

## METODY POBORU ROZTWORU GLEBOWEGO



## Spis treści

<b>1. Metody poboru roztworu glebowego.....</b>	<b>4</b>
1.1. Wprowadzenie.....	4
1.2. Słowo wstępne.....	4
<b>2. Pobieranie roztworu glebowego (wody glebowej).....</b>	<b>5</b>
2.1. Metody poboru.....	5
2.1.1. Metoda prosta.....	5
2.1.2. Metoda ze stałym podciśnieniem.....	6
2.1.3. Pobór z kontrolą siły ssącej.....	7
2.2. Dobre praktyki i zalecenia.....	7
2.2.1. Gleby piaszczyste.....	7
2.2.2. Przedziały podciśnienia.....	7
2.2.3. Zatykanie porów (kolmatacja).....	8
2.2.4. Osiągalne ilości/objętość próbek.....	8
2.3. Dalsze uwagi.....	8
<b>3. Systemy podciśnienia.....</b>	<b>9</b>
3.1. Butelki na próby.....	9
3.1.1. Zakrętki do butelek na próby.....	9
3.1.2. Odpowiedni materiał.....	10
3.1.3. Objętości.....	10
3.1.4. Zabezpieczenie chroniące przed przepelnieniem.....	10
3.2. Przechowywanie roztworu.....	12
3.3. Butelka buforowa z podciśnieniem.....	12
3.4. Przewody ssące.....	12
3.4.1. Materiał z którego mogą być wykonane przewody.....	12
3.4.2. Średnice rur (przewodów) ssących.....	12
3.5. Przewody podciśnieniowe.....	13
3.6. Instalacja/konfiguracja.....	13
3.6.1. Konfiguracja odpowiednia dla przerywanej (nieciągłej) metody poboru.....	13
3.6.2. Konfiguracja sprzętowa przy metodzie ze stałym podciśnieniem.....	14
3.6.3. Konfiguracja sprzętowa dla systemu podciśnieniowego kontrolowanego tensjometrem.....	15
3.7. Różnice poziomów.....	15
3.8. Zbieranie pobranych prób (interwały/cykle zbiorcze).....	16
3.9. Zasilanie.....	16
3.10. Zbieranie pobranego roztworu (odcieku).....	17
3.10.1. Metoda przerywana (nieciągła).....	17
3.10.2. Metoda ciągłego poboru roztworu.....	19
<b>4. Wsparcie naukowe.....</b>	<b>20</b>
4.1. Instytuty naukowe.....	20

<b>4.2. Tabela użyteczności (przydatności).....</b>	<b>21</b>
<b>4.3. Typy próbników produkowanych przez UMS.....</b>	<b>22</b>
4.3.1. Końcówki ssące (sączki).....	22
4.3.2. Płyty ssące do pozyskiwania odcieku glebowego.....	24
4.3.3. Lizymetr KL2.....	24
<b>5. Załącznik.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1. Definicje.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2. Jednostki.....</b>	<b>27</b>
<b>6. Materiały źródłowe.....</b>	<b>28</b>

# 1. Metody poboru roztworu glebowego

## 1.1. Wprowadzenie

## 1.2. Słowo wstępne

Aby móc w pełni osiągnąć założony cel badań, ponosząc przy tym możliwie najmniejsze nakłady pracy, należy zagwarantować niezawodność, trwałość i maksymalną prostotę systemu pomiarowego. Trzeba przy tym pamiętać, że właściwa metodyka wpływa bezpośrednio na poprawność wyników.

Na początkowym etapie przygotowań do realizacji projektu, należy szczegółowo zdefiniować cel badań (sprecyzować co zamierza się uzyskać) oraz rozpoznać panujące w otaczającym środowisku warunki. Istotne jest, aby odpowiedzieć na pytania dotyczące potencjalnych wyników takie jak: spodziewana objętość pobieranego roztworu, częstotliwość zbierania próbek, rodzaj możliwych substancji zawartych w roztworze itp.

Prawidłowe rozpoznanie celów oraz oczekiwań ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia zarządzania projektem (zarówno od strony naukowej jak i technicznej). Pozwala bowiem nakreślić wymagania, jakim powinien sprostać system pomiarowy w odniesieniu do wszystkich procesów jakościowych, determinuje wybór odpowiednich metod i narzędzi (tak technicznych jak i pomiarowych), decyduje wreszcie o weryfikacji i modelowaniu wyników.

Analizowanie związków jakie zachodzą pomiędzy wszystkimi elementami projektu i ciągła optymalizacja tych zależności, jak również zapewnienie odpowiedniej jakości, decydują o końcowym powodzeniu projektu.

Jeśli po zapoznaniu się z niniejszą publikacją, będą Państwo potrzebować wsparcia i dodatkowych informacji, to zachęcamy do skontaktowania się z nami (dane kontaktowe przedstawicielstwa w Polsce znajdują się na ostatniej stronie niniejszego opracowania - od red.). Życzymy wielu sukcesów w Waszych projektach badawczych.

Z poważaniem,

Georg von Unold  
UMS GmbH

## 2. Pobieranie roztworu glebowego (wody glebowej)

### 2.1. Metody poboru

Aby pobrać roztwór glebowy w strefie aeracji, potencjał próbnika musi przewyższać siłę retencji gruntu (siłę wiążącą wodę w glebie). Do tego celu wykorzystuje się podciśnienie.

Podciśnienie powinno mieć wartość zbliżoną możliwie najbardziej do siły ssącej gruntu *in-situ*, ponieważ przy podwyższonym podciśnieniu następuje utrata węgla.

