

Spis treści

Spis ważniejszych skrótów stosowanych w pracy	5
Wstęp	7
1. Cel i zakres pracy	11
2. Przegląd piśmiennictwa	13
2.1. Wprowadzenie	13
2.2. Rośliny a metale	13
2.2.1. Wpływ metali na wzrost i rozwój roślin	13
2.2.2. Pobieranie i akumulacja metali przez rośliny wodne	15
2.2.3. Tolerancja roślin na metale	16
2.3. Wykorzystanie makrofitów do oczyszczania ścieków	18
2.3.1. Wprowadzenie	18
2.3.2. Rola makrofitów w oczyszczaniu ścieków	20
3. Materiał i metody badań	23
3.1. Dobór gatunków roślin wodnych do przeprowadzonych doświadczeń	23
3.2. Dobór i charakterystyka podłoży zastosowanych w doświadczeniach	26
3.3. Doświadczenia wazonowe	27
3.3.1. Opis 3-letnich doświadczeń z roślinami wodnymi	27
3.3.1.1. Wprowadzenie	27
3.3.1.2. Doświadczenie 1A z przęstką pospolitą	29
3.3.1.3. Doświadczenie 1B i 2 z żabiściekiem pływającym	30
3.3.2. Opis 1-rocznego doświadczenia z przęstką pospolitą – doświadczenie 3 ze ściekami komunalnymi i roztworami niehigienizowanego osadu ściekowego	31
3.4. Metody badań	34
3.4.1. Pomiar biometryczny	34
3.4.2. Analizy chemiczne roślin	34
3.4.3. Analizy fizykochemiczne i chemiczne materiału glebowego	34
3.4.4. Analizy fizykochemiczne i chemiczne wody i ścieków	35
3.4.5. Obliczenia wskaźników oceniających zanieczyszczenie ekosystemu wodnego wybranymi metalami	36
3.5. Opracowanie statystycznie wyników badań	38
3.6. Warunki meteorologiczne w latach 2006, 2007 i 2008	38
4. Wyniki badań i ich dyskusja	41
4.1. Czynniki wpływające na możliwości usuwania metali przez rośliny wodne	41
4.2. Reakcja przęstki pospolitej na zanieczyszczenie wody wybranymi metalami w zmieniających warunkach troficznych środowiska wodno-glebowego	42
4.2.1. Udział przęstki pospolitej w krążeniu wybranych metali	42

4.2.2. Wzrost i rozwój przętki pospolitej	53
4.3. Rola przętki pospolitej w oczyszczaniu ścieków	60
4.3.1. Charakterystyka chemiczna i fizykochemiczna komunalnych ścieków oczyszczonych i surowych oraz roztworów niehigienizowanego osadu ściekowego, które zastosowano w doświadczeniu	60
4.3.2. Reakcja przętki pospolitej na zmienne warunki troficzne w komunalnych ściekach oczyszczonych i surowych oraz roztworach niehigienizowanego osadu ściekowego – liczebność i plon suchej masy rośliny	66
4.3.3. Zmiana wartości analizowanych parametrów chemicznych i fizykochemicznych komunalnych ścieków oczyszczonych i surowych oraz roztworów niehigienizowanego osadu ściekowego w pojemnikach z przętką pospolitą w zależności od czasu ich wymiany	69
4.3.4. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w pojemnikach z przętką pospolitą w zależności od czasu wymiany komunalnych ścieków oczyszczonych i surowych oraz roztworów niehigienizowanego osadu ściekowego	77
4.3.5. Alokacja metali w przętce pospolitej	79
4.3.6. Rola przętki pospolitej w akumulacji metali z komunalnych ścieków oczyszczonych i surowych oraz roztworów niehigienizowanego osadu ściekowego	80
4.4. Zdolności przystosowawcze przętki pospolitej do zmiennych warunków środowiskowych	81
4.5. Reakcja żabiścieku pływającego na zanieczyszczenie wody wybranymi metalami w zmiennych warunkach troficznych środowiska wodnego i wodno-glebowego	82
4.5.1. Udział żabiścieku pływającego w krążeniu wybranych metali	82
4.5.2. Wzrost i rozwój żabiścieku pływającego	99
4.6. Zdolności przystosowawcze żabiścieku pływającego do zmiennych warunków środowiskowych	106
4.7. Zanieczyszczenie ekosystemów wodnych i sukcesja roślinności w zbiornikach wodnych	107
4.8. Rola makrofitów w oczyszczaniu wód zanieczyszczonych i zużytych	110
4.8.1. Wpływ makrofitów na kształtowanie się jakości wód powierzchniowych	110
4.8.2. Wykorzystanie makrofitów do oczyszczania wód zanieczyszczonych	111
4.8.3. Rola makrofitów w oczyszczaniu wód zużytych. Efektywność systemów hydrofitowych	113
5. Wnioski	117
Piśmiennictwo	119
Summary	135
Zusammenfassung	137

The response of Common Mare's Tail (*Hippuris vulgaris* L.) and Common Frogbit (*Hydrocharis morsus-ranae* L.) to the pollution of water with selected heavy metals, and the possibility to use this plant in phytoremediation of water.

