

TOLERANCJA Zn PRZEZ TRAWY *AGROSTIS CAPILLARIS* (L.)
ROSNAĆCE NA TERENACH SĄSIADUJĄCYCH
Z ZHG „BOLESŁAW” W BUKOWNIE

ALICJA KICIŃSKA-ŚWIDERSKA

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Zakład Geologii Ogólnej i Matematycznej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

KOMUNIKAT

Keywords: zinc, grass, *Agrostis capillaris*, bioaccumulation, zinc resistance.

THE ZINC RESISTANCE OF THE GRASS (*AGROSTIS CAPILLARIS*) GROWING
ON SURROUNDING OF Zn-SMELTER AT BUKOWNO AREA

This paper is content of brief review of the problems of uptake, translocation and distribution of zinc in grass (*Agrostis capillaris*). Grasses as well as other plant species growing on metal contaminated soil have been selected for metal resistance for a long time. An increase in heavy metals like Zn, Pb and Cd in soil caused changes in root morphology and physiology as well as the tolerance of different plant species. The uptake and transport of zinc in plants is higher in older plants parts, like old or dead leaves, than in younger parts. There were measured the zinc resistance of the grass and bioaccumulation in different parts of grasses.

S t r e s z c z e n i e

Emisja pyłów przemysłowych w rejonie Bukowna zawierających znaczne ilości metali ciężkich spowodowała wzrost ich zawartości w glebie oraz opad na nadziemne części roślin. Roślinność porastająca sąsiedztwo ZGH „Bolesław” w Bukownie wykazuje „naturalną” selekcję i przystosowanie do silnego zanieczyszczenia jakie występuje na tym terenie. Opisany gatunek traw *Agrostis capillaris* ma wysoką tolerancję ekologiczną na bardzo duże stężenia cynku. W pracy określono zawartości Zn w poszczególnych częściach traw oraz wpływ pyłów przemysłowych na wzrost roślin. Zbadano również granice tolerancji na cynk gatunku *Agrostis capillaris* oraz w których częściach roślin (liście, łodygi, korzenie) następuje akumulacja tego pierwiastka, przy występowaniu wysokich stężeń w środowisku wzrostu.

WSTĘP

Z eksploatacją i przerobem rud cynkowo-ołowiowych w rejonie Bukowna wiąże się silne zanieczyszczenie a wręcz degradacja obszarów bezpośrednio sąsiadujących z Zakładami Górniczo-Hutniczymi (ZGH). Z danych uzyskanych z ZGH „Bolesław”

w Bukownie w latach 1995–96 wyemitowano cynku do atmosfery wraz z pyłami przemysłowymi odpowiednio: 9,6 i 7,4 Mg. Miało to niewątpliwie wpływ na środowisko glebowo-roślinne [4, 16]. Wskaźnik jakości rolniczej gleb Polski lokuje gleby z obszaru Bukowna na 71 miejscu z 78 opisanych [11, 12]. W rejonie tym największy obszar – 30% zajmują gleby klasy V, natomiast gleby klasy I, II i III_a brak. Wieloletni opad zawierających znaczne ilości Zn pyłów przemysłowych na glebę i części nadziemne roślin spowodował wytworzenie systemów adaptacyjnych traw porastających badany obszar tak, aby mogły rozwijać się i rozmnażać [6, 17].

Mechanizmy zwiększające odporność, i tolerancję roślin na skażenie toksykantami środowiska przekazywane są potomstwu dziedzicznie i dlatego możemy wyodrębnić grupy roślin o wysokim stopniu przystosowania (zaadaptowania) do wzrostu w warunkach silnego zanieczyszczenia (np. metalofity, rośliny galmanowe) [7]. Zwiększoną odporność na wysokie koncentracje Zn w środowisku glebowym oraz zdolność unieruchamiania tego metalu w formy nieaktywne biologicznie wykazują m.in. następujące gatunki: *Agrostis tenuis*, *Viola calaminaria*, *Arabis halleri* [5, 13, 14].

Zawartość metalu w poszczególnych częściach roślin w okresie wegetacji (wiosna-jesień) jest zmienna i zależy od wielu czynników m.in.: całkowitej zawartości tego metalu w glebie, jego form występowania, od odczynu i składu granulometrycznego gleby, potencjału redox, pojemności sorpcyjnej gleby oraz od gatunkowych i odpornościowych własności roślin [1, 3, 13]. Przenikające jony (nieorganiczne lub jako chelaty) do wnętrza rośliny drogą korzeniową bądź poprzez części nadziemne mogą być wykorzystane jako jej składniki pokarmowe lub kumulowane we wnętrzu jako balast zaburzający prawidłowy jej wzrost i rozwój [2, 7, 8].

