

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 56, 2012: 12–19
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 56, 2012)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 56, 2012: 12–19
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 56, 2012)

Weronika KOWALIK, Kinga PACHUTA

Katedra Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie
Department of Environmental Improvement WULS – SGGW

Ryszard MAZURCZUK

Katedra Inżynierii Budowlanej SGGW w Warszawie
Department of Civil Engineering WULS – SGGW

Biotechniczne właściwości palki szerokolistnej *Typha latifolia* i jej wykorzystanie w inżynierii środowiska

Biotechnical properties of *Typha latifolia* and its use in environmental engineering

Słowa kluczowe: biotechniczne właściwości, wytrzymałość na rozciąganie, kłącza

Key words: biotechnical properties, tensile strength, rhizomes

Wprowadzenie

Ważne miejsce w proekologicznych działaniach inżynierskich zajmuje stabilizacja i ochrona linii brzegowej za pomocą roślin. Helofity (rośliny bagienne, błotne i szuwarowe) w naturalny sposób umacniają i zabezpieczają dno i brzegi wód przed erozją. Posiadają one cechy składające się na elementy biotechnicznej sprawności roślin, jak: zdolność i łatwość do wegetatywnego rozmnażania się przy udziale przekształconych pędów, czyli kłączy i rozłogów oraz odpor-

ność na rozciąganie. Potrafią one przystać nawet do kilku metrów rocznie, przyczyniając się do rozprzestrzeniania gatunku i opanowania coraz większych powierzchni. Dzięki temu zbiorowisko roślin staje się konstrukcją biotechniczną, utrwalającą podłoże, a pojedyncza roślina – elementem biotechnicznym, obdarzonym zdolnością szybkiej regeneracji po uszkodzeniu mechanicznym (np. korzenia) lub zniszczeniu części zbiorowiska. Istotne znaczenie dla inżynierii środowiska i budownictwa hydrotechnicznego ma liczba pędów i wytrzymałość roślin na jednostce powierzchni. Na ogół im większe zagęszczenie zbiorowiska, tym jest ono stabilniejsze i bardziej odporne na zmienne warunki środowiska, jest to zależne od gatunku rośliny

i wytrzymałości mechanicznej jej części nadziemnych i podziemnych (Schiechtl 1999). W artykule omówiono interesującą cechę biotechniczną, jaką jest odporność poszczególnych części rośliny na rozciąganie na przykładzie pałki szerokolistej *Typha latifolia*.

Metodyka badań

Badania polegały na określeniu wytrzymałości na rozciąganie liści, pędów nadziemnych i kłaczy pałki szerokolistej *Typha latifolia*. Okazy pałki pobrano we wrześniu 2011 roku w pobliżu Warszawy, z wieloletniego i w pełni rozwiniętego zbiorowiska *Typhetum latifoliae*, z ukształtowanym systemem pędów nadziemnych i podziemnych (kłaczy). Rośliny w całości wydobywano z podłoża ręcznie. Robiono to ostrożnie, aby części roślin nie zostały uszkodzone w jakikolwiek sposób. Na miejscu dokonywano wstępnej selekcji, odrzucano okazy, które miały uszkodzenia mechaniczne, deformacje i zmiany chorobowe. Wybranych ponad 20 egzemplarzy, o jednakowym kształcie liści, pędów nadziemnych i podziemnych kłaczy oraz zbliżonej powierzchni przekroju poprzecznego, przewieziono do Centrum Wodnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W celu zabezpieczenia przed utratą wody transport odbywał się w grubych, plastikowych workach. Badania wytrzymałościowe w większości przypadków przeprowadzano tego samego dnia, a gdy było to niemożliwe, próbki zamknięte w workach umieszczano w akwenach Parku Centrum Wodnego. Czas przechowywania nie przekraczał trzech dni.

