

Szczepan L. DĄBKOWSKI\*, Kazimierz GARBULEWSKI\*\*,  
Kinga PACHUTA\*\*\*

## Mechaniczne właściwości darni wyczyńca łąkowego i mozgi trzcinowatej

### Abstract

**Mechanical properties of grass turf with *Alopecurus pratensis* and *Phalaris arundinacea*.** The objective of this paper is to describe the test methods applied for determination of shear, tensile and pull-out strength of grass turfs. Preparation of turf samples and properties of soil used in the laboratory tests are presented. Finally, the equipment used and obtained test results are discussed.

*Key words: grass turf, Alopecurus pratensis, Phalaris arundinacea, shearing, tensile, pull-out*

### Wstęp

W rozwiązaniu wielu problemów inżynierii środowiska i budownictwa wodnego potrzebna jest znajomość mechanicznych właściwości darni roślin i ich odporności na działanie czynników zewnętrznych. Spośród tych czynników można wyróżnić działanie strumienia wody spływającej – np. po zadarnionym stoku, zjawiska płytkich zsuwów, naciski kół maszyn i inne. W wyniku zsuwu lub poślizgu może wystąpić rozrywanie darni, ścinanie, odrywanie płatów od podłoża

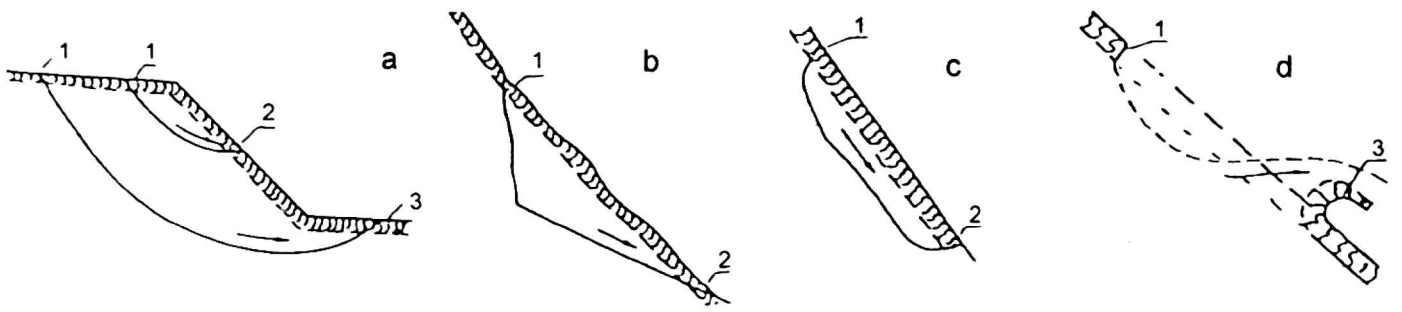
(rys. 1). Przy dużej prędkości spływającej wody rośliny mogą być wyrwane z korzeniami.

W pracy przedstawiono sposoby i wyniki badań mechanicznych cech modelowych darni dwóch gatunków traw: wyczyńca łąkowego (*Alopecurus pratensis*) i mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*). Określono wytrzymałość darni na ścinanie, rozciąganie oraz wyrwanie traw z węzłami krzewienia. Przebieg i wyniki wstępnych badań, wykonanych na piętnastoletniej wielogatunkowej darni oraz na kilku próbkach półrocznej darni wymienionych gatunków traw, przedstawiono w artykule Dąbkowskiego i in. (1994). Niniejsza praca prezentuje wyniki uzyskane dla starszych darni obu gatunków traw. Badania prowadzono tak, by można było obserwować jednocześnie zmiany mechanicznych właściwości gruntów oraz procesy zachodzące w ryzosferze. Rozróżnienie tych zjawisk jest potrzebne do opracowania metody rozdzielania wytrzymałości dla darni na czę-

\*Katedra Budownictwa Wodnego SGGW, \*\*Katedra Geotechniki SGGW,

\*\*\*Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW,

ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.



**Rys. 1.** Typy osuwisk: a – głęboki poślizg z obrotem, b – głębokie przesunięcie, c – płytki zsuw powierzchniowy, d – odrywanie; 1 – rozrywanie, 2 – ścinanie, 3 – odrywanie darni od podłoża

ści odpowiadające samemu gruntowi i dodatkowe, spowodowane występowaniem korzeni.

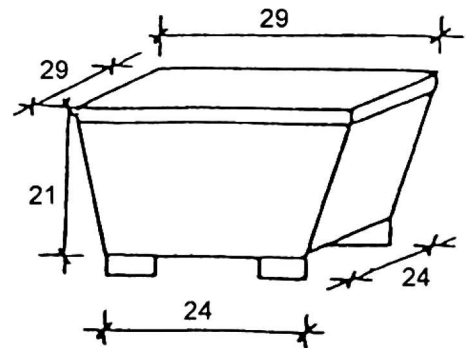
Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 57089203, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1992–1995.

## Przygotowanie darni traw do badań

W celu uzyskania jednolitej, modelowej darni trawiastej w wazonach założono hodowlę dwóch gatunków traw, różniących się właściwościami ekologicznymi. Wyczyniec łąkowy jest trawą używaną do obsiewu pasa skarp położonego powyżej wysokich stanów wody. Mozga trzcinowata preferuje siedliska podtopione i może być stosowana w pasie skarp powyżej wód średnich.