W przeprowadzonych badaniach szukano odpowiedzi na pytania:

- jaki jest wpływ opadu pyłów przemysłowych (zawierających znaczne ilości metali ciężkich) na zawartość Zn w trawach rosnących w bliskim sąsiedztwie emitorów zanieczyszczeń?
- jaka jest zawartość (rozkład) Zn w poszczególnych częściach traw, w różnych etapach ich wzrostu (wiosna - jesień)?
- jaka jest granica tolerancji dla cynku traw gatunku *Agrostis capillaris* z terenów silnie zanieczyszczonych oraz z terenu kontrolnego, w jakich częściach roślin następuje akumulacja tego metalu?

TEREN I METODY BADAŃ

Do badań wytypowano trawy gatunku *Agrostis capillaris*. Wiosną i jesienią 1996–97 roku zostały pobrane próbki gleb i roślin z bliskiej (50, 750 m) i dalszej odległości (2200, 2250 m) od ZGH w Bukownie. Dla celów porównawczych pobrano również próby z terenu kontrolnego – okolic Nowego Sącza. W rejonie Bukowna opad pyłów w latach 1996–97 wyniósł 60–67 g/m²rok. Opad Zn i Pb na opisanym terenie wyniósł odpowiednio 2822 i 309 mg/m²rok (dane Sanepidu). Na terenie Nowego Sącza w 1996 roku opad pyłu wyniósł 1200 Mg (dane GUS).

Wiosną 1997 roku pobrano próbki traw i gleb. W wazonach 10 dm³ umieszczono próbki glebowe (16 kg), w których przez okres pół roku (kwiecień – wrzesień), rosły trawy podlewane wodą wodociągową. Umieszczenie traw, z pierwotnego siedliska w wazonach laboratoryjnych, wyeliminowało opad pyłów przemysłowych na glebę i na nadziemne części roślin.

Jesienią 1997 z tych samych poletek pobrano kolejne próbki, trawy te jednak przez cały okres wegetacji wzrastały na terenach opróbowanych. Oznaczone całkowite zawartości Zn w pobranych próbkach gleb wyniosły z bliskiego (50–750 m) sąsiedztwa ZGH odpowiednio 35 i 20 g/kg, dla dalszego (2200–2250 m) sąsiedztwa 23 i 20 g/kg. Dla terenu kontrolnego zawartość cynku wyniosła 100 mg/kg. W roztworach wodnych gleb (1:2,5) z rejonu Bukowna stwierdzono cynku od 2,45 do 22,7 mg/dm³.

W celu określenia granicy tolerancji dla Zn i jego bioakumulacji w trawach szczególnie użyteczna okazała się metoda porównawczego pomiaru przyrostu długości korzeni (rooting technique). Z każdego opróbowywanego punktu, po 20 traw umieszczono w kulturach hydroponicznych, do których dodawano kolejne dawki Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) oraz gotową odżywkę dla roślin (POKON). Dla ułatwienia obserwacji przyrostu (minimum 4 mm), po każdorazowej wymianie roztworu korzenie barwiono aktywnym węglem. Badanym wskaźnikiem była ilość roślin wykazujących nowe przyrosty korzeni. Stężenie cynku w roztworze zwiększano co 3 dni, aż do całkowitego zaniku wzrostu korzeni u wszystkich badanych roślin. Kolejno dodane dawki cynku dla roślin z terenów zanieczyszczonych wyniosły ($\mu\text{mol Zn/dm}^3$): 50, 100, 200, 400, 600, 1000, 1500 i 2000, dla terenu kontrolnego były nieco inne ($\mu\text{mol Zn/dm}^3$): 50, 75, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000 i 1500). Zróżnicowanie dawek wynikało z obserwacji kolejnych przyrostów.

Rośliny z każdego eksperymentu dzielono na następujące części: K – korzenie, Ł – łodygę, LO – liście obumarłe, liście od najstarszego – L1, L2, L3 do najmłodszego – L4. Trawy, po umyciu, rozkładano w pojemnikach teflonowych w mieszaninie kwasów $\text{HNO}_3\text{:HCl}$ (4:1) [10].