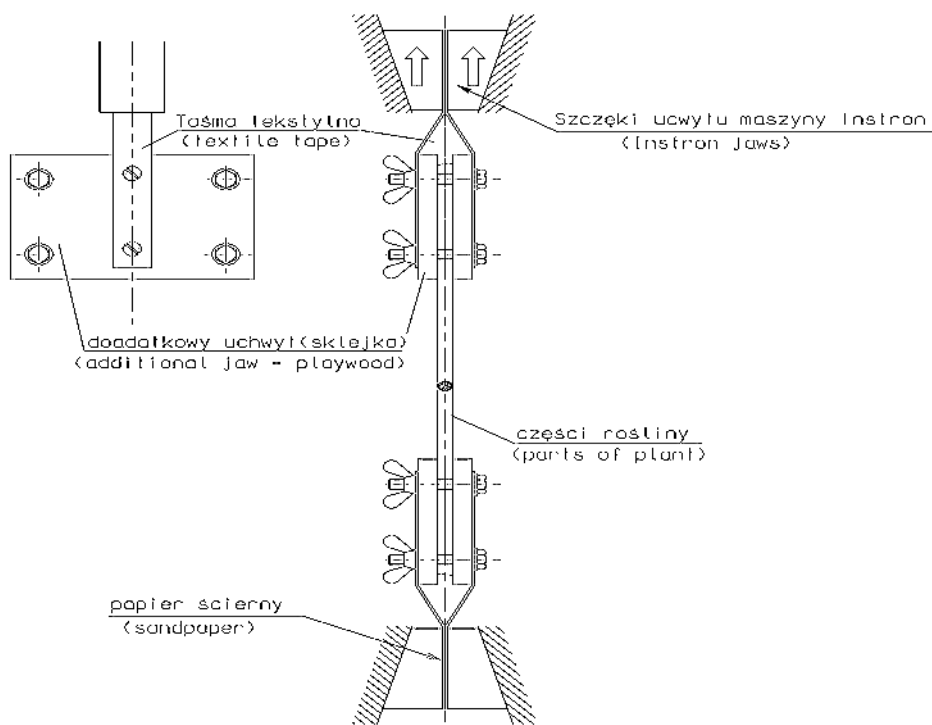
W celu ostatecznego wyselekcjonowania próbek wybrano 20 okazów roślin o takiej samej lub zbliżonej biometrii. Odcinki roślin przeznaczone do rozciągania miały od 20 do 430 mm długości.

Wytrzymałość poszczególnych części rośliny na rozciąganie określono za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Instron 5966 (rys. 1), o zakresie pomiarowym sił do 10 kN, z gwarantowaną dokładnością $\pm 0,5\%$. Przebieg badania rejestrowano z wykorzystaniem Programu Bluehill 2. Stała prędkość przemieszczenia podczas badania wynosiła $2-6 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Wynik opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji modelu ANOVA przy poziome ufności 0,05. Analiz dokonano w programie komputerowym STATISTICA.

Wyniki i dyskusja

Badania wykazały, że próbki liści o przekroju poprzecznym $50-94 \text{ mm}^2$ ulegały zerwaniu przy wartościach naprężeń zrywających w granicach od 2233,7 do 6023,9 kPa. Zależały one między innymi od usytuowania liścia w osobniku. Numer warstwy 1 oznacza dwa najbardziej zewnętrzne liście w osobniku, leżące naprzeciwko siebie. Kolejne warstwy, składające się z dwóch naprzeciwległych liści, leżą w głębszych partiach rośliny (tab. 1). W miarę zbliżania się do osi centralnej rośliny obserwowano wzrost wytrzymałości na zerwanie. Prawdopodobnie jest to mechanizm obronny rośliny przed zniszczeniem stożka wzrostu. Stwierdzono również, że próbki ulegały zerwaniu w nasadowej części liścia, zabarwionej na białe i z dużą ilością