Wahania różnicy ciśnienia panującego wewnątrz i na zewnątrz próbnika, będą prowadziły do różnych wyników filtracji (występuje tzw. efekt pamięci). By temu zjawisku zapobiegać, stosuje się odpowiednio sterowaną stację do wytwarzania podciśnienia. Należy pamiętać, że roztwór może zostać pobrany tylko i wyłącznie przy obecności wody w glebie. Im pory glebowe są większe, tym mniejsza ilość wody jest dostępna wraz ze wzrostem siły ssącej!

Pobór roztworu jest możliwy w glebach kamienistych do wartości pF 1, w piaszczystych do pF 2, a w glebach gliniastych do pF 2.7.

Trzeba mieć świadomość, że końcówki ssące (sączki) zachowują się jak chemiczny i fizyczny filtr. W glebach znajdujących się w stanie bliskim pełnej saturacji, stosowanie wysokiego podciśnienia powoduje transport drobnych cząsteczek gleby i ich odkładanie w porach sączka. Nie istnieje praktycznie żaden sposób, aby ten proces odwrócić. Po wytworzeniu podwyższonego ciśnienia wewnątrz próbnika, można co najwyżej próbować wypchnąć cząsteczki gleby na zewnątrz sączka, nie uniknie się jednak gromadzenia drobnego materiału wokół końcówki (powstaje tam strefa akumulacji tych małych cząstek; zjawisko to nosi nazwę kolmatacji).

Efektywna czynna siła ssąca jest różnicą pomiędzy siłą ssącą gleby a zastosowanym podciśnieniem.

UMS oferuje 3 różne podciśnieniowe metody poboru roztworu glebowego. Dobór najbardziej odpowiedniej zależy od danego zadania.

#### 2.1.1. Metoda prosta

Nieciągły (przerywany) pobór roztworu glebowego jest metodą najprostszą. Polega na wytworzeniu wewnątrz butelki na próby podciśnienia o zadanej wartości (np. 50 kPa). Jeśli siła ssąca gleby jest niższa niż 50 kPa, to roztwór będzie pobierany do momentu, aż podciśnienie wewnątrz butelki zrówna się z siłą ssącą gleby. Po osiągnięciu stanu równowagi, pobór prób zostanie przerwany. Po zebraniu próbek roztworu (złaniu butelki), podciśnienie w butelce jest wytwarzane ponownie.

Zastosowanie

- Jakościowe analizy wody glebowej

#### Zalety

- Niskie koszty
- Łatwa obsługa

#### Ograniczenia

- Przerwane próbkowanie
- Nieokreślone (niezdefiniowane) próbkowanie

#### Oprzężenie

- Próbniki wody porowej
- Ręczna stojąca pompa podciśnienia VPS-1 lub przenośny walizkowy generator podciśnienia VacuPorter.

### **2.1.2. Metoda ze stałym podciśnieniem**

System jest nieprzerwanie zaopatrywany w podciśnienie o stałej wartości. Jest ono wytwarzane przy pomocy regulowanej pompy próżniowej. Siłę podciśnienia można ustawić w przedziale pomiędzy wartością ciśnienia atmosferycznego a podciśnieniem 85 kPa.

Dla porównania, poprawne działanie próbniaka do odcieku glebowego wymaga podciśnienia 6 kPa, podczas gdy próbniaki wody porowej, po zainstalowaniu w glebach pyłowo-gliniastych, powinny być poddane podciśnieniu rzędu 10-30 kPa. Gleby ilaste z kolei wiążą wodę z jeszcze większą siłą, wymagając zastosowania podciśnienia od 30 do 85 kPa.

#### Zastosowanie

- monitoring w długich okresach czasu
- badania odcieków
- pobieranie roztworu glebowego z porów glebowych o określonych rozmiarach, z wykorzystaniem podciśnienia o wartości dokładnie skorelowanej z wielkością porów.

#### Zalety

- określone (zdefiniowane) próbkowanie

#### Ograniczenia

- stosowanie podciśnienia o stałej wartości nie bierze pod uwagę zmian siły ssącej gleby

#### Oprzężenie

- próbniaki wody porowej lub odcieku glebowego
- stacja podciśnienia VS bez tensjometru kontrolnego

### **2.1.3. Pobór z kontrolą siły ssącej**

System jest zaopatrzony w tensjometr kontrolujący siłę ssącą gleby. Na podstawie aktualnego pomiaru, programowalna stacja typu VS wytwarza automatycznie podciśnienie o odpowiedniej, skorelowanej wartości. Z uwagi na liczne funkcje zaimplementowane w urządzeniu można je optymalnie dostosować (dostroić) do wymogów konkretnego zadania pomiarowego.

Zalety

- stała sorpcja i stała filtracja
- zapobiega efektowi pamięci

Ograniczenia

- system pobiera roztwór glebowy z porów o różnej wielkości zależnie od aktualnego podciśnienia panującego w układzie

Opryządowanie

- próbki wody porowej lub odcieku glebowego
- stacja podciśnienia VS z tensjometrem kontrolnym

## **2.2. Dobre praktyki i zalecenia**

### **2.2.1. Gleby piaszczyste**

Podczas próbkowania w grubo i średnioziarnistych glebach piaszczystych, często pojawia się problem zbyt niskiej zawartości wody w strefie aeracji, co bardzo utrudnia pobranie wystarczającej ilości roztworu glebowego. Ponieważ woda przemieszcza się przez taką glebę szybko, może dochodzić do sytuacji, że żaden roztwór nie będzie pobierany albo, przy dużym szczęściu, jedynie niewielka jego ilość. Występowanie wody drenującej w krótkich epizodach decyduje o konieczności zastosowania w glebach piaszczystych metody poboru ze stałym podciśnieniem.

Jeśli zawartość frakcji piaszczystych w glebie będzie objętościowo mniejsza niż 50%, ilość uzyskanej próby wody glebowej może być całkiem duża [Riess 1993].