Wazony z PCV (rys. 2) napełniono gruntem, uprzednio rozdrobnionym i przesianym. Była to glina zawierająca 55% frakcji piaskowej, 34% frakcji pyłastej, 11% frakcji ilastej oraz 8,1% części organicznych. Materiał gruntowy charakteryzował się następującymi właściwościami:

- granica płynności  $w_L$  – 41%,
- granica plastyczności  $w_p$  – 28,2%,



**Rys. 2.** Wazon do hodowli darni jednogatunkowej (wymiary w cm)

- wskaźnik plastyczności  $I_p$  – 12,8%,
- wilgotność optymalna  $w_{opt}$  – 23%,
- gęstość właściwa szkieletu gruntowego  $\rho_s$  –  $2,54 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,
- maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego  $\rho_{dmax}$  –  $1,42 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

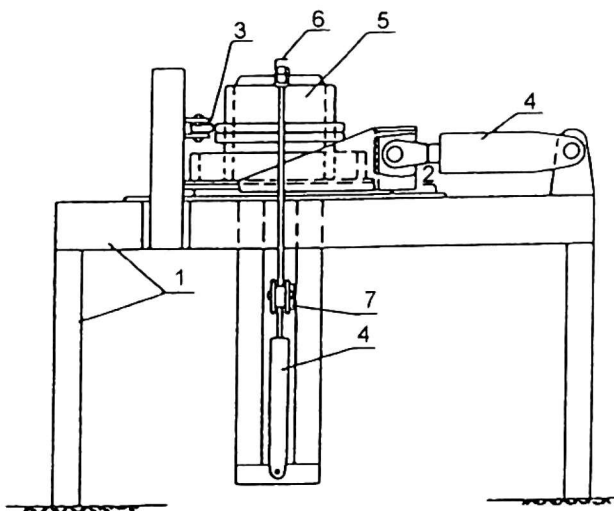
Do każdego wazonu nasypywano 25 kg gruntu o wilgotności 22–23% i ubijano go warstwami do uzyskania wskaźnika zagęszczenia  $I_s = 0,95$ , jednakowego dla każdej warstwy.

W maju 1993 r. 21 wazonów obsiano wyczyncem łąkowym, 21 – mozgą trzcinowatą, a 3 nie obsiane wazony stanowiły próby kontrolne. W trakcie wschodów, a następnie faz krzewienia i strzelania w źdźbło, wazony odchwaszczano, nawożono i podlewano.

## Wyniki badań odporności darni trawiastych na ścinanie

Badania wytrzymałości darni przeprowadzono w dwóch aparatach bezpośredniego ścinania: wielkowymiarowym i standardowym. Aparat wielkowymiarowy (rys. 3) jest prototypowym urządzeniem wykonanym w laboratorium Katedry Geotechniki SGGW o następujących danych technicznych:

- siła pionowa 5–20 kN,
- siła pozioma do 20 kN,
- prędkość ścinania 0,1–100 mm/min,
- wymiary skrzynki 250×250×200 mm.



**Rys. 3.** Schemat wielkowymiarowego aparatu bezpośredniego ścinania: 1 – rama podstawy stanowiska, 2 – płyta podstawy stanowiska, 3 – czujnik tensometryczny do pomiaru siły poziomej, 4 – siłownik, 5 – skrzynka aparatu bezpośredniego ścinania, 6 – dźwignia górną, 7 – czujnik tensometryczny do pomiaru siły pionowej

Zasadnicze badania przeprowadzono dla próbek, których górna, obciążona stemplem powierzchnia była zarazem powierzchnią darni. Przy stałym obciążeniu pionowym i stałej prędkości odkształceń poziomych uzyskiwano wartości siły poziomej  $T$  przesuwej dolną (w aparacie

wielkowymiarowym) lub górną (w aparacie standardowym) część skrzynki.

Uzyskano zależności pomiędzy przemieszczeniami warstw gruntu i wartościami naprężeń stycznych, które przedstawiano w postaci wykresów. Naprężenia styczne określano jako stosunek siły poziomej  $T$  do całkowitego pola powierzchni ścicia. Z wykresów odczytano maksymalne wartości naprężeń stycznych. Przyporządkowując im stosowane przy ścinaniu naprężenia normalne, obliczane jako iloraz pionowego obciążenia i całkowitej powierzchni ścicia, sporządzono graficzne związki obu tych naprężeń. Wyznaczono z nich parametry wytrzymałościowe gruntu, zakładając prostoliniowe kryterium Coulomba-Mohra. Kąt nachylenia prostej do osi odciętych (oś naprężeń normalnych) przyjmowano za kąt tarcia wewnętrznego gruntu  $\phi$ , natomiast odcinek od punktu zerowego do punktu przecięcia prostej z osią rzędnych wyznaczał spójność gruntu.

Wytrzymałość na ścinanie gruntu nie obsianego trawami, również zagęszczonego w wazonach, określono w standardowym aparacie bezpośredniego ścinania na próbkach o wymiarach 120×120×80 mm, przy prędkości ścinania  $v = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Badania przy pionowych obciążeniach  $\sigma_n$ : 25, 50 i 75 kPa przeprowadzono dla sześciu próbek – trzy miały wilgotność naturalną, a trzy badano po zalaniu ich wodą w aparacie. Dla próbek o wilgotności naturalnej uzyskano następujące maksymalne wartości naprężeń stycznych (wytrzymałości na ścinanie):

$$\begin{aligned} \text{dla } \sigma_n = 25 \text{ kPa} & \quad - \tau_f = 24 \text{ kPa}, \\ \text{dla } \sigma_n = 50 \text{ kPa} & \quad - \tau_f = 44 \text{ kPa}, \\ \text{dla } \sigma_n = 75 \text{ kPa} & \quad - \tau_f = 55 \text{ kPa}, \end{aligned}$$

oraz następujące parametry wytrzymałościowe:

kąt tarcia wewnętrzny  $\phi = 32^\circ$ ,  
spójność  $c = 10$  kPa.