Zawartość Zn oznaczono metodą AAS oraz ICP-ES (granica oznaczalności Zn odpowiednio: 0,1 i 0,002 mg/dm³). Dokładność badań wyniosła 1,8 (dla $\alpha = 0,05$), średni błąd systematyczny względny 1%; a precyzja oznaczenia zawartości Zn w materiale roślinnym wynosi około 4%.

WYNIKI BADAŃ

W korzeniach traw pobranych jesienią z bliskiego sąsiedztwa ZGH stwierdzono zawartość Zn powyżej 10 g/kg, w liściach obumarłych ponad 8 g/kg, a w pozostałych liściach ilość waha się od 1,3 do 5,7 g/kg. Najmniej, bo około 1 g/kg cynku zostało zakumulowane przez łodygi (Tab. 1). W trawach rosnących w nieco dalszej odległości (oddalonych o ok. 2 km) zawartość badanego metalu zmniejsza się o ponad 50%. Przykładowo, w korzeniach nie stwierdzono Zn (g/kg) więcej niż 4, w liściach obumarłych 4,5 a w pozostałych liściach 1,8. W łodygach traw ilość metalu waha się od 250 do 450 mg/kg. Nieporównywalnie mniejsze zawartości opisywanego metalu, bo mieszczące się w przedziale 60–185 mg/kg oznaczono w próbkach traw kontrolnych.

W roślinach rosnących w wazonach laboratoryjnych stwierdzono następujące zawartości cynku: w korzeniach traw z bliskiego sąsiedztwa (odległość 50 m) aż 7043 mg/kg, w korzeniach traw pobranych z odległości 750 m od ZGH ilość Zn zmniejsza się ponad 5-krotnie, do wartości 1270 mg/kg (Tab. 2). Podobną zależność widać dla liści traw. W liściach najstarszych z bliskiego sąsiedztwa stwierdzono 2700 mg/kg, z odległości nieco większej od emitora zanieczyszczeń 5-razy mniej – 650 mg/kg. Zawartość Zn w liściach najmłodszych maleje wraz z odległością z 800 mg/kg do 280 mg/kg. W odległości powyżej 2000 m od ZGH zawartości cynku w trawach są znacząco, bo o około 2–3 razy mniejsze w porównaniu do roślin z bliskiego sąsiedztwa. Cynku w korzeniach traw rosnących

w odległości powyżej 2 km stwierdzono od 2200 do 4500 mg/kg, w liściach od 260 do 900 mg/kg (w obumarłych 1200–1700), w łodygach najmniej od 200 do 300 mg Zn/kg. W kontroli zawartość badanego pierwiastka nie przekroczyła 150 mg/kg w żadnej z pobranych traw.

Tabela 1. Zawartości Zn (mg/kg) w częściach traw pobranych w rejonie Bukowna i kontroli
Concentrations of zinc (mg/kg) in parts of grasses from Bukowno and control sites

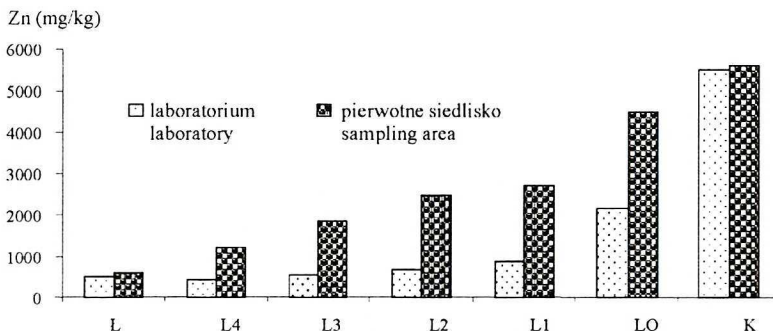
części traw parts of grasses	próbki pobrane z otoczenia ZGH „Bolesław” w Bukownie samples from surrounding of ZGH „Bolesław” – Bukowno		kontrola control site
	bliskiego (50–750 m) near Zn-smelter	dalszego (2000–2200 m) far of Zn-Smelter	Nowy Sącz
korzenie (K) roots	10900–10100	3900–2200	120
liście obumarłe (LO) dead leaves	9800–8000	4400–1100	110
liście najstarsze (L1) the oldest leaves	5700–5400	1700–900	185
liście pośrednie (L2-L3) leaves 2-3	4800–2800	1800–800	120
liście najmłodsze (L4) the youngest leaves	2500–1300	1200–500	100
łodyga (Ł) stalk	1100–900	450–250	60