### **2.2.2. Przedziały podciśnienia**

Jeśli zastosowane zostanie zbyt duże podciśnienie, grunt wokół końcówki próbniaka (sączka) zostanie przesuszony. Puste pory (bez wody) wpłyną znacząco na spadek przewodności, a w konsekwencji na utratę kontaktu hydraulicznego. Zjawisko to zależy od typu gleby i jest najbardziej widoczne w glebach piaszczystych.

Z uwagi na groźbę przesuszenia gruntu, podciśnienie powinno osiągać najniższą wymaganą wartość. Generalnie wystarczy stosować podciśnienie o 20 kPa wyższe od siły ssącej gleby.

Przy przerywanym (nieciągłym) poborze roztworu (gdy naprzemiennie następują cykle podciśnienia i jego braku), naturalny przepływ wody w gruncie zostaje zaburzony. Wraz ze spadkiem

podciśnienia w systemie, może dochodzić do przerwania kontaktu kapilarnego. Szczególnie podatne są na to gleby piaszczyste.

### 2.2.3. Zatykanie porów (kolmatacja)

W dłuższym okresie czasu sączki ceramiczne mogą ulec „przytkaniu”. Dzieje się tak ponieważ drobne cząsteczki gruntu zaczynają zatykać pory występujące w ceramicznej końcówce, a przez to blokują możliwość przesączania roztworu glebowego. Przepłukanie zainstalowanego w gruncie próbnika (z wykorzystaniem podwyższonego ciśnienia wymusza się odwrotny ruch cieczy), może poprawić sytuację jedynie na krótko. W wyniku takiego działania cząsteczki gruntu zostają co prawda wypchnięte na zewnątrz, ale zatrzymują się w bezpośrednim otoczeniu ceramiki. W związku z powyższym proces zatykania porów powinien być powstrzymany od samego początku. Sprzyja temu utrzymywanie przepływu roztworu przez końcówkę na niskim i stałym poziomie. Aby to osiągnąć należy stosować podciśnienie, którego wartość będzie możliwie najniższa (bardzo przydatne w tym kontekście jest zastosowanie tensjometru kontrolnego) [Riess 1993].

### 2.2.4. Osiągalne ilości/objętość próbek

Można oczekiwać następujących ilości pobranego roztworu:

- Maksimum: w wodach wolnych przy podciśnieniu 50 kPa ok. 5 ml / 10 min
- Minimum: w glinie piaszczystej przy podciśnieniu 50 kPa ok. 5 ml / 1 h

W ceramice o wysokim przepływie (ang. *high-flow*) wartość przepływu jest do 3 razy wyższa.

## 2.3. Dalsze uwagi

- Zjawisko zaburzenia sorpcji będzie maleć w dłuższym okresie czasu.
- W pewnych okolicznościach pobrany roztwór powinien być przechowywany w gazowej atmosferze ochronnej.
- Ponieważ końcówka próbnika ma małą powierzchnię styku z otaczającym gruntem, opróbowanie heterogenicznych gleby stwarza pewne problemy. Zależnie od kontaktu hydraulicznego z pierwotnymi bądź wtórnymi (pęknięcia, makro pory) porami gleby, pobierana będzie zróżnicowana woda glebowa.
- Ponieważ próbki mogą być pozyskiwane wyłącznie z nawilżonego gruntu, pobór roztworu nie jest możliwy w gorących i suchych okresach czasu (sezony suszy glebowej).
- Nory budowane przez zwierzęta (myszy, nornice, krety itp.) mogą powodować pewne trudności. Zdarza się, że woda w takich przypadkach szybko migruje do niżej położonych warstw i się tam gromadzi [Riess 1993].



Należy zwracać uwagę na :

- ❗ Długie rurki oraz pęcherzyki powietrza, które mogą się w nich znajdować, powodują pewien opór. Należy mieć to na uwadze podczas planowania i budowy sieci przewodów do pobierania roztworu.
- ❗ Aby zapobiec błędnej regulacji, wartość podciśnienia powinna być mierzona w pobliżu pompy próżniowej, a nie końcówki ssącej próbnika.
- ❗ Wszystkie urządzenia służące do wytwarzania podciśnienia muszą być skutecznie zabezpieczone przed możliwością dostania się wody (ochrona przed przepiętnieniem, odpowiednie pojemności butelek, czujniki wody na portach podciśnienia).
- ❗ Wszelkie części systemu podciśnieniowego muszą być odporne na implozję.
- ❗ Końcówki ssące próbników (sączki) nie powinny być instalowane w sąsiedztwie tensjometrów. Należy zapewnić odpowiedni dystans pomiędzy próbnikami roztworu, tensjometrami oraz próbnikami wilgotności gruntu.
- ❗ Jeśli końcówka ssąca próbnika oraz butelka na próbę znajdują się na różnych poziomach, to przy doborze podciśnienia należy brać pod uwagę różnicę potencjałów. Więcej informacji w rozdziale „3.7 Różnice poziomów”.

### 3. Systemy podciśnienia

#### 3.1. Butelki na próby

##### 3.1.1. Zakrętki do butelek na próby

Z butelki wyprowadzony jest zarówno wężyk podciśnieniowy służący do odessania butelki, jak również przewód doprowadzający roztwór z próbnika.

Zakrętka butelki na próby posiada 3 króćce.

Niebieska rurka widoczna po lewej stronie zamieszczonego obok zdjęcia, jest rurką podciśnieniową. Rurka prawa jest rurką doprowadzającą roztwór z próbnika. Należy zamocować ją pewnie do butelki (wystarczająco głęboko), tak aby silikonowa część rurki nie miała kontaktu z pobieranym roztworem.