W przypadku próbek nasączonych wodą parametry te wynosiły odpowiednio  $29^\circ$  i 6 kPa.

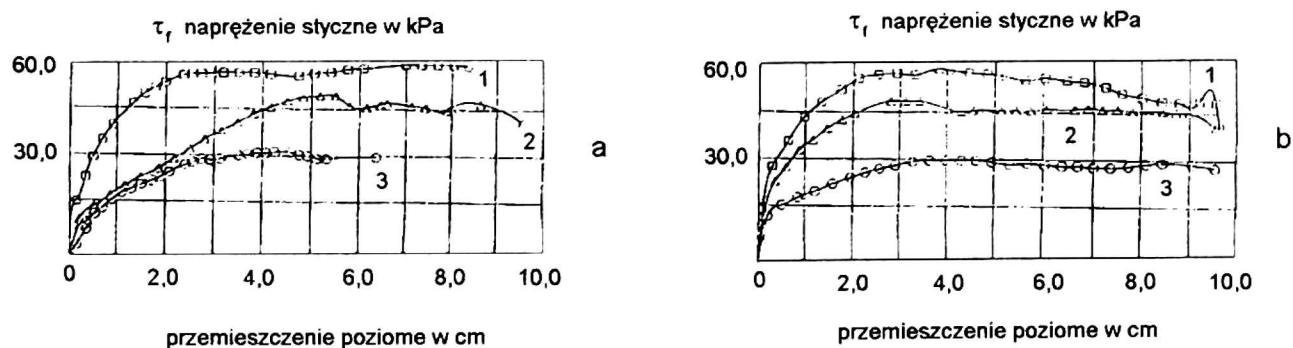
Badania darni przeprowadzono na próbkach, których górna powierzchnia była obciążona stemplem. Płaszczyzny ścinania na głębokościach 4 i 10 cm przebiegały równoległe do powierzchni gleby.

Pierwszą serię badań przeprowadzono na sześciomiesięcznej darni w aparacie wielkowymiarowym, ścinając próbki z prędkością  $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  (rys. 4, 5). Charakterystyki badanych prób darni zestawiono w tabeli 1.

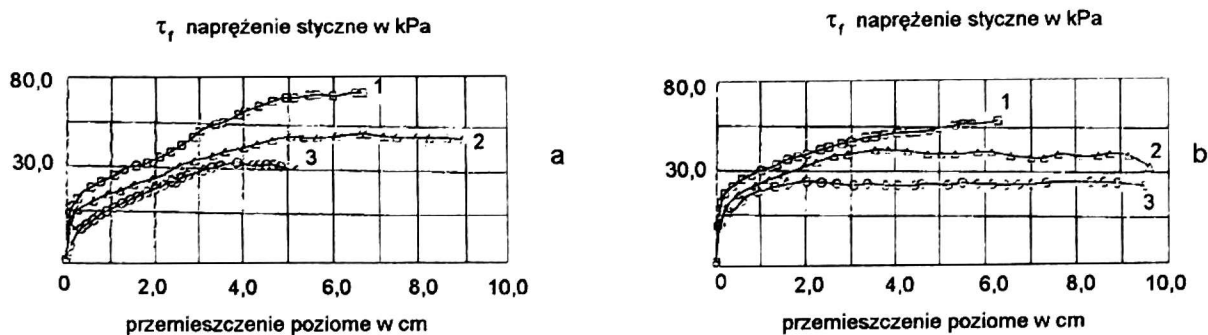
Badania wykazały, że wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności wynosiły:

- dla darni wyczyńca
  - na głębokości 4 cm  
 $\phi = 52,3^\circ$      $c = 10,7$  kPa,
  - na głębokości 10 cm  
 $\phi = 47,3^\circ$      $c = 9,8$  kPa;
- dla darni mozgi
  - na głębokości 4 cm  
 $\phi = 47,0^\circ$      $c = 7,4$  kPa,
  - na głębokości 10 cm  
 $\phi = 48,5^\circ$      $c = 4,2$  kPa.

Kolejną serię badań przeprowadzono na 13-miesięcznej darni (czerwiec/lipiec 1994 r.) – tabela 2, oraz na darni 18-miesięcznej (listopad/grudzień 1994 r.). W pierwszym terminie użyto aparatu wielkowymiarowego, wykonując ścinania w



Rys. 4. Wyniki badań 6-miesięcznej darni mozgi trcinowatej ścinanych na głębokości 4 cm (a) i 10 cm (b) przy naprężeniu pionowym: 1 – 50 kPa, 2 – 30 kPa, 3 – 25 kPa



Rys. 5. Wyniki badań 6-miesięcznej darni wyczyńca łąkowego ścinanych na głębokości 4 cm (a) i 10 cm (b) przy naprężeniu pionowym: 1 – 50 kPa, 2 – 30 kPa, 3 – 25 kPa