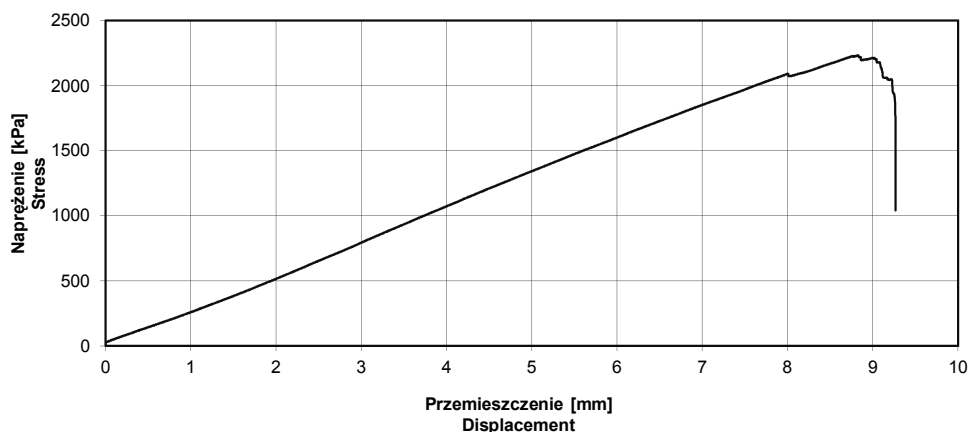
RYSUNEK 1. Schemat mocowania części rośliny w uchwytach urządzenia do pomiaru wytrzymałości na rozciąganie

FIGURE 1. Fixing scheme of parts of plant in chuck devices for measuring the tensile strength

TABELA 1. Wytrzymałość na rozciąganie liści pałki szerokolistnej *Typha latifolia*

TABLE 1. Tensile strength of *Typha latifolia* leaves

Nr warstwy Layer number	Pole przekroju poprzecznego liścia [mm ²] Cross – sectional area	Wytrzymałość na rozciąganie [kPa] Tensile strength	
		liść leave	średnia dla warstwy average for the layer
1	91,1	2233,7	2723,2
	78,5	3212,7	
2	87,9	2397,6	2857,0
	69,1	3316,4	
3	78,5	3117,2	4244,4
	51,8	5371,5	
4	51,8	6023,9	6023,9
1	94,2	2062,6	2207,2
	90,3	2351,7	
2	87,9	3022,1	3022,1



RYSUNEK 2. Charakterystyka rozciągania liści pałki szerokolistnej *Typha latifolia*
 FIGURE 2. Tensile characteristic of *Typha latifolia* leaves

śluzu, bądź też na pograniczu części białej i zielonej. Na rysunku 2 można zaobserwować, że wytrzymałość na rozciąganie rośnie liniowo wraz z odkształceniem, natomiast po osiągnięciu wartości maksymalnej gwałtownie maleje.

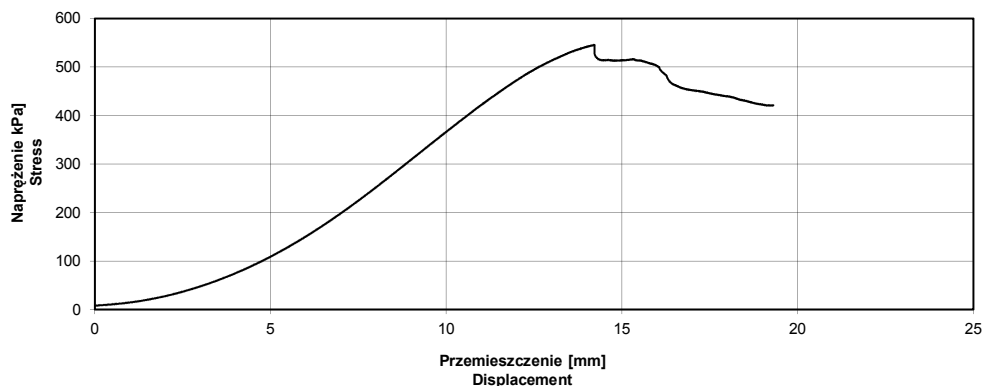
W przypadku nadziemnych części pędu wytrzymałość na rozciąganie wynosi od 326 do 1203,9 kPa dla przedziałów pól przekroju poprzecznego odpowiednio 600 i 1500 mm² (tab. 2). Na rysunku 3 można zauważyć, że naprężenia rosną liniowo wraz z przemieszczeniem. Po osiągnięciu wartości maksymalnej następuje łagodny i nieregularny spadek naprężeń aż do momentu ustabilizowania się na jednakowym poziomie. Wówczas linia biegnie równoległe do osi *X*.

