, Martina; NEMECEK, Jan; RIHA, Jakub; HRABAK, Pavel et al., 2023. Biodiversity in wetland+ system: a passive solution for HCH dump effluents. Online. *Water Science & Technology*. 2023-12-15, roč. 88, č. 12, s. 3095-3109. ISSN 0273-1223. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wst.2023.395>. [cit. 2024-07-09].

BENNETT, ELENA M.; CARPENTER, STEPHEN R. a CARACO, NINA F., 2001. Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective. Online. *BioScience*. Roč. 51, č. 3, s. 0006-3568-51-3-227-35926. ISSN 0006-3568. Dostupné z: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0227:HIOEPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0227:HIOEPA]2.0.CO;2). [cit. 2024-06-26].

BERKA, Tomáš, 2011. *Botanický průzkum Pístovských mokřadů: Závěrečná zpráva projektu*. Jihlava. Dostupné také z: https://mokrady.wbs.cz/pistovske_mokrady/botanicky_pruzkum_pistovskych_mokradu_2011.pdf.

BHATT, Praveena; KUMAR, M. Suresh; MUDLIAR, Sandeep a CHAKRABARTI, Tapan, 2007. Biodegradation of Chlorinated Compounds—A Review. Online. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Roč. 37, č. 2, s. 165-198. ISSN 1064-3389. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10643380600776130>. [cit. 2024-04-02].

CRITES, Ronald W.; MIDDLEBROOKS, E. Joe a REED, Sherwood C., 2010. Natural Wastewater Treatment Systems. Online. Boca Raton: CRC Press. ISBN 9780429189197. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420026443>. [cit. 2024-03-15].

ČERNÍK, Miroslav, et al. Wetland technology for the treatment of HCH-contaminated water—Case study at Hajek site. *Science of The Total Environment*, 2024, 930: 172660.

DIAMANTI-KANDARAKIS, Evanthia; BOURGUIGNON, Jean-Pierre; GIUDICE, Linda C.; HAUSER, Russ; PRINS, Gail S. et al., 2009. Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement. Online. *Endocrine Reviews*. 2009-06-01, roč. 30, č. 4, s. 293-342. ISSN 0163-769X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1210/er.2009-0002>. [cit. 2024-04-04].

EKOCENTRUM KONIKLEC, 2022. *V cholupickém mokřadu se uskutečnil průzkum rostlin a vážek*. Online. Dostupné z: <https://www.ekocentrumkoniklec.cz/wp-content/uploads/2022/01/Cholupicky-mokrad-pruzkum.pdf>. [cit. 2024-07-09].

GRANDJEAN, P a LANDRIGAN, PJ, 2006. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. Online. *The Lancet*. Roč. 368, č. 9553, s. 2167-2178. ISSN 01406736. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69665-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69665-7). [cit. 2024-04-04].

GRUNG, Merete; LIN, Yan; ZHANG, Hua; STEEN, Anne Orderdalen; HUANG, Jun et al., 2015. Pesticide levels and environmental risk in aquatic environments in China — A review. Online. *Environment International*. Roč. 81, s. 87-97. ISSN 01604120. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.04.013>. [cit. 2024-04-04].

GUPTA, P.K, 2004. Pesticide exposure—Indian scene. Online. *Toxicology*. Roč. 198, č. 1-3, s. 83-90. ISSN 0300483X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.021>. [cit. 2024-04-02].

HOFFMANN, Heike; VON MUENCH, Elisabeth; PLATZER, Christoph a WINKER, Martina, 2011. *Technology review of constructed wetlands; Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. Online. Dostupné z: <https://www.susana.org/resources/documents/default/2-930-giz2011-en-technology-review-constructed-wetlands.pdf>. [cit. 2024-02-18].

HOTA, Amrutashree; GOPAL KRISHNA PATRO, S; OBAID, Ahmed J.; KHATAK, Satish a KUMAR, Raghvendra, 2023. Constructed wetland challenges for the treatment of industrial

wastewater in smart cities: A sensitive solution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Roč. 55. ISSN 22131388. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102967>.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 1979. *Hexachlorocyclohexane*. Online. Dostupné z: <https://www.iarc.who.int/>. [cit. 2024-07-01].

KADLEC, Robert H. a WALLACE, Scott D., 2009. *Treatment wetlands*. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-56670-526-4.

KAPLAN, Zdeněk; DANIHELKA, Jiří; CHRTEK, Jindřich; KIRSCHNER, Jan; KUBÁT, Karel et al., 2019. *Klíč ke květeně České republiky*. Druhé, aktualizované a zcela přepracované vydání. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2660-6.