**Tabela 1.** Charakterystyka badanych darni

Nr próby	Data próby ścinania	Średnia wysokość traw [cm]	Pokrycie gleby roślinnością [%]	Zadarnienie [%]	Dodatkowe gatunki i ich udział [%]	Stadium fenologiczne	Liczba źdźbeł na powierzchni wazonu (i na 1 m <sup>2</sup> )
<b>Darń wyczyńca łąkowego <i>Alopecurus pratensis</i></b>							
1	27.10.93	5,5	85–90	60–75	<i>Poa annua</i> 5%, <i>Stellaria media</i> i <i>Cerastium vulgatum</i> (razem mniej niż 1%)	krzewienie	968 (16805)
2	27.10.93	6	85	70	<i>Cerastium arvense</i> 5%, <i>Poa annua</i> 5%, <i>Taraxacum officinale</i> i <i>Senecio vulgaris</i> (mniej niż 1%)	krzewienie (kilka, kilkanaście liści)	968 (16805)
3	10.11.93	7	75	60	<i>Plantago lanceolata</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Lolium perenne</i> (mniej niż 5%)	jw.	1018 (17674)
<b>Darń mozgi trzcinowatej <i>Phalaris arundinacea</i></b>							
1	4.09.93	12*	100	75	<i>Poa annua</i> 5% oraz pojedynczo <i>Trifolium repens</i> i <i>Plantago lanceolata</i> (razem ok. 1%)	krzewienie (4 liście)	991 (17205)
2	18.10.93	5,5	90	65	<i>Poa annua</i> 5%, <i>Taraxacum officinale</i> i <i>Plantago maior</i> (mniej niż 1%), mchy 5%	krzewienie	964 (16715)
3	21.10.93	6	85	60	<i>Poa annua</i> i <i>Plantago maior</i> 5%	krzewienie	1160 (20126)

\*Dwa tygodnie po skoszeniu.

**Tabela 2.** Wytrzymałość na ścinanie 13-miesięcznej darni traw

Obciążenie normalne [kPa]	Wytrzymałość na ścinanie $\tau_f$ [kPa]			
	wyczyńca łąkowego na głębokości		mozgi trzcinowatej na głębokości	
	4 cm	10 cm	4 cm	10 cm
25	82	67	50	42
35	76	56	43	32
50	92	64	60	50

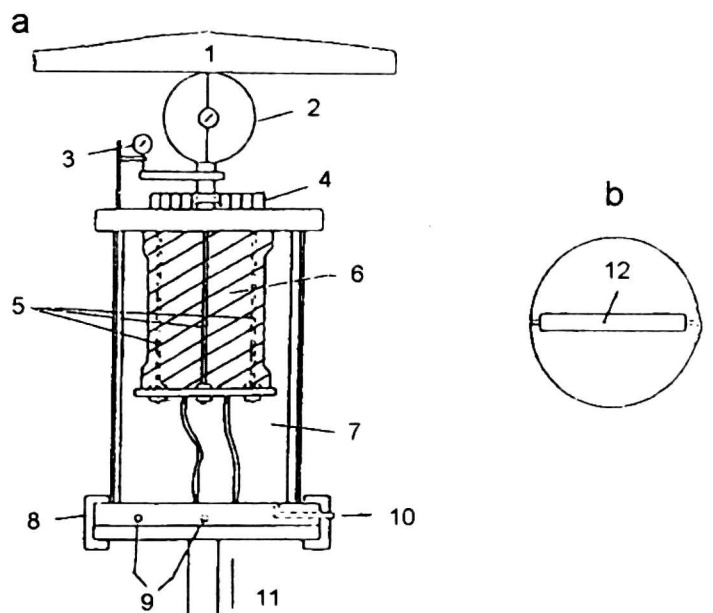
dwóch płaszczyznach: 4 i 10 cm od powierzchni gleby przy prędkości odkształceń  $20 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  i obciążeniach normalnych: 25, 35 i 50 kPa. W drugim terminie zastosowano takie same warunki dla 5 próbek darni wyczyńca i 5 próbek darni mozgi. Badania wykonano stosując prędkość odkształceń próbki wynoszącą  $20 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  i obciążenie 35 kPa.

Z badań próbek darni 18-miesięcznej uzyskano:

- dla darni wyczyńca
  - na głębokości 4 cm  
 $\tau_f = 63\text{--}80 \text{ kPa}$ ,
  - na głębokości 10 cm  
 $\tau_f = 47\text{--}53 \text{ kPa}$ ;
- dla darni mozgi
  - na głębokości 4 cm  
 $\tau_f = 48\text{--}58 \text{ kPa}$ ,
  - na głębokości 10 cm  
 $\tau_f = 33\text{--}40 \text{ kPa}$ .