Summary

The purpose of this paper was:

1 – to determine the impact of chemical and physicochemical ratios of water quality on the development of common mare's tail and floating common frogbit and the collection by the plants of selected heavy metals and their accumulations.

2 – the evaluation of the efficiency of heavy metals collected by common mare's tail and floating common frogbit, with two levels of plants supply with phosphorus, nitrogen and potassium (PNK) for these plants utilization for the phytoremediation of water ecosystems.

The concentration of the selected heavy metals introduced into the water as pollution was determined pursuant to boundary values for class V of water purity, given in the Regulations by the Minister of Environment of 11th February 2004. Two levels in the concentration of phosphorus, nitrogen and potassium (PNK) added to water in the research conducted, were determined separately for each of the macrophytes cultivated, which, at the same time, facilitated the development of their growth.

The material for the research on the number of individuals of common mare's tail and rosettes of floating common frogbit, and the concentration of lead, copper, zinc, manganese and iron in plant, water and soil substract samples, as well as other selected ratios of waste water and soil quality, originated from four vegetation experiments. In a 3-year long hydroponic experiment with common mare's tail, cultivated in the water and soil environment, the response of the plant to the pollution of water that was increasing during the experiment with salts of selected metals and phosphorus, nitrogen and potassium compounds was assessed, two concentrations taken into account. In two experiments with floating common frogbit, developing either in water and soil environment or in water environment, the response of the plant was tested twice to one-time pollution of water with salts of the same metals as well as phosphorus, nitrogen and potassium compounds, two concentrations of theirs taken into account. After the research on common mare's tail was completed in the water and soil environment between 2006 and 2007, it was established that the plant developed very well in the water at a higher concentration of phosphorus, nitrogen and potassium compounds. Therefore, in 2008 a one-year long experiment was carried out with common mare's tail, in which the impact of the type of communal waste water and solutions of untreated waste sludge was established on the growth and development of the plant, depending upon the time it was kept in containers.

The research results, related to biometric and chemical measurements of the plant samples, as well as physicochemical water and waste water samples, and substrate soil material, were evaluated

statistically, based on an analysis of variance at the materiality level $\alpha = 0.05$ ($NIR_{0.05}$). Using the results of the measurements from three years of experiments with both the hydrophytes, Pearson's ratio of line correlation was determined between the content of the selected metals in the water and their content in the plant. An analysis of the line correlation was also conducted for the dependency between the content of oxygen dissolved in the water, the electrolyc conductivity, water pH and the yield of dry mass or the size of the plants tested.

During the research, it was determined that the possibility to adjust to the growing water pollution by non-organic compounds (macro-components and salts of selected heavy metals), and, in the case of common mare's tail, also by organic compounds (municipal waste water) had a crucial impact on the development of common mare's tail and floating common frogbit. A larger concentration of phosphorus, nitrogen and potassium compounds in the water had an impact on the growth of the biomass of both the macrophytes. It was shown that the distribution of metals in the environment of macrophytes growth was dependent upon the demand and the manner of nutrients collection; the concentration of biogenic compounds and other elements in the water; water reaction; the time of exposure to lead, copper, zinc, manganese and iron on the common mare's tail and floating common frogbit. The quantity of the gathered biomass of the tested water plants depended upon the concentration of nutrients in the water. The introduction of soil material as a substrate to the environment of the floating common frogbit growth increased the production of its biomass twice. Independently on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in the environment of the plant growth, each introduction to them of metals applied in the experiment resulted in an increased collection by common mare's tail. The common mare's tail is a plant that oxygenates the water environment and that is why it can be used in the hydrophytes systems of waste water treatment. In conditions of municipal waste water and untreated waste sludge, the common mare's tail accumulated in its roots and rhizomes more iron, zinc, lead and copper, and more manganese in the leaved stalk. Water pollution with salts of zinc or manganese, in the quantity which corresponds to the boundary concentration for water quality class V (the Regulations by the Minister of Environment of 11th February 2004) had it that the biomass production, both by the floating common frogbit and common mare's tail was reduced. The research on macrophytes (the Regulations by the Minister of Environment of 9th February 2011) in various times in the case of water polluted by lead, copper, zinc, manganese and iron may have an impact on the value of macrophyte indices, calculated separately for rivers (MIR) and lakes (ESMI). The high efficiency of lead, copper, zinc, manganese and iron collection by the floating common frogbit creates a potential to use this species for the remediation of water ecosystems. The common mare's tail may be used in hydrophyte systems of waste treatment because of its high efficiency in removing phosphorus and various other pollutants from it.