Trzeci króciec jest fabrycznie zamknięty. Opcjonalnie może służyć do podłączenia dodatkowej rurki odprowadzającej roztwór z próbnika, bądź zamocowania przewodu podciśnienia zasilającego kolejną butelkę. Aby udroźnić ten króciec należy odciąć jego końcówkę. Podłączając cienką rurkę zasysającą roztwór wystarczy odciąć jedynie górną



część. W przypadku montażu grubszej, podciśnieniowej rurki, cięcie trzeba wykonać bliżej nasady króćca.

### 3.1.2. Odpowiedni materiał

Do pobierania, przechowywania oraz przewożenia prób powinno się używać szklanych pojemników, gdyż jest to najodpowiedniejszy do tego celu materiał. Jeśli badania wymagają wykorzystania podciśnienia, butelki koniecznie muszą być wykonane ze szkła odpornego na implozję. Butelki takie winny być zabezpieczone plastikową powłoką tworzącą ochrony płaszcz. Dostarczane przez UMS butelki na próby typu SF są w ten właśnie sposób chronione przed groźnymi skutkami implozji.

Butelek wykonanych z polietylenu, polipropylenu oraz poliamidu w normalnych warunkach nie należy stosować w systemach podciśnieniowych. Mogą one jednak służyć, zależnie od zawartych w roztworze substancji chemicznych, do transportu oraz przechowywania prób.

### 3.1.3. Objętości

Butelki dostarczane przez UMS występują w 3 pojemnościach: 0.5 l (SF-500), 1 l (SF-1000) oraz 2 l (SF-2000).

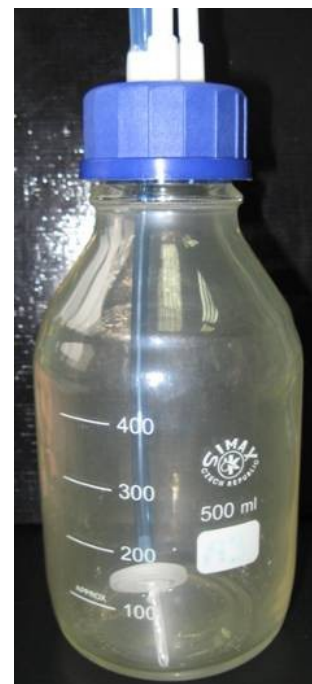
Wybór optymalnej wielkości będzie zależeć od następujących czynników:

1. Ilości spodziewanego roztworu glebowego pobieranego w poszczególnych interwałach (cyklach poboru).
2. Liczby podłączonych próbników (czy do butelki podłączony jest więcej niż jeden próbnik w celu otrzymania próby mieszanej).
3. Podczas przerywanego (nieciągłego) poboru roztworu, butelka nie tylko służy do gromadzenia wody glebowej, ale pełni także rolę buforu podciśnienia. Należy pamiętać, że całe wytworzone podciśnienie zostanie wykorzystane już w momencie częściowego napełnienia butelki roztworem. Wybierając więc metodę przerywanego (nieciągłego) poboru, pojemność butelki musi być tak dobrana, aby co najmniej trzykrotnie przewyższać objętość pobieranego roztworu.

Stosując specjalne zabezpieczenie o nazwie SF-protect można ustawić lub ograniczyć wielkość (objętość) pobieranej próby. Zabezpieczenie pełni też funkcję zapobiegającą przed zbytym przepełnieniem butelki. Jeśli więc celem badania jest pobranie np. 100 ml roztworu, rurkę podciśnieniową należy wprowadzić głębiej do wnętrza butelki, tak aby zabezpieczenie znalazło się na odpowiednim poziomie.

### 3.1.4. Zabezpieczenie chroniące przed przepełnieniem

W automatycznych systemach podciśnieniowych można stosować opcjonalne zabezpieczenie chroniące przed przepełnieniem. Umieszcza się je wewnątrz butelki na próbę (zob. zdjęcie po lewej).



Zawór jest zaopatrzony w kapilarną membranę, która przepuszcza powietrze gdy jest sucha, ale blokuje jego dostęp po zamoczeniu. Zabezpieczenie zapobiega przed przepełnieniem butelki, skutkującym zassaniem roztworu glebowego i dostaniem się go do zestawu wytwarzającego podciśnienie. Po napełnieniu roztworem, następuje samoczynne zamknięcie zabezpieczenia. Dzięki temu butelka zostaje odcięta od systemu podtrzymującego podciśnienie. W tym samym czasie pozostałe butelki podłączone do układu w dalszym ciągu pracują i wciąż gromadzą próby.

Zabezpieczenie SF-protect należy zwyczajnie zamocować na końcu rurki podciśnieniowej. Zabezpieczenie otworzy się ponownie w momencie opróżnienia butelki.

Należy zwrócić uwagę, że system podciśnieniowy musi składać się z głównego przewodu (węża), do którego za pośrednictwem trójników (łączników typu T) podłączone są poszczególne butelki (zob. zdjęcie po prawej).



Powodem stosowania zabezpieczeń przeciw przepełnieniu butelek jest:

- konieczność ochrony przed uszkodzeniem urządzeń wytwarzających podciśnienie
- zapobieganie zanieczyszczeniu (w wyniku jakiegoś nagłego, nieoczekiwanego wydarzenia) materiału zbieranego do różnych butelek przez roztwór pochodzący z innej, przepełnionej butelki

Zabezpieczenie nie pełni funkcji automatycznego przełącznika przede wszystkim dlatego, że membrana musi całkowicie wyschnąć zanim stanie się ponownie przepuszczalna dla powietrza. W związku z powyższym powinno się tak dobrać rozmiar butelek na próby oraz okresy, w których gromadzony jest roztwór, aby zjawisko przepełnienia nigdy nie występowało. Mimo wszystko zaleca się stosowanie dodatkowej butelki, która po umieszczeniu między urządzeniem wytwarzającym podciśnienie, a butelkami na roztwór glebowy, będzie pełnić rolę bufora roztworu (zob. rozdział „3.3 Butelka buforowa z podciśnieniem”).