## Wyniki badań wytrzymałości darni na wyrywanie traw

Stanowisko do badań wytrzymałości korzeni na wyciąganie składało się z następujących elementów: prasy mechanicznej, komory aparatu trójosiowego ściskania i prętowego chwytaka. Napęd prasy pozwalał wyciągać z gruntu trawy wraz z korzeniami, za węzły krzewienia, z prędkością  $6 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Darń umieszczono wewnątrz zmodyfikowanej komory aparatu trójosiowego ściskania (rys. 6). Próbka w kształcie cylindra o średnicy 10 cm i wysokości 25 cm znajdowała się w gumowej osłonie. Umożliwiało to zadawanie, za pomocą układu hydraulicznego, wymaganych obciążeń zewnętrznych. W pokrywie aparatu wykonano owalny otwór, wyprofilowany w przekro-



**Rys. 6.** Schemat aparatu do badań wytrzymałości darni na wyciąganie korzeni traw: 1 – rama blokująca, 2 – pierścień dynamometryczny, 3 – czujnik pomiaru przemieszczeń, 4 – chwytak, 5 – pręty łączące podstawę próbki z kopułką, 6 – próbka, 7 – szklany cylinder, 8 – klamra mocująca, 9 – czujniki pomiaru ciśnienia wody w porach, 10 – wejście do układu zasilającego ciśnienie boczne, 11 – kierunek ruchu, 12 – wyprofilowany otwór

ju pionowym w taki sposób, aby w trakcie wyciągania korzeni grunt nie opierał się o jego krawędzie. Do wyciągania traw z gruntu służył specjalny chwytak zbudowany z 14 połączonych obejmą prętów, których zagięte końce miały kształt pazurków. Ustawienie prętów regulowano suwakową obejmą powodującą rozsuwanie lub zbliżanie się prętów po uchwyceniu traw za węzły krzewienia. Chwytak mocowany był w szczękach prasy mechanicznej.

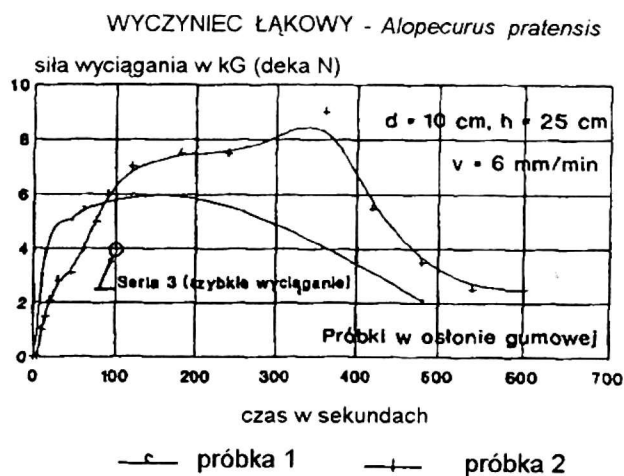
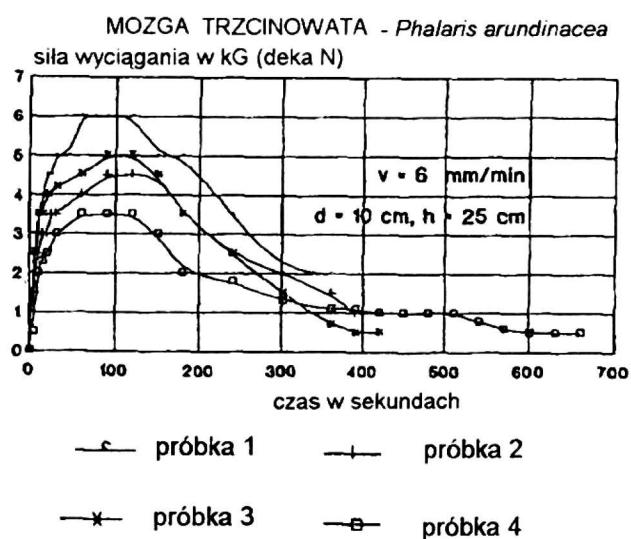
Pierwsze próby na półrocznej darni wyczyńca przeprowadzono w okresie od 9.12.1993 do 25.01.1994, a na półrocznej darni mozgi od 7 do 10.10.1994 (rys. 7). Następne próby wykonano w czerwcu i

lipcu 1994 r. oraz w listopadzie i grudniu 1994 r. Wyniki badań metodą wyciągania korzeni przedstawiono w formie zależności siły wyciągania od czasu. W badaniach 6-miesięcznej darni wyczyńca (grudzień 1993 / styczeń 1994) próbki znajdowały się w komorze w osłonie gumowej, a próbki darni mozgi bez takiej osłony (w komorze nie było wody). Przy prędkości wyciągania korzeni  $6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  wartość siły potrzebnej do wyrwania korzeni wyczyńca wyniosła od 60 do 80 N, a w przypadku szybkiego (niekontrolowanego) wyciągania – 40 N. Wartości sił dla próbek darni mozgi były podobne (rys. 7). Darni wyczyńca badana w styczniu 1994 r. miała pokrycie 100%