Tabela 2. Zawartości Zn [mg/kg] w częściach traw rosnących w laboratoryjnych wazonach
Concentrations of zinc (mg/kg) in parts of grasses growing in boxes in laboratory

części traw parts of grasses	próbki pobrane z otoczenia ZGH „Bolesław” w Bukownie samples from surrounding of ZGH „Bolesław” – Bukowno		kontrola control site
	bliskiego (50–750 m) near Zn-smelter	dalszego (2000–2200 m) far of Zn-Smelter	Nowy Sącz
korzenie (K) roots	7000–1270	4500–2200	100
liście obumarłe (LO) dead leaves	8500–1200	1700–1200	150
liście najstarsze (L1) the oldest leaves	2700–650	900–300	150
liście pośrednie (L2-L3) leaves 2-3	1300–380	580–320	30–50
liście najmłodsze (L4) the youngest leaves	800–280	500–260	60
łodyga (Ł) stalk	980–930	300–200	40

Trawy umieszczone w wazonach laboratoryjnych, rosły na glebie pobranej z pierwotnego siedliska jednak wyeliminowano „bieżący” opad pyłów przemysłowych. Dlatego też największych różnic pomiędzy zawartością Zn w roślinach rosnących w sąsiedztwie ZGH i w laboratoryjnych wazonach należało się spodziewać w nadziemnych częściach roślin – w liściach. Stwierdzone różnice wyniosły blisko 300% (Rys. 1). Dla

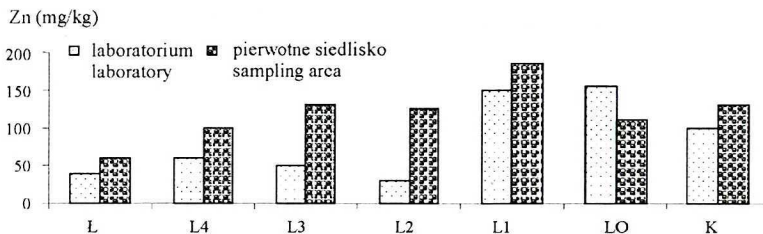
Łodyg i korzeni różnice zawartości Zn nie były aż tak zauważalne – stanowiły zaledwie 10% ilości badanego metalu.



Rys. 1. Porównanie zawartości Zn (mg/kg) w wydzielonych częściach traw z rejonu Bukowna rosnących w różnych warunkach wzrostu

The zinc concentration (mg/kg) in parts of grasses from Bukowno area, were growing in different sites

Podobną zależność stwierdzono dla terenu kontrolnego, ilości cynku zawarte w częściach traw wzrastających w pierwotnym siedlisku są wyższe niż w trawach rosnących w laboratorium. Różnica pomiędzy porównywalnymi próbkami nie jest natomiast większa niż 30–50% stwierdzonej zawartości (Rys. 2).



Rys. 2. Porównanie zawartości Zn (mg/kg) w wydzielonych częściach traw z rejonu kontrolnego rosnących w różnych warunkach wzrostu

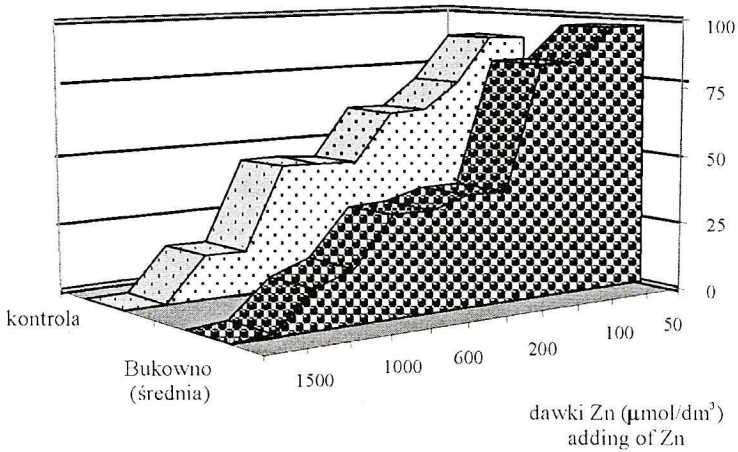
The zinc concentration (mg/kg) in parts of grasses from control site, were growing in different sites