KHAN, Faizan Haider; GANESAN, Panneer a KUMAR, Sudhir, 2010. Y Chromosome microdeletion and altered sperm quality in human males with high concentration of seminal hexachlorocyclohexane (HCH). Online. *Chemosphere*. Roč. 80, č. 9, s. 972-977. ISSN 00456535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.047>. [cit. 2024-04-04].

KRIŠKA, Michal a NĚMCOVÁ, Miroslava, 2015. *Kořenové čistírny odpadních vod: Metodická příručka pro povolání, návrh, realizaci a provoz*. Online. Dostupné z: http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/kzp/pdf/korenove_cistirny_odpadnich_vod.pdf. [cit. 2024-02-18].

KUTZ, Frederick W.; WOOD, Patricia H. a BOTTIMORE, David P., 1991. Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Human Adipose Tissue*. Online. In: WARE, George W. (ed.). *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. New York, NY: Springer New York, s. 1-82. ISBN 978-1-4612-7789-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3080-9_1. [cit. 2024-04-04].

MA, Lin; YANG, Lingli; LIU, Wei; ZHANG, Yi; ZHOU, Qiaohong et al., 2021. Effects of root exudates on rhizosphere bacteria and nutrient removal in pond-ditch circulation systems (PDCSs) for rural wastewater treatment. Online. *Science of The Total Environment*. Roč. 785.

ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147282>. [cit. 2024-03-27].

MADDISON, Martin; SOOSAAR, Kaido; MAURING, Tõnu a MANDER, Ülo, 2009. The biomass and nutrient and heavy metal content of cattails and reeds in wastewater treatment wetlands for the production of construction material in Estonia. Online. *Desalination*. Roč. 246, č. 1-3, s. 120-128. ISSN 00119164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.02.040>. [cit. 2024-03-27].

MAIGA, Ynoussa; VON SPERLING, Marcos; MIHELICIC, James R.; MIHELICIC, James R.; VERBYLA, Matthew E. et al., 2019. Constructed Wetlands. Online. In: *Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project)*. Michigan State University. ISBN 9780996725286. Dostupné z: <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.66>. [cit. 2024-02-16].

MAPY.CZ, 2024. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?l=0&x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>. [cit. 2024-07-05].

MORGAN, Donald P., 1982. Pesticides Studied in Man. Online. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*. 1982-06-11, roč. 247, č. 22. ISSN 0098-7484. Dostupné z: <https://doi.org/10.1001/jama.1982.03320470080049>. [cit. 2024-07-09].

NAGATA, Yuji; ENDO, Ryo; ITO, Michihiro; OHTSUBO, Yoshiyuki a TSUDA, Masataka, 2007. Aerobic degradation of lindane (γ -hexachlorocyclohexane) in bacteria and its biochemical and molecular basis. Online. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Roč. 76, č. 4, s. 741-752. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1066-x>. [cit. 2024-04-01].

NAGPAL, Varima a PAKNIKAR, K. M., 2006. Integrated biological approach for the enhanced degradation of lindane. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 5, no. 3, s. 400–406. ISSN 09725849.

NOVOTNÝ, Ivan a FLORIÁNOVÁ, Jana, 2014. *Botanický průzkum lokality Vrbovkový mokřad ve Vyškovské bráně*. Prostějov. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/279972808_Botanicky_pruzkum_lokality_Vrbovkovy_mokrad_ve_Vyskovske_braně.

OLIVERO-VERBEL, Jesus; GUERRERO-CASTILLA, Angélica a RAMOS, Niradiz Reyes, 2011. Biochemical Effects Induced by the Hexachlorocyclohexanes. Online. In: WHITACRE, David M. (ed.). *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 212*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. New York, NY: Springer New York, s. 1-28. ISBN 978-1-4419-8452-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8453-1_1. [cit. 2024-04-04].

OZCAN, Cemile, 2016. Determination of Organochlorine Pesticides in Some Vegetable Samples Using GC-MS. Online. *Polish Journal of Environmental Studies*. Roč. 25, č. 3, s. 1141-1147. ISSN 1230-1485. Dostupné z: <https://doi.org/10.15244/pjoes/61627>. [cit. 2024-04-04].

PESCE, Silvia F.; CAZENAVE, Jimena; MONFERRÁN, Magdalena V.; FREDE, Silvia a WUNDERLIN, Daniel A., 2008. Integrated survey on toxic effects of lindane on neotropical fish: *Corydoras paleatus* and *Jenynsia multidentata*. Online. *Environmental Pollution*. Roč. 156, č. 3, s. 775-783. ISSN 02697491. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.06.016>. [cit. 2024-04-04].