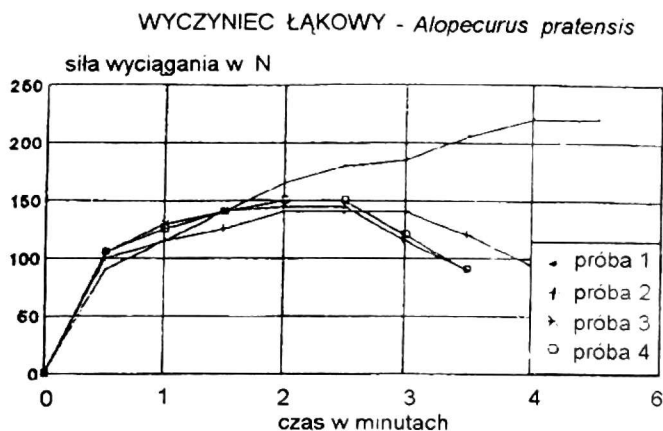
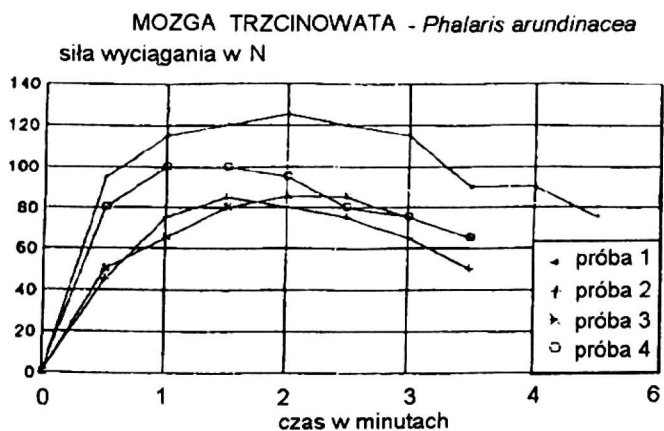
oraz równomierne i jednorodne zadarnienie – około 70%. Chwytkiem ujęto 10 węzłów krzewienia, z których wyrastało 30 źdźbeł. Długości 56 korzeni wyprapowanych z oderwanej części próbki mieściły się w przedziale od 12 do 51 mm (średnio 35 mm). Średnice korzeni pierwszorzędowych wynosiły około 0,39 mm, a drugo- i trzeciorzędowych – około 0,28 mm.

Na podstawie badań 13-miesięcznej darni (rys. 8) uzyskano następujące zakresy wartości sił, przy których następowało wyciągnięcie korzeni traw z gruntu:

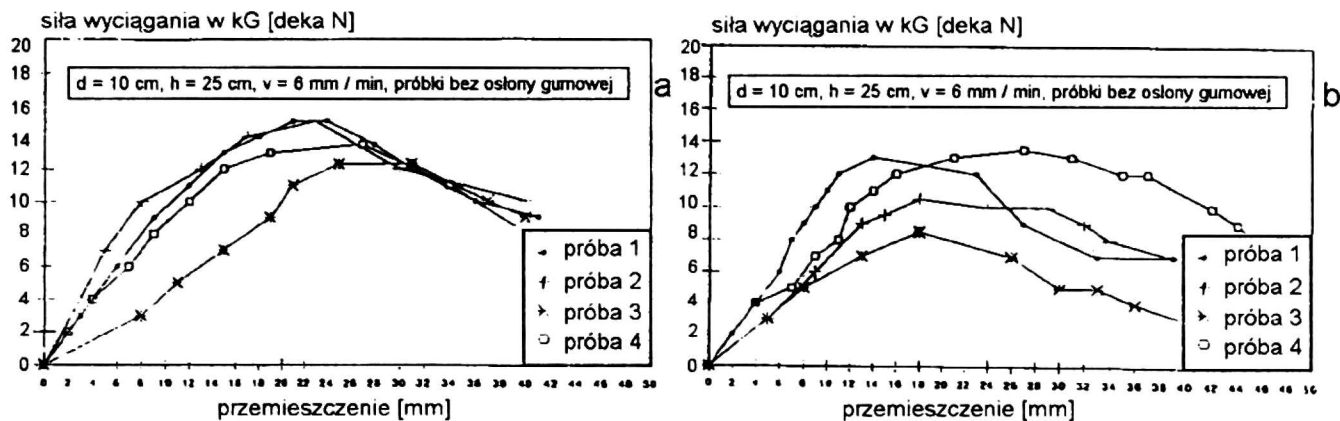
- dla wyczyńca od 140 do 145 N (jedna próbka – 220 N),
- dla mozgi od 85 do 125 N.



Rys. 7. Wyniki badań siły wyciągania korzeni traw z 6-miesięcznej darni



Rys. 8. Wyniki badań siły wyciągania korzeni traw z 13-miesięcznej darni



Rys. 9. Wyniki badań siły wyciągania korzeni wyczyńca łąkowego (darni 18-miesięczna):  
a – wazon 1, b – wazon 3

Dla 18-miesięcznej darni uzyskano następujące wyniki:

- dla wyczyńca
  - wazon 1 – od 121 do 150 N,
  - wazon 3 – od 82 do 138 N (rys. 9);
- dla mozgi
  - wazon 2 – od 50 do 80 N,
  - wazon 4 – od 50 do 78 N.

Zastosowane metody dają duży rozrzut wyników spowodowany przede wszystkim zbyt małą liczbą powtórzeń prób oraz naturalną niejednorodnością darni.

### Wyniki badania wytrzymałości darni na rozciąganie

Badania przeprowadzono w zmodyfikowanym wielkowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania. Modyfikacja aparatu polegała na dobudowaniu do istniejącej podstawy aparatu z płytą (na której normalnie umieszcza się dwudzielną skrzynkę), metalowego stołu z płytą (500x600 mm) na rolkach. Płyta dobudowanego stołu stanowi przedłużenie płyty istniejącej podstawy aparatu i jest połączona łańcuchowym cięgnem z płaskownikiem sprzężonym z hydraulicznym si-

łownikiem aparatu bezpośredniego ścinania. Ciężna łańcuchowe powodowały rozsuwanie się płyt. Pomiedzy dobudowany stół i podstawę aparatu wprowadzono ceratę przymocowaną do sprężyn. W trakcie rozciągania darni zasłaniała ona szczelinę pomiędzy stołem a podstawą, stanowiąc zabezpieczenie próbki i eliminując tarcie pomiędzy dolną częścią próbki a płytami aparatu. Obie płyty przesuwaly się bez oporów na rolkowych prowadnicach. Próbkę darni chwymano specjalnymi mechaniczno-pneumatycznymi uchwytami. Pomiar siły rozciągającej próbkę darni przeprowadzono pierścieniowym dynamometrem połączonym uchwytem z próbką darni za pomocą trójkątnej ramy z płaskownikami, co zapewniło równoległość przesuwania się obu uchwytów.