Eksperyment wyznaczenia granicy tolerancji Zn traw *Agrostis capillaris* wykazał, iż dla próbek traw pobranych najbliższej ZGH najwyższą dawką, po której jeszcze zauważono nowe przyrosty korzeni było $1300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (co odpowiadało $784,8 \text{ mg Zn}$ na wazon), dla pozostałych próbek nieco mniej bo $1200 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (analogicznie $627,8 \text{ mg Zn}$). Dodanie początkowych dawek $50\text{--}400 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ metalu do kultur hydroponicznych nie powodowało zauważalnych zmian w rozwoju roślin, następował prawidłowy wzrost części nadziemnych. Przy wyższych dawkach, powyżej $400 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ nie zauważono w badanych roślinach nowego przyrostu korzeni (Rys. 3). A po dodaniu końcowych dawek Zn – $1500 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ zauważono chlorozę oraz zaburzenia w rozwoju roślin. Dawkami letalnymi dla połowy badanych populacji roślin (LD_{50}) były stężenia Zn 600 i $100 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (pierwsza wartość dla próbki pobranej najbliższej ZGH, druga dla pozostałych próbek). Graniczną dawką cynku dla roślin z terenu kontrolnego (LD_{100}) było $1000 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, zaś LD_{50} mieści się pomiędzy 800 a $1000 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

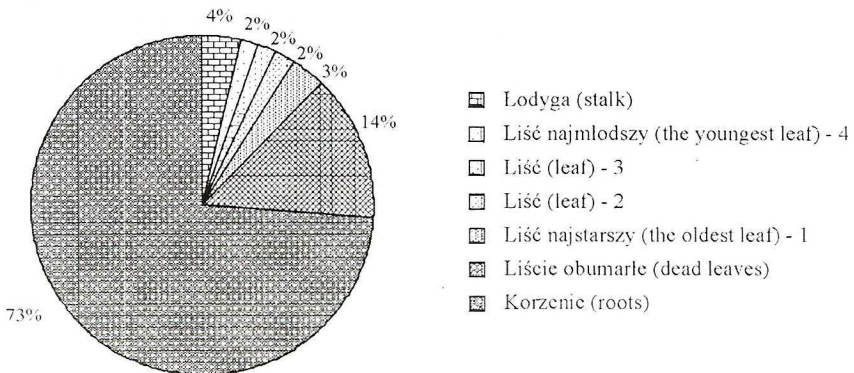
Zawartości cynku w poszczególnych częściach traw poddanych eksperymentowi wyznaczenia granicy tolerancji są szczególnie interesujące. Informują nas gdzie rośliny

akumulują nadmiar opisywanego pierwiastka. I tak najwyższe ilości Zn stwierdzono w korzeniach roślin, ponad 30000 mg/kg (dla próbki pobranej najbliżej ZGH – 50 m) oraz ponad 20000 mg/kg dla próbek pobranych w odległości nieco większej (około 2000 m). Wielkości te mogą być obarczone błędem wynikającym z zastosowania aktywnego węgla do barwienia korzeni i utrudnionego ich wymycia. W liściach obumarłych zawartości cynku były większe niż 2700 mg/kg, a w przypadku jednej próbki nawet powyżej 9000 mg/kg. W pozostałych liściach traw zawartości przekraczały 400 mg/kg. Wysokie, bo około 1000 mg/kg (dla jednej próbki powyżej 3000) koncentracje cynku oznaczono w łodygach traw. W trawach kontrolnych zawartości Zn wynoszą (mg/kg) w: korzeniach 18300, liściach obumarłych 3700, pozostałych liściach 500–2500 oraz łodygach 2200 (Tab. 3).

trawy wykazujące przyrost korzeni (%)
numbers of grasses appeared new roots



Rys. 3. Określenie granicy tolerancji Zn traw *Agrostis capillaris*
Zinc resistance of the grasses *Agrostis capillaris*