We wszystkich próbach zerwania nastąpiły w środku lub w odległości co najmniej 3,0 cm od którejkolwiek ze szczęk urządzenia, często w kilku miejscach jednocześnie. Ponadto w czasie trwania prób powtarzał się ten sam schemat zdarzeń – zerwanie następowało stopniowo i warstwami. Najpierw zniszczeniu ulegały zewnętrzne liście, dopiero potem – położone głębiej. Potwierdziło to wyniki prób rozciągania przeprowadzonych na liściach pałki szerokolistnej *Typha latifolia*.

Wytrzymałość na rozciąganie dla pędów podziemnych (kłączy) wynosi od 701,5 do 746,8 kPa dla przedziału pól przekroju poprzecznego 176,0–230,0 mm² oraz od 722,3 do 815,5 kPa dla

TABELA 2. Wytrzymałość na rozciąganie nadziemnych części pędu pałki szerokolistnej *Typha latifolia*
 TABLE 2. Tensile strength of *Typha latifolia* shoots

Pole przekroju poprzecznego [mm ²] Cross – sectional area	Wytrzymałość na rozciąganie [kPa] Tensile strength		
	min	średnia average	max
600–1500	326,4	551,4	1203,9



RYСУNEK 3. Charakterystyka rozciągania nadziemnych części pędu pałki szerokolistnej *Typha latifolia* dla przedziału pól przekroju poprzecznego 600,0–1500,0 mm²

FIGURE 3. Tensile characteristic of *Typha latifolia* shoot for the range of cross – sectional area 600.0–1500.0 mm²

przedziału pól przekroju poprzecznego 230–350 mm² (tab. 3). Na rysunku 4 widać wzrost napężenia wraz z przemieszczeniem. Po osiągnięciu wartości maksymalnej następuje gwałtowny spadek. Ponadto na niektórych odcinkach wykresu przed osiągnięciem wartości maksymalnej sił występują liczne nieregularności. Świadczy to o tym, że proces zrywania rozpoczął się w miejscach niewidocznych dla badającego jeszcze przed osiągnięciem wartości maksymalnej sił rozciągających. Wtedy też pojawiały się drobne pęknięcia, często w kilku miejscach jednocześnie. Zauważono również, że w próbce ulegała zerwaniu

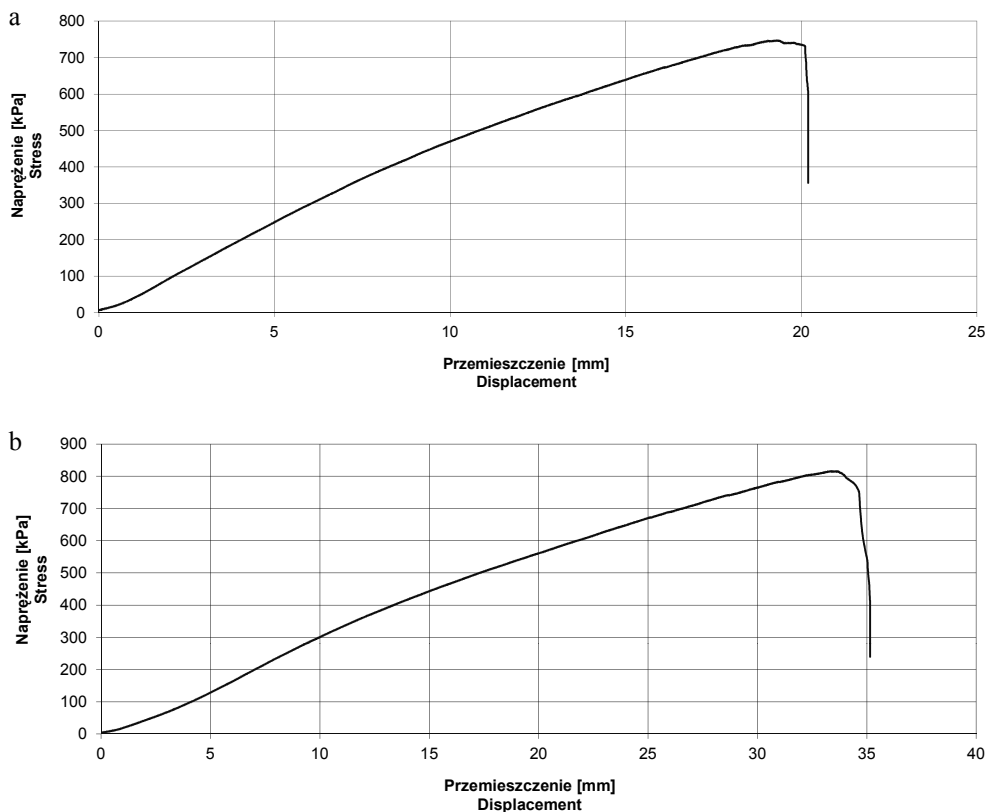
najpierw zewnętrzna warstwa, dopiero potem wewnętrzna, co ma związek z budową kłacza, gdzie zewnętrzna warstwa ma strukturę gąbczastą, a wewnętrzna włóknistą.