## 3.2. Przechowywanie roztworu

Próbki roztworu glebowego powinny być przechowywane bez dostępu światła i w temperaturze jaka panuje w glebie będącej przedmiotem badań. W związku z powyższym butelki na próby mogą być przechowywane w zakopanej w ziemi skrzynce. Dzięki temu temperatura przechowywania będzie identyczna z temperaturą gleby, a warunek ochrony przed światłem słonecznym również będzie zachowany.

- ❗ Przechowywanie pobranego roztworu bez dostępu światła oraz w temperaturze jaka panuje w glebie ma na celu powstrzymanie wzrostu glonów (np. wewnątrz skrzynki).

## 3.3. Butelka buforowa z podciśnieniem

W systemach, w których ciśnienie jest wytwarzane automatycznie, zaleca się stosowanie butelki buforowej. Należy ją umieścić „na wejściu” przed pompą podciśnienia. Butelka ta pełni rolę buforu podciśnienia oraz zabezpiecza pompę przed dostaniem się do niej wody glebowej, w sytuacji gdyby właściwa butelka na próby została przepełniona.

Produkowane przez UMS zestawy do wytwarzania podciśnienia typu VS oraz VS-pro (nie dotyczy VacuPorter) posiadają czujnik cieczy. Wyłącza on pompę, gdy woda dostanie się do układu podciśnienia grożąc zalaniem jednostki. Czujnik monitoruje port podciśnienia. Należy pamiętać, że zestaw pozostanie wyłączony dopóki detektor ponownie w pełni nie wyschnie.

## 3.4. Przewody ssące

### 3.4.1. Materiał z którego mogą być wykonane przewody

Przewody ssące powinny być wykonane z następujących materiałów (zob. również stosowną listę w załączniku):

- Polietylen, polipropylen lub poliamid: badania anionów i kationów
- Rury kapilarne ze stali nierdzewnej: badania wszelkich związków i substancji z pominięciem metali oraz metali ciężkich

Próbniki UMS są projektowane w taki sposób, aby po poprawnym podłączeniu, pobierany roztwór miał kontakt wyłącznie z materiałem, z którego wykonana jest końcówka próbnika (sączek) oraz przewody ssące.

### 3.4.2. Średnice rur (przewodów) ssących

Generalną zasadą jest dążenie do tego, aby przewody ssące były możliwie najkrótsze. Dzięki temu uzyskuje się :

- małą objętość martwą i pobór prób w czasie rzeczywistym

- niewielką utratę roztworu spowodowaną jego odpływem w wyniku wzrostu siły ssącej gruntu; przy wzroście siły ssącej gruntu roztwór pozostający w przewodzie zostaje bowiem zawsze zassany z powrotem do gleby
- najmniejsze możliwe tarcie wewnętrzne (najmniejsze możliwe wewnętrzne opory hydrauliczne)

Pęcherzyki powietrza pozostające wewnątrz przewodów zwiększają tarcie wewnętrzne, które będzie największe w cienkich i długich rurkach. Przykładowo w przewodzie o długości 20m o wewnętrznej średnicy 1.6mm tarcie wewnętrzne w najgorszym przypadku może osiągać wartość do 50 kPa.

### 3.5. Przewody podciśnieniowe

W kontekście przewodów podciśnieniowych należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- Przewody podciśnieniowe powinny być możliwie najkrótsze. Wraz ze wzrostem ich długości rośnie ryzyko nieszczelności, uszkodzeń oraz podatność na przegryzienie przez gryzonie.
- Pompa/zestaw do wytwarzania podciśnienia może być oddalony do 200m. W szczelnym systemie odpompowywane objętości będą niskie a spadki ciśnienia pomijalne.
- Zaleca się aby przewody podciśnieniowe miały wewnętrzną średnicę od 4 do 10mm. Dobór odpowiednich przewodów ze względu na ich wewnętrzną średnicę zależy od ich długości, liczby próbników oraz metody poboru roztworu.

❗ Trzeba zapewnić całkowitą szczelność systemu.

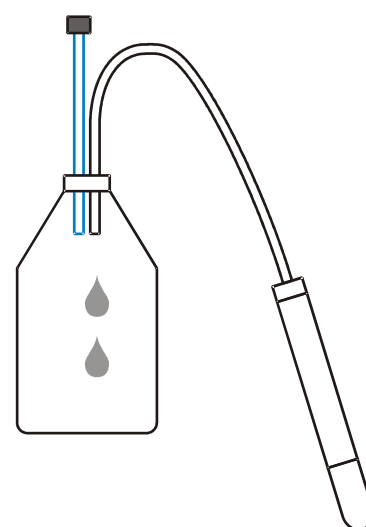
### 3.6. Instalacja/konfiguracja

Tak jak to już zostało powiedziane w rozdziale „2.1 Metody poboru”, istnieją 3 sposoby pozyskiwania roztworu glebowego. Poniżej zamieszczamy trochę uwag dotyczących montażu systemu w zależności od wybranej metody poboru.

#### 3.6.1. Konfiguracja odpowiednia dla przerywanej (nieciągłej) metody poboru

Próbnik do poboru roztworu zostaje podłączony do butelki na próby. W butelce zostaje wytworzone podciśnienie poprzez odessanie powietrza za pomocą np. pompy stojącej (podłogowej) VPS-2 lub VacuPorter. Roztwór glebowy będzie pobierany z gleby do momentu, aż malejące podciśnienie opadnie poniżej wartości wyznaczonej siłą ssącą gruntu.