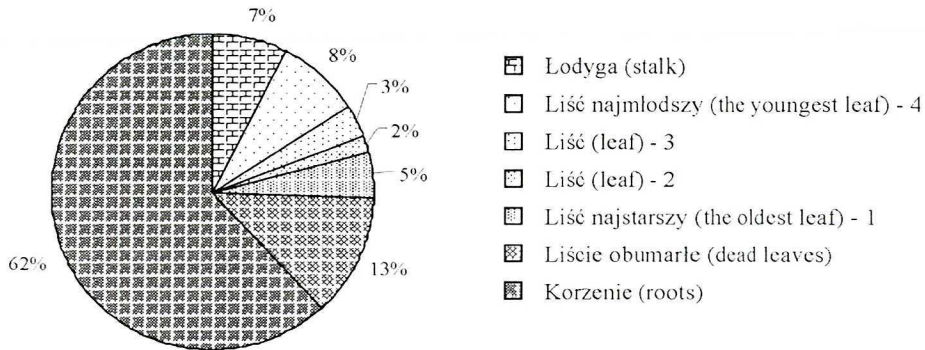
Rys. 4. Rozkład Zn (%) w częściach traw z rejonu Bukowna poddanych wyznaczeniu granicy tolerancji tego metalu

Distribution of zinc in grasses from Bukowno after Zn adding to hydroponic solution

Dodanie cynku do kultury hydroponicznej traw z rejonu Bukowna spowodowało 5-krotny wzrost tego metalu w korzeniach, w stosunku do ilości oznaczonej przez eksperymentem. Stanowi to 73% całkowitej zawartości tego metalu w roślinach (Rys. 4). W łodygach zauważono 2-krotny wzrost ilości cynku, i jest to 14% ogólnej zawartości badanego metalu. W liściach, Zn stwierdzono więcej (2–3 razy) w liściach traw rosnących w pierwotnych siedliskach, niż w próbkach z kultur hydroponicznych. W korzeniach traw kontrolnych poddanych wyznaczeniu granicy tolerancji Zn stwierdzono 140 razy więcej, w łodygach i liściach obumarłych 30 razy więcej tego metalu niż w próbkach rosnących w siedlisku pierwotnym. W korzeniach traw zakumulowane zostało 62% Zn, w łodygach 13%, a w liściach 2–8% całkowitej zawartości Zn (Rys. 5).

Tabela 3. Zawartości Zn [mg/kg] w częściach traw poddanych wyznaczeniu granicy tolerancji cynku
Concentrations of zinc (mg/kg) in parts of grasses after Zn adding to boxes

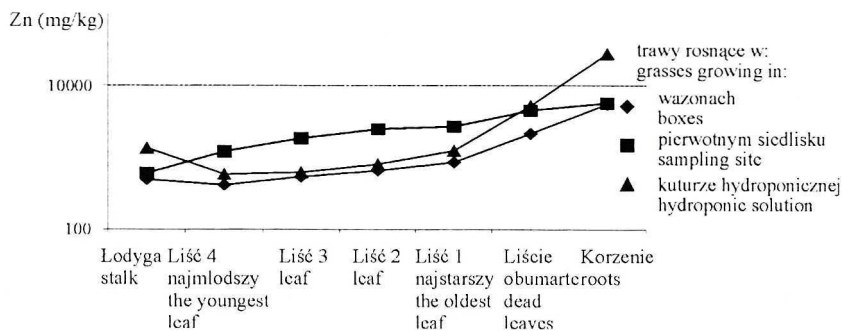
części traw parts of grasses	próbki pobrane z otoczenia ZGH „Bolesław” w Bukownie samples from surrounding of ZGH „Bolesław” – Bukowno		kontrola control site
	bliskiego (50–750 m) near Zn-smelter	dalszego (2000–2200 m) far of Zn-Smelter	Nowy Sącz
korzenie (K) roots	34500–31100	23700	18300
liście obumarłe (LO) dead leaves	2700–9000	4600–6500	3700
liście najstarsze (L1) the oldest leaves	1300–3900	400–1000	1330
liście pośrednie (L2-L3) leaves 2-3	700–1600	420–520	500-970
liście najmłodsze (L4) the youngest leaves	700–730	420–560	2500
łodyga (L) stalk	1600–3400	980–1080	2200



Rys. 5. Rozkład Zn (%) w częściach traw kontrolnych poddanych wyznaczeniu granicy tolerancji tego metalu
Distribution of zinc in grasses from control site after Zn adding to hydroponic solution