Analiza wariancji ANOVA stwierdziła istotną różnicę między średnią wytrzymałością na rozciąganie poszczególnych części pałki szerokolistnej *Typha latifolia* ($p = 0,0000001$). W celu dokładniejszego określenia różnic zastosowano dwa testy ANOVA post hoc: NIR oraz Tuckey’a dla nierównych licznosci. Wykazały one istotność różnic między pojedynczymi liśćmi a częściami pędu nadziemnego ($p = 0,000133$) oraz liśćmi

TABELA 3. Wytrzymałość na rozciąganie pędów podziemnych (kłaczy) pałki szerokolistnej *Typha latifolia*

TABLE 3. Tensile strength of *Typha latifolia* rhizomes

Pole przekroju poprzecznego [mm ²] Cross – sectional area	Wytrzymałość na rozciąganie [kPa] Tensile strength		
	min	średnie average	max
176–230	701,5	733,3	746,8
230–350	722,3	764,3	815,5



RYSUNEK 4. Charakterystyka rozciągania pędów podziemnych (kłączy) pałki szerokolistnej *Typha latifolia*: a – dla przedziału pół przekroju poprzecznego 176–230 mm², b – dla przedziału pół przekroju poprzecznego 230–350 mm²

FIGURE 4. Tensile characteristic of *Typha latifolia* rhizomes for the range of cross: a – sectional area 176–230 mm², b – sectional area 230–350 mm²

a pędem podziemnym ($p = 0,000130$). Natomiast nie ma istotnej różnicy między pędami nadziemnym i podziemnym ($p = 0,898649$).

Podsumowanie

Wyniki badań wskazują, że najsilniejszym elementem pałki szerokolistnej *Typha latifolia* są liście. Średnia wytrzymałość dla jednego liścia na rozciąganie to 3310,0 kPa. Słabsze okazały się pędy podziemne (kłącza), których średnia

wytrzymałość na rozciąganie wyniosła 758,5 kPa. Porównywalne do kłącza są części pędu nadziemnego – ich średnia wytrzymałość na rozciąganie wyniosła 551,4 kPa.

Uzyskaną wartość średnią dla pędu podziemnego (kłącza) pałki szerokolistnej porównano z danymi dotyczącymi korzeni drzew, krzewów i roślin zielnych, podanymi przez różnych autorów. Według Rokity (1970) średnia wytrzymałość na rozciąganie korzeni buka zwyczajnego *Fagus silvatica* wyniosła

22 148 kPa, a wrześni pobrażonej *Myricaria germanica* – 6174 kPa. Schiechtl (1973) stwierdził, że perz *Elymus* osiąga wartość średnią 16 150 kPa. Korzenie buka są więc 25 razy, wrześni – 8 razy, a perzu – 21 razy wytrzymalsze niż kłaczce pałki szerokolistnej.