Należy pamiętać, że ilość pobranego roztworu może wynieść maksymalnie 2/3 objętości butelki.



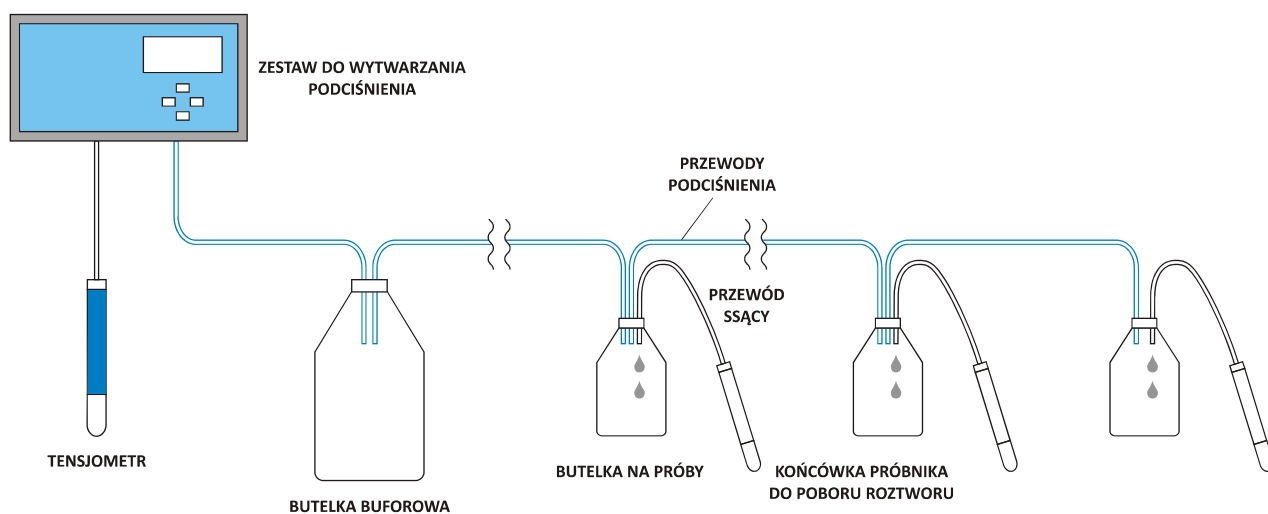
### 3.6.2. Konfiguracja sprzętowa przy metodzie ze stałym podciśnieniem

Każdy próbnik roztworu glebowego podłącza się do odpowiedniej butelki. Za pośrednictwem sieci przewodów podciśnieniowych poszczególne butelki łączy się z urządzeniem wytwarzającym i kontrolującym podciśnienie (np. moduły typu VS). Użytkownik programuje moduły kontrolujące, tak aby podciśnienie miało odpowiednią, zgodną z założeniami projektu badawczego, stałą wartość. Następnie przyrząd sam kontroluje zadane parametry i podtrzymuje podciśnienie na zadanym poziomie.

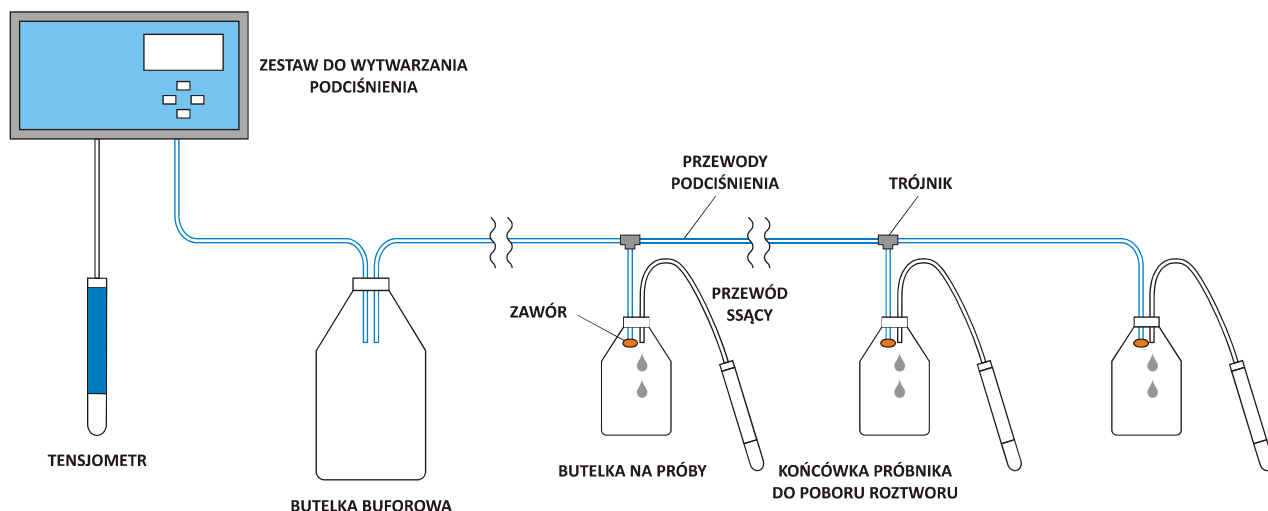
Podłączając butelki należy pamiętać aby:

- Poszczególne butelki można łączyć szeregowo wykorzystując do tego dodatkowy (3 w kolejności) króciec znajdujący się w nakrętce butelki (górny schemat) lub poprzez trójniki (rozgałęźniki typu T; dolny schemat).
- Jeśli butelki są wyposażone w zabezpieczenie chroniące przed ich przepełnieniem (zob. rozdział poprzedni), to należy zastosować rozwiązanie z trójnikami. W przeciwnym razie zamykający się zawór zablokuje cały system i odetnie kolejne butelki.