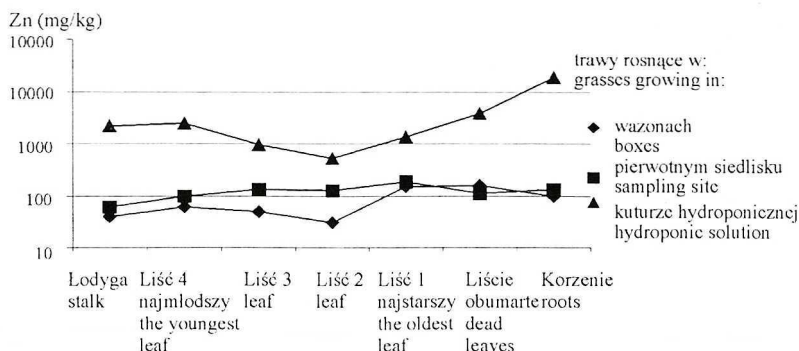
Dodanie dużych dawek Zn (1200 i $1500 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$) do środowiska wzrostu traw z rejonu Bukowna wykazał, iż nadmiar cynku został zatrzymany i unieruchomiony głównie w korzeniach i łodygach (Rys. 6). W liściach natomiast, najwyższe zawartości opisywanego pierwiastka stwierdzono w próbkach wzrastających na przestrzeni całego okresu wegetacji na terenach znajdujących się pod wpływem opadu pyłów przemysłowych. Powierzchnia liści jest największą u traw i na nią następuje głównie opad pyłów oraz związany z nim transport metalu do wnętrza liści.

Dodanie Zn do kultury hydroponicznej traw z rejonu kontrolnego spowodowało akumulację tego metalu we wszystkich częściach roślin, a zwłaszcza w korzeniach i liściach obumarłych (Rys. 7). Dodatek cynku do kultury hydroponicznej traw z rejonu kontrolnego spowodował wzrost ilości Zn w liściach i łodygach znacznie większy niż w częściach roślin pochodzących z Bukowna, pomimo iż dawka końcowa Zn dla terenu zanieczyszczonego była większa i wynosiła $1300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (dla kontroli $1000 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$). Suma wszystkich dodanych dawek Zn na wazon traw kontrolnych wynosi 2550 mg , i znacznie przekraczała zawartość tego metalu w glebie. Podobnie jest w przypadku liści najmłodszych traw kontrolnych, zawartości cynku są większe od odpowiadającym im liściom traw z rejonu Bukowna (Rys. 8).



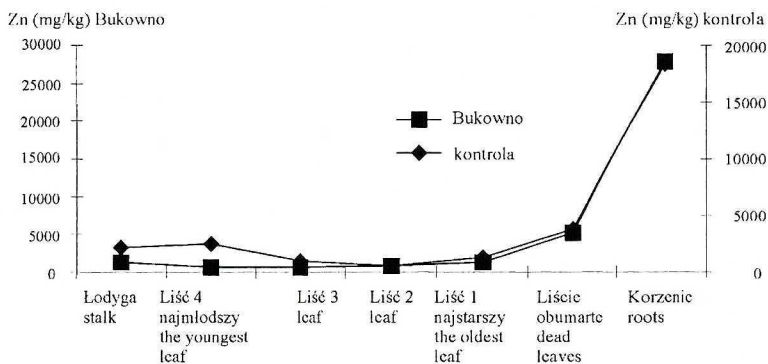
Rys. 6. Porównanie zawartości Zn w trawach z rejonu Bukowna rosnących w różnych warunkach wzrostowych

The zinc concentrations in grasses from Bukowno area, were growing in different sites



Rys. 7. Porównanie zawartości Zn w trawach z rejonu kontrolnego rosnących w różnych warunkach wzrostowych

The zinc concentrations in grasses from control area, were growing in different sites



Rys. 8. Zawartości Zn w poszczególnych częściach traw *Agrostis capillaris* po wyznaczeniu granicy tolerancji Zn
Concentration of zinc in parts of grasses *Agrostis capillaris* after adding Zn to hydroponic solution

Transport i akumulacja dużych ilości metalu do wnętrza rośliny, a zwłaszcza do jej „najmłodszych” części świadczy o braku odporności i nie wykształceniu barier zatrzymujących tak dużą ilość toksykanta jakim niewątpliwie jest Zn.

ZAKOŃCZENIE

Oznaczone zawartości Zn są znacząco większe od podawanych w literaturze jako średnie dla traw [9, 12, 13] i kwalifikują te tereny jako nie nadające się do użytku rolniczego [15]. Zawartość Zn znacząco zmniejsza się wraz z odległością od ZGH.

Stwierdzone zawartości Zn, niezależnie od środowiska wzrostu występują w następującym, malejącym szeregu:

korzenie >> liście obumarłe >> lodyga > liście najstarsze > liście pośrednie > liście najmłodsze

Wpływ opadu pyłów przemysłowych zaznacza się 3-krotnym wzrostem zawartości Zn w liściach, w stosunku do traw rosnących w miejscu osłoniętym (laboratorium).