Na podstawie powyższych wyników wydawać by się mogło, że pałka szerokolistna słabo wzmacnia brzegi zbiorników wodnych. Jednakże posiada ona cechy, które wskazują, że tak nie jest. Korzenie wielu roślin źle znoszą stałe podtopienie i po pewnym czasie gniją, tracąc w ten sposób swoją wytrzymałość, a więc właściwości biotechniczne. Najczęściej unikają one wrastania poniżej poziomu zwierciadła wód gruntowych. Tymczasem kłaczca pałki tworzą gęstą sieć, sięgającą nawet kilku metrów w głąb gruntu. Są też doskonale przystosowane do stabilizacji podłoża w warunkach stałego zatopienia, niedotlenienia, eutrofii, zanieczyszczenia środowiska i antropopresji. Pałka nadaje się do stosowania w akwenach o skrajnie wysokiej trofii (Polakowska 1992, Podbielkowski i Tomaszewicz 1992, Kłossowscy 2007), stąd jest też stosowana w oczyszczalniach ścieków. Może wzmacniać brzegi wód stojących i płynących oraz ich dno do głębokości 1,5 m, nadaje się do wód skażonych termicznie i lekko słonych. Rozległe szuwały pałkowe ustępują pod względem częstości występowania i wytrzymałości na antropopresję jedynie trzcinnie pospolitej.

Wnioski

1. Wytrzymałość na rozciąganie jest ważną cechą biotechniczną roślin i jej elementów.

2. Najsilniejszą częścią pałki szerokolistnej jest liść, którego średnia wytrzymałość wynosi 3310,0 kPa.

3. Pęd podziemny (kłaczce) wykazuje mniejszą wytrzymałość na rozciąganie niż liście – około 758,5 kPa. Jednakże spełnia on funkcję wzmacniającą brzegi zbiorników wodnych nawet wtedy, gdy brak jest części nadziemnych rośliny.

4. Pałka szerokolistna nadaje się do umocnienia brzegów zbiorników wodnych w warunkach, które nie są zbyt sprzyjającym środowiskiem dla wielu gatunków roślin.

Literatura

- KŁOSSOWSKI G., KŁOSSOWSKI S. 2007: Rośliny wodne i bagienne. MULTICO, Warszawa.
- PODBIELKOWSKI Z., TOMASZEWICZ H. 1992: Zarys hydrobotaniki. PWN, Warszawa.
- POLAKOWSKA M. 1992: Rośliny wodne. WSiP, Warszawa.
- ROKITA Z. 1970: Systemy korzeniowe niektórych drzew i krzewów i ich przydatność do obudowy biologicznej potoków górskich. *Ochrona przyrody* R. 35: 100–155.
- SCHIECHTL H.M. 1973: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Munich.
- SCHIECHTL H.M. 1999: Inżynieria ekologiczna w budownictwie wodnym i ziemnym. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- 5960 Series Dual Column Frames System Support 2009 Illinois Tools Works inc (materiały firmy Instron).
- Bluehill 2 Test Method Development Training Training Manual 2009. Instron.

Streszczenie

Biotechniczne właściwości pałki szerokolistnej *Typha latifolia* i jej wykorzystanie w inżynierii środowiska. W artykule przedstawiono wyniki badań nad właściwościami mechanicznymi pałki szerokolistnej. Opisano metodykę wykonania badań. Ustalono wytrzymałość na zerwanie poszczególnych elementów rośliny – pędów podziemnych (kłączy), pędów nadziemnych i liści. Porównano je z danymi dotyczącymi niektórych gatunków drzew, krzewów i roślin zielnych, podanymi przez innych autorów.

Summary

Biotechnical properties of *Typha latifolia* and its use in environmental engineering. The results of researches on mechanical properties of *Typha latifolia* are presented in this paper. A methodology of the researches is described. Tensile strength of different parts of the plant – rhizomes, shoots and leaves, is determined. They are compared to data relating to some species of trees, bushes and herbaceous plants.

Authors' addresses:

Weronika Kowalik, Kinga Pachuta
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland

e-mail: weronika85sier@interia.pl
kinga_pachuta@sggw.pl

Ryszard Mazurczuk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Budowlanej SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland

e-mail: rmazurczuk@gmail.com