PHILLIPS, Theresa M.; SEECH, Alan G.; LEE, Hung a TREVORS, Jack T., 2005. Biodegradation of hexachlorocyclohexane (HCH) by microorganisms. Online. *Biodegradation*. Roč. 16, č. 4, s. 363-392. ISSN 0923-9820. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10532-004-2413-6>. [cit. 2024-04-04].

PRATHNA, T.C., 2021. Significance of microbial volatiles in ecological health: impact on wetland systems. Online. In: *Volatiles and Metabolites of Microbes*. Elsevier, s. 163-176. ISBN 9780128245231. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824523-1.00020-1>. [cit. 2024-04-04].

PRZYBYLA, Jennifer, et al. Toxicological profile for hexachlorocyclohexane (HCH): draft for public comment. 2023. URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/124652>

Ramsar Convention on Wetlands, 2024. Online. Dostupné z: <https://www.ramsar.org/>. [cit. 2024-03-17].

REICHHOLF, Josef, 1998. *Pevninské vody a mokřady: ekologie evropských sladkých vod, luhů a bažin*. Průvodce přírodou (Ikar). Praha: Ikar. ISBN 80-7202-185-0.

RIZZO, A.; SARTI, C.; NARDINI, A.; CONTE, G.; MASI, F. et al., 2023. Nature-based solutions for nutrient pollution control in European agricultural regions: A literature review. Online. *Ecological Engineering*. Roč. 186. ISSN 09258574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106772>. [cit. 2024-03-30].

RODRÍGUEZ-GARRIDO, Beatriz; BALSEIRO-ROMERO, María; KIDD, Petra S. a MONTERROSO, Carmen, 2020. Effect of plant root exudates on the desorption of hexachlorocyclohexane isomers from contaminated soils. Online. *Chemosphere*. Roč. 241. ISSN 00456535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124920>. [cit. 2024-04-04].

SCHINDLER, D. W., 1977. Evolution of Phosphorus Limitation in Lakes. Online. *Science*. 1977-01-21, roč. 195, č. 4275, s. 260-262. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.195.4275.260>. [cit. 2024-06-26].

SOJKA, Jan, 2013. *Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy. Profi & hobby*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4504-6.

SOLOMON, Gina M a WEISS, Pilar M, 2002. Chemical contaminants in breast milk: time trends and regional variability. Online. *Environmental Health Perspectives*. Roč. 110, č. 6. ISSN 0091-6765. Dostupné z: <https://doi.org/10.1289/ehp.021100339>. [cit. 2024-04-04].

SRINIVASAN, K.; RAMESH, H.P. a RADHAKRISHNAMURTY, R., 1984. Renal tubular dysfunction caused by dietary hexachlorocyclohexane (HCH) isomers. Online. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 1984-11-21, roč. 19, č. 4-5, s. 453-466. ISSN 0360-1234. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/03601238409372443>. [cit. 2024-07-09].

SRIVASTAVA, Vartika; SRIVASTAVA, Tanmay a KUMAR, M. Suresh, 2019. Fate of the persistent organic pollutant (POP)Hexachlorocyclohexane (HCH) and remediation challenges. Online. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Roč. 140, s. 43-56. ISSN 09648305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.03.004>. [cit. 2024-03-31].

STÁTNÍ ZDRAVOTNICKÝ ÚSTAV, 2012. *Hodonka*. Online. Dostupné z: <https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/a-z-infekce/m/malarie/anofelizmus-bez-malarie-v-cr/>. [cit. 2024-07-01].

STOCKHOLM CONVENTION, 2019. *The 12 initial POPs under the Stockholm Convention*. Online. Dostupné z: <https://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/The12InitialPOPs/tabid/296/Default.aspx>. [cit. 2024-07-09].

ŠIMEK, Miloslav; ELHOTTOVÁ, Dana a PIŽL, Václav, 2015. *Živá půda: Rozmanitost života a zdraví ekosystémů*. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2567-8.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1985. *Drinking Water Criteria Document For Lindane*. Online. Dostupné z: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&dirEntryId=37309. [cit. 2024-07-01].

VIJGEN, John; ABHILASH, P. C.; LI, Yi Fan; LAL, Rup; FORTER, Martin et al., 2011. Hexachlorocyclohexane (HCH) as new Stockholm Convention POPs—a global perspective on the management of Lindane and its waste isomers. Online. *Environmental Science and Pollution Research*. Roč. 18, č. 2, s. 152-162. ISSN 0944-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0417-9>. [cit. 2024-04-04].