W systemach korzystających z automatycznych stacji do wytwarzania podciśnienia należy zachować środki ostrożności, by nie dopuścić do zaciągnięcia wody przez pompę oraz aby działanie systemu nie zostało zablokowane przez przepełnione butelki.



*Rys.: Butelki na próby połączone szeregowo z wykorzystaniem 3 króćca znajdującego się w zakrętce.*



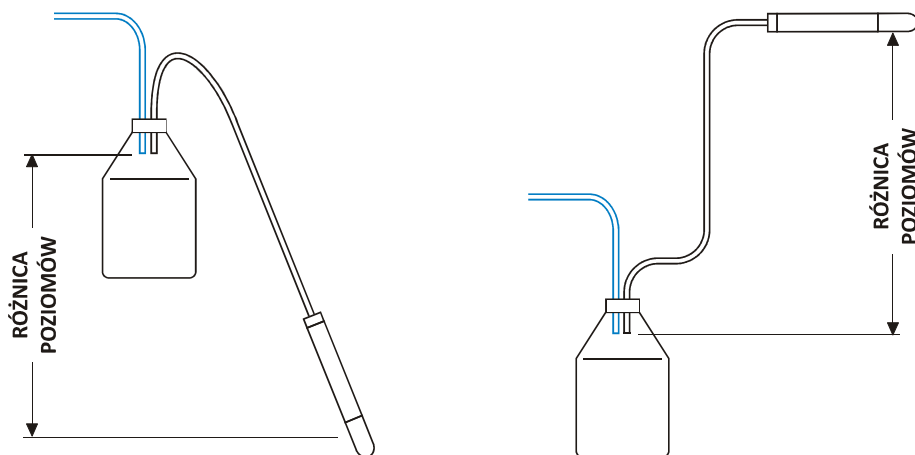
Rys.: Butelki na próby podłączone do głównego przewodu podciśnienia z wykorzystaniem trójników (rozgałęźników). Tensjometr oraz zawory zapobiegające przepiętniu są opcjonalne.

### 3.6.3. Konfiguracja sprzętowa dla systemu podciśnieniowego kontrolowanego tensjometrem

Próbniki, butelki na próby oraz przewody podciśnienia podłącza się w ten sam sposób co w metodzie ze stałym podciśnieniem (zob. poprzedni punkt). Po podłączeniu tensjometru do modułu kontrolnego VS, wartość wytwarzanego podciśnienia jest korelowana z bieżącą siłą ssącą gruntu.

### 3.7. Różnice poziomów

Zaleca się umieszczanie butelek na próby na tej samej wysokości na jakiej znajduje się końcówka ssąca próbnika (sączek). Jeśli nie jest to możliwe należy zwrócić uwagę na następujące aspekty.





Jeśli butelka na próby jest umieszczona powyżej końcówki ssącej próbnika (rys. lewy), to różnica poziomów prowadzi do podciągania słupa wody, co skutkuje zmniejszeniem efektywnego podciśnienia działającego na próbnik. Dla przykładu jeśli końcówka próbnika znajduje się o 1m poniżej poziomu butelki, podciśnienie działające na próbnik ma o ok. 10 kPa mniejszą wartość niż podciśnienie wewnątrz butelki.

- ❗ Gdy butelka zostaje umieszczona powyżej końcówki ssącej próbnika, to podciśnienie wytworzone w butelce powinno być wyższe o 1 kPa na każde 10 cm różnicy poziomów (lub dokładnie o 0.98 kPa na każde 10 cm słupa wody).

I odwrotnie, jeśli butelka na próby znajduje się poniżej końcówki ssącej próbnika, np. w studziencie (rys. prawy), to efektywna siła podciśnienia działająca na sącze jest wyższa od wartości podciśnienia panującego wewnątrz butelki (jeśli rurka ssąca jest całkowicie wypełniona wodą). W normalnych warunkach w takiej sytuacji wewnątrz rurki pojawią się pęcherzyki gazu. Z uwagi na powyższe, nie należy zmniejszać podciśnienia w butelce, aby roztwór mógł być pobierany mimo pojawiających się pęcherzyków.

- ❗ Nie należy kompensować różnicy poziomu wynikającej z umieszczenia butelki poniżej końcówki ssącej próbnika.

### 3.8. Zbieranie pobranych prób (interwały/cykle zbiorcze)

Częstotliwość opróżniania (zlewania) butelek z pobranego roztworu, jest uzależnione od konkretnego zadania pomiarowego.

Przy badaniach związanych z długookresowym monitoringiem, przerwy pomiędzy kolejnymi zbiórkami materiału mogą wynosić 1-2 tygodnie. Jeśli z kolei badanie jest ukierunkowane w szczególności na uzyskanie informacji dotyczących maksimów związanych z intensywnymi zjawiskami opadowymi, zebranie roztworu winno odbywać się częściej.

Aby określić zmieniającą się wraz z czasem ilość pobieranego roztworu (odcieku), należy zastosować jedną z dwóch następujących metod:

- umieścić butelkę na wadze i dokonywać pomiaru jej masy, a wyniki zapisywać
- przed butelką zainstalować hermetyczny (tak by mógł działać z zachowaniem podciśnienia) licznik korytkowy wraz z rejestratorem

### 3.9. Zasilanie

System do poboru roztworu glebowego, który nie może być zasilany bezpośrednio z sieci energetycznej, musi być wyposażony w alternatywne źródło energii elektrycznej. Może to być energia pobierana z akumulatora buforowo zasilanego z paneli słonecznych lub siłowni wiatrowej. Ważne aby opracować plan dotyczący zarządzania energią, który będzie uwzględniał ilość roztworu, przerwy w pobieraniu, możliwe nieszczelności układu oraz przestoje.