Granica tolerancji Zn traw z rejonu Bukowna wynosi $1300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Cynk dodany do kultury hydroponicznej został „zatrzymany” głównie w korzeniach i lodygach badanych traw.

Badane trawy wykazały iż nadmiar Zn akumulowany jest głównie w korzeniach i starszych częściach traw – liściach najstarszych i obumarłych.

Opisany gatunek traw *Agrostis capillaris* wykazał bardzo dużą tolerancję ekologiczną, a tym samym może być wykorzystany w celach rekultywacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi, a zwłaszcza cynkiem.

* Praca została przygotowana do druku w ramach działalności statutowej ZGOiM 11.11.140.808.

LITERATURA

- [1] Adriano D.C., Z.S. Chen, S.S. Yang, I.K. Ikamdar: *Biogeochemistry of Trace Metals*, Science Reviews, 1997.
- [2] Baszyński T.: *O pośrednim mechanizmie działania metali ciężkich na reakcje fotochemiczne chloroplastów roślin wyższych*, [w:] Materiały Konferencyjne Zanieczyszczone środowisko a fizjologia roślin, Warszawa 1991, 7–15.

- [3] Chłopecka A.: *Wpływ różnych związków Cd, Cu, Pb i Zn na formy tych pierwiastków w glebie oraz na ich zawartość w roślinach*, Praca Doktorska, IUNG, Puławy 1992.
- [4] Chodak T., L. Szerszeń, A. Bodga: *Zmiany w składzie mineralogicznym gleb objętych niektórymi czynnikami degradującymi*, Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln., PAN, **418**, 435–441 (1995).
- [5] Ernst W.H.O.: *Element Allocation and (Re)Translation in Plants and its Impact on Representative Sampling*, Element Concent. Cadasters in Ecosys, 1989, 17–37.
- [6] Fabiszewski J.: *Reagowanie populacji roślin na stresy jonowe*, Zeszyty PAN, Oddz. Wrocław, 1983, 47–56.
- [7] Falińska K.: *Ekologia roślin – podstawy teoretyczne, populacja, zbiorowisko, procesy*, PWN, Warszawa 1996.
- [8] Gabara B.: *Zmiany w morfologii, anatomii i cytologii korzeni wywołane obecnością metali ciężkich*, [w:] Materiały Konf. Zanieczyszczone środowisko a fizjologia roślin, Warszawa 1991, 17–24.
- [9] Gambuś F.: *Metale ciężkie w wierzchniej warstwie gleb i w roślinach rejonu krakowskiego*, Zeszyty Naukowe AR, **179**, Kraków (1993).
- [10] Harmens H.: *Physiology of zinc tolerance in Silene vulgaris*, Vrije Universitet, Amsterdam (1993).
- [11] Jędrzejczyk B.M., W.S. Sikora: *Mobilność metali ciężkich z odpadów Zakładów Górniczo-Hutniczych „Bolesław”*, [w:] Materiały Konferencyjne Ogólnopolskiego Sympozjum, Kraków 1995, 49–50.
- [12] Kabata-Pendias A., M. Piotrowska, T. Witek: *Ocena jakości i możliwości rolniczego użytkowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi*, IUNG, Puławy 1993.
- [13] Kabata-Pendias A., H. Pendias: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN 1993.
- [14] Mowinckel I.P., E. Steinnes, N. Goltsova: *Evaluation of Hypogymnia physodes and bark from Pinus silvestris as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition*, International Conferen., Hamburg 1995, vol. I, 156–159.
- [15] Sawicka-Kapusta K., R. Świergosz, K.P. Zając, W. Korczańska: *Ocena skażenia rejonu Olkuskiego na podstawie badań roślinności użytków rolnych*, Zeszyty Naukowe AGH, Sozologia i Sozotechnika, Kraków 1990, **32**, 83–200.
- [16] Siuta J.: *Gleba – diagnozowanie stanu i zagrożenia*, IOŚ, Warszawa 1995.
- [17] Stuczyński T., H. Terelak, T. Motowicka-Terlak, M. Piotrowska: *Monitoring of heavy metals and sulfur in agricultural soils and plants in Poland*, Abstract 3-rd Interna. Symp. and Exhibition on Envir. Contam. in Central and Eastern Europe, Warszawa 1996, 78–80.