VIJGEN, John; FOKKE, Boudewijn; VAN DE COTERLET, Guido; AMSTAETTER, Katja; SANCHO, Javier et al., 2022. European cooperation to tackle the legacies of hexachlorocyclohexane (HCH) and lindane. Online. *Emerging Contaminants*. Roč. 8, s. 97-112. ISSN 24056650. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.01.003>. [cit. 2024-04-04].

VIJGEN, John; FORTER, Martin; LAL, Rup a WEBER, Roland, 2006. The legacy of lindane HCH production. Online. *Organohalogen Comp.* Roč. 2006. ISSN 68: 899-904. Dostupné z: <https://api.semanticscholar.org>. [cit. 2024-04-06].

VOHLA, Christina; KŮIV, Margit; BAVOR, H. John; CHAZARENC, Florent a MANDER, Ůlo, 2011. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review. Online. *Ecological Engineering*. Roč. 37, č. 1, s. 70-89. ISSN 09258574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.003>. [cit. 2024-02-29].

VRCHOVECKÁ, Stanislava; AMIRBEKOV, Aday; SÁZAVSKÁ, Tereza; ARIAS, Carlos Alberto; JESPERSEN, Emil Arboe et al., 2024. Chemical analysis of wetland plants to evaluate

the bioaccumulation and metabolism of hexachlorocyclohexane (HCH). Online. *Science of The Total Environment*. Roč. 921. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171141>. [cit. 2024-04-04].

VYMAZAL, Jan, 2011. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. Online. *Environmental Science & Technology*. 2011-01-01, roč. 45, č. 1, s. 61-69. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/es101403q>. [cit. 2024-02-23].

VYMAZAL, Jan. Kořenové čistírny odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. *Plzeň: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí*, 2016, 66. Dostupné z: <https://www.plzensky-kraj.cz/clanek/publikace-korenove-cistirny-odpadnich-vod-0>. [cit. 2024-02-16].

VYMAZAL, Jan, 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. Online. *Hydrobiologia*. Roč. 674, č. 1, s. 133-156. ISSN 0018-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0738-9>. [cit. 2024-02-22].

VYMAZAL, Jan, 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Online. *Science of The Total Environment*. Roč. 380, č. 1-3, s. 48-65. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>. [cit. 2024-06-26].

WANG, Hongping; CHANG, Hong; ZHANG, Cunxu; FENG, Chenglian a WU, Fengchang, 2021. Occurrence of Chlorinated Paraffins in a Wetland Ecosystem: Removal and Distribution in Plants and Sediments. Online. *Environmental Science & Technology*. 2021-01-19, roč. 55, č. 2, s. 994-1003. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05694>. [cit. 2024-03-28].

WARREN, Kenneth S. a MAHMOUD, Adel . F., 1984. *Tropical and Geographical Medicine*. Maidenhead, UK: McGraw-Hill Book Company (UK) Limited. ISBN 978-0-07-068327-3.

WYCISK, Peter; STOLLBERG, Reiner; NEUMANN, Christian; GOSSEL, Wolfgang; WEISS, Holger et al., 2013. Integrated methodology for assessing the HCH groundwater pollution at the multi-source contaminated mega-site Bitterfeld/Wolfen. Online. *Environmental Science and Pollution Research*. Roč. 20, č. 4, s. 1907-1917. ISSN 0944-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0963-4>. [cit. 2024-04-04].

WU, Haiming; WANG, Ruigang; YAN, Peihao; WU, Shubiao; CHEN, Zhongbing et al., 2023. Constructed wetlands for pollution control. Online. *Nature Reviews Earth & Environment*. Roč. 4, č. 4, s. 218-234. ISSN 2662-138X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00395-z>. [cit. 2024-03-28].

WU, Shubiao; KUSCHK, Peter; BRIX, Hans; VYMAZAL, Jan a DONG, Renjie, 2014. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. Online. *Water Research*. Roč. 57, s. 40-55. ISSN 00431354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020>. [cit. 2024-03-28].

YANG, Yan; ZHAO, Yaqian; LIU, Ranbin a MORGAN, David, 2018. Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. Online. *Bioresource Technology*. Roč. 261, s. 441-452. ISSN 09608524. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.085>. [cit. 2024-03-28].

ZHANG, Wenping; LIN, Ziqiu; PANG, Shimei; BHATT, Pankaj a CHEN, Shaohua, 2020. Insights Into the Biodegradation of Lindane (γ -Hexachlorocyclohexane) Using a Microbial System. Online. *Frontiers in Microbiology*. 2020-3-27, roč. 11. ISSN 1664-302X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00522>. [cit. 2024-06-26].