Pomiar odkształcenia próbki wykonywano przy użyciu miernika skalowego. Kontrolę stałej prędkości rozciągania uchwytów przeprowadzono za pomocą czujnika zegarowego. Badanie polegało na rozciąganiu obu krawędzi próbki darni przy zachowaniu równoległości krawędzi uchwytów.

Prędkość rozciągania mogła być dowolnie ustalana za pomocą regulatora.



Podczas rozciągania darni, w ustalonych odstępach czasu mierzono: siłę rozciągania, przemieszczenie uchwytów, przemieszczenie płyt na dobudowanym stole i podstawie aparatu. W aparacie mogą być badane próbki darniny o wymiarach od 10x10 cm do 50x50 cm, przy ich grubości wynoszącej co najmniej 5 cm.

Wytrzymałość dwuletniej darni na rozciąganie z prędkością  $200\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  określano w maju i czerwcu 1995 r. Użyto po trzy próbki darniny wyczyńca i mozgi o wymiarach 28x28x5 cm. Uzyskano następujące wartości wytrzymałości na rozciąganie  $W_r$ :

- darn wyczyńca
  - próbka nr 52 –  $W_r = 1,05\text{ kN/m}$ ,
  - próbka nr 54 –  $W_r = 0,82\text{ kN/m}$ ;
- darn mozgi
  - próbka nr 53 –  $W_r = 0,82\text{ kN/m}$ ,
  - próbka nr 55 –  $W_r = 0,39\text{ kN/m}$ .

Próbki z darni wyczyńca miały wilgotność 20%, natomiast próbki mozgi – 18%.

Duże zróżnicowanie wytrzymałości na rozciąganie wynika ze zbyt małej liczby powtórzeń i częściowo z niejednorodności materiału.

## Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, że już półroczna darn trawiasta w istotny sposób podnosi wytrzymałość gruntu, czyniąc go bardziej odpornym na ścinanie i rozciąganie.

Wykonanie badań większej liczby zróżnicowanych pod względem cech prób w każdej z kategorii: ścinania i rozciągania darni oraz wyrywania traw (dwa gatunki traw × zróżnicowanie wiekowe:

darn półroczna, trzynastomiesięczna, półtoraroczna × zróżnicowanie wilgotności × różne wielkości próbek darni) odbyło się kosztem powtarzalności. Nie używano obfitego materiału statystycznego, co wymagałoby przeprowadzenia co najmniej 5 powtórzeń w jednej serii.

## Wytrzymałość na ścinanie

Ze względu na różne wilgotności darni należy oddzielnie interpretować dwa zbiory wyników prób ścinania. Wilgotność próbek badanych przy obciążeniu normalnym 25 kPa wynosiła dla obu rodzajów darni 19% i była dużo mniejsza od wilgotności pozostałych próbek wynoszącej od 32,5 do 35% dla darni wyczyńca i od 31,5 do 34% dla darni mozgi.

Przy obciążeniu 25 kPa dla próbki z wyczyńcem otrzymano  $\tau_f = 82\text{ kPa}$  na głębokości 4 cm i 67 kPa na głębokości 10 cm.

Dla darni mozgi wytrzymałości na głębokości 4 i 10 cm wynosiły odpowiednio 50 kPa i 42 kPa. System korzeniowy wyczyńca lepiej wzmacniał grunt niż system korzeniowy mozgi.

Wzmocnienie gruntu na głębokości 4 cm jest o 15 kPa w przypadku wyczyńca i o 8 kPa w przypadku mozgi większe niż na głębokości 10 cm.

Po 13 miesiącach wegetacji wytrzymałość darni wyczyńca na głębokości 4 cm wzrosła do 300% wartości początkowej (przy obciążeniu 25 kPa). W przypadku próbek darni mozgi zwiększenie wytrzymałości na ścinanie było wyraźnie mniejsze i wynosiło ok. 200%. Początkowa wytrzymałość gruntu (24 kPa) zwiększyła się po 13 miesiącach do wartości 50 kPa. Z pewnością miało na to

wpływ wyraźne zmniejszenie wilgotności próbek.

Interpretację wyników badań przy obciążeniach 35 i 50 kPa przeprowadzono uwzględniając wartości kąta tarcia wewnętrznego  $\phi$  i spójność  $c$ . Przyjęto, że zależność naprężeń stycznych od normalnych jest prostoliniowa. Parametry wytrzymałościowe 13-miesięcznych darni zebrano w tabeli 3.

**Tabela 3.** Parametry wytrzymałościowe trzynastomiesięcznej darni na ścinanie

Parametr	Darni			
	wyczyńca łąkowego		mozgi trzcinowatej	
	4 cm	10 cm	4 cm	10 cm
$\phi^\circ$	47	28	48,5	50
$c$ [kPa]	39	38	4	0

W przypadku darni wyczyńca, biorąc pod uwagę początkową wartość kąta tarcia  $32^\circ$  i jego wyraźny wzrost po półrocznym okresie wegetacji do  $47^\circ$ , należy uzyskaną z badań po 13 miesiącach wegetacji wartość  $\phi = 28^\circ$  uznać za przypadkową. Wartość spójności wzrosła z 11 kPa (darni półroczna) do 39 kPa (darni 13-miesięczna).

Dla darni mozgi uzyskano niewielki, w porównaniu z darnią półroczną, wzrost parametrów wytrzymałościowych: kąta tarcia z  $47\text{--}48,5^\circ$  do  $48,5\text{--}50^\circ$ . Wartości spójności darni mozgi nie uległy wyraźnej zmianie.

Wyniki badań uzyskane dla darni 6-miesięcznej w okresie listopad/grudzień 1994 wskazują, że rozrzut wartości wytrzymałości darni na ścinanie dla obu

gatunków traw był niewielki; mieścił się w granicach od 0 do 10%.

### Odporność na wrywanie korzeni

Badania wykazały, że 13-miesięczna darni jest dwukrotnie silniej związana z gruntem niż darni półroczna. Do wyrwania korzeni wyczyńca w grudniu 1993 r. potrzebna była siła 60–80 N, a po 13 miesiącach wegetacji należało w tym celu użyć siły 140–145 N (w przypadku jednej próbki – 220 N). Dla darni mozgi wartości tej siły wynosiły odpowiednio 35–80 N i 85–125 N.

Wyniki badań z listopada i grudnia 1994 r. wskazują, że rozrzut uzyskiwanych wartości sił był nieco większy od rozrzutu dla naprężeń ścinających.

Dla uzyskiwania wiarygodnych wartości powyższe badania powinny być prowadzone w co najmniej 5 powtórzeniach.

### Wytrzymałość na rozciąganie

Wytrzymałość na rozciąganie darni wyczyńca była większa ( $W_r = 0,82\text{--}1,5$  kN/m) niż darni mozgi ( $W_r = 0,39\text{--}0,82$  kN/m). Rozmieszczenie korzeni w darni wyczyńca było bardziej równomierne niż w darni mozgi.

Odkształcenia, przy których stwierdzano zniszczenie próbek, wynosiły odpowiednio (w procentach pierwotnej długości próbki): dla wyczyńca 11–12%, dla mozgi 12–16%.

Charakterystyki rozciągania darni pozwalają jednoznacznie określić odkształcenia, przy których następuje rozerwanie próbek (siła rozciągania gwałtownie zmniejsza się). W badaniach nie stwierdzono rozrywania darni przy zamocowaniach krawędzi próbek.

Podobnie jak w poprzednich przypadkach, dla uzyskania miarodajnych wartości wytrzymałości na rozciąganie należy prowadzić badania dla co najmniej 5 próbek.

## Podsumowanie i wnioski

Badania umożliwiły opracowanie:

- optymalnej budowy urządzeń służących do badań mechanicznych właściwości darni trawiastej,
- sposobu stosowania urządzeń przeznaczonych do wyznaczania: sił nacisku, prędkości i czasu rozciągania darni – najlepiej symulujących warunki naturalne, w których jest ona narażona na działanie hydrodynamiczne,
- metody hodowli darni, sposobu jej pobierania, przeprowadzania pomiarów biometrycznych traw, niezbędnych do interpretacji wyników.

Przeprowadzone prace miały na celu opracowanie metodyki badań stopnia wzmocnienia gruntu przez systemy korzeniowe traw. Należy je traktować jako pierwszy doświadczalny etap. Z powodów uprzednio przedstawionych poniższe wnioski mają charakter wstępny:

- zaproponowana metodyka badań mechanicznych właściwości darni symuluje główne sposoby jej destrukcji na skutek erozji wodnej,
- do zasadniczych czynników wpływających na uzyskiwane wyniki trzeba zaliczyć wymiary próbek, prędkość ich ścinania i wilgotność gruntu,

- przy stosowaniu próbek 12×12×8 cm uzyskiwano ogólnie mniejsze wytrzymałości na ścinanie niż w przypadku badań na próbkach o wymiarach dwukrotnie większych,
- na skutek zwiększenia prędkości ścinania od 0,1 do 10 mm/min (100-krotnie) uzyskano wyniki wskazujące na większą wytrzymałość darni na ścinanie o prawie 50%,
- charakterystyki wytrzymałościowe mają na ogół ciągłą tendencję przyrostową i w zasadzie nie obserwuje się resztkowej wytrzymałości na ścinanie.
- wytrzymałość na wyrywanie obu traw z korzeniami po półrocznej wegetacji była zbliżona; system korzeniowy wyczyńca rozwinął się głównie w warstwie powierzchniowej podłoża głównie do 4 cm, system korzeniowy mozgi nie wykazywał wpływu na zróżnicowanie wytrzymałości darni na ścinanie na głębokości 4 i 10 cm,
- dla darni wyczyńca uzyskano wyższe niż dla darni mozgi parametry wytrzymałościowe.

## Literatura

- DĄBKOWSKI Sz.L., GARBULEWSKI K., PACHUTA K. 1995: *Badania mechanicznych właściwości darni*. Roczn. Akad. Rol. w Poznaniu, CCLXVIII, Melior. Inż. Środ. 15, 2, 219–227.
- DĄBKOWSKI Sz.L. 1995: *Badania szorstkości hydraulicznej i odporności powierzchni trawiastych na ruch wody*. Raport KBN 5 708 92 03, maszynopis, SGGW, Warszawa.