## **3.10. Zbieranie pobranego roztworu (odcieku)**

### **3.10.1. Metoda przerywana (nieciągła)**

Butelki firmy UMS mogą być zaślepiane za pomocą zacisku bądź szybkozłączki widocznej na zdjęciu obok.

Przed odkręceniem nakrętki, należy otworzyć przewód podciśnieniowy, aby wpuścić powietrze do wnętrza butelki. Po przewentylowaniu, można odkręcić nakrętkę, a następnie pobrać (zlać) zebrany roztwór lub wymienić butelkę na nową (pustą).

Po ponownym nakręceniu nakrętki, można podłączyć pompę i odessać powietrze, aby wytworzyć odpowiednie podciśnienie. Przed odłączeniem od źródła podciśnienia, przewód podciśnieniowy trzeba zacisnąć (uszczelnić). Jeśli elementem przewodu podciśnieniowego jest wężyk silikonowy, można go zgiąć (załamać). Ostatnim krokiem procedury jest powtórne założenie zacisku lub podłączenie do złączki.



**PROCEDURA STOSOWANA W METODZIE PRZERYWANEJ (NIECIĄGŁEJ)**

1. Zdejmij zatyczkę z butelki na próby.



2. Podłącz przewód podciśnieniowy pompy do konektora (złączki). Odessij powietrze z butelki wytwarzając podciśnienie o odpowiedniej wartości.



3. Zegnij niebieski przewód przymocowany do butelki, aby utrzymać wytworzone przed chwilą podciśnienie w momencie odłączenia konektora.



4. Natychmiast zamocuj zacisk aby zamknąć przewód podciśnieniowy butelki. Teraz można już rozprostować wężyk.



### **3.10.2. Metoda ciągłego poboru roztworu**

W systemach, w których stosuje się podciśnienie o stałej wartości, należy w pierwszej kolejności wyłączyć moduł do wytwarzania i kontrolowania podciśnienia. Następnie trzeba rozszczelnić system w celu wyrównania ciśnienia. Teraz można przystąpić do zbierania z butelek pobranego roztworu. Po opróżnieniu butelek należy ponownie zmontować elementy systemu. Po upewnieniu się, że układ jest znowu szczelny, można uruchomić moduł do wytwarzania i kontrolowania podciśnienia.

Na wszelki wypadek należy skontrolować wskazania tensjometru oraz ilości pobranego roztworu i w razie czego odpowiednio dostosować ustawienia modułu wytwarzającego podciśnienie.

## 4. Wsparcie naukowe

### 4.1. Instytuty naukowe

Rekomendacje zawarte w niniejszej instrukcji zostały stworzone we współpracy z następującymi instytutami badawczymi:

- Österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft Petzenkirchen, Österreichischen Arbeitsgruppe Lysimeter, <http://www.lysimeter.at/>
- University of Hohenheim and Technical University Munich,
- Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
- Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft

Zalecenia te powstały w oparciu o wiedzę i doświadczenie zdobyte podczas długoletniej praktyki poboru roztworu glebowego. Trzeba mieć na uwadze, że jest to jednak zbiór jedynie podstawowych informacji, które nie wyczerpują w pełni opisywanego zagadnienia. Opracowanie to nie może zastąpić dogłębnych analiz i konsultacji. Należy pamiętać, że wszystkie aspekty brane pod uwagę przy projektowaniu systemu, takie jak proces poboru, warunki próbkowania, typ gleby, wybór metody poboru oraz interwały, przechowywanie próbek oraz sposób analizy, muszą być rozpatrywane indywidualnie, w powiązaniu z konkretnym zadaniem badawczym.

#### **Uwaga:**

**Zawarte na następnej stronie informacje dotyczą przydatności materiałów. Tabela ta powstała na podstawie wniosków płynących z licznych doświadczeń, analiz laboratoryjnych oraz (nie weryfikowanych) cytatów z literatury. Pierwotnie spis ten, odnoszący się do próbkowania roztworu glebowego, powstał w pracowniach UMS w roku 2000. Od tamtego czasu był poprawiany i uzupełniany. Pomimo dołożenia wszelkich starań, by podane informacje były dokładne, lista poniższa nie może być traktowana jako kompletna, a w związku z tym nie powinna zastępować właściwego doradztwa. W razie wątpliwości prosimy o kontakt – chętnie udzielimy wszelkich wyjaśnień.**

Będziemy ponadto Państwu bardzo wdzięczni za podzielenie się z nami spostrzeżeniami i uwagami na temat Waszych doświadczeń związanych z pozyskiwaniem roztworów glebowych metodą podciśnieniową:

**GEOMOR-TECHNIK Sp. z o.o.**  
tel/fax: 91 482 60 87  
[geomor@geomor.com.pl](mailto:geomor@geomor.com.pl)

ul. Modra 30, 71-220 Szczecin  
tel. 91 482 00 90  
[www.geomor.com.pl](http://www.geomor.com.pl)

## 4.2. Tabela użyteczności (przydatności)

	Ceramika Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Polietylen/Nylon	Spiek krzemionkowy (węgiel krzemu)	Szkoło borokrzemianowe
Typ próbnika (symbole UMS)	SK20 SKPE25	SPE20	SIC20, SIC40 SIC300	SG25 SPG120
<b>Odpowiednie do badań przy określaniu...(legenda poniżej tabeli)</b>				
<b>Aniony:</b>				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Nitrate	+++	+++	+++	+++
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Sulphate	+++	+++	+++	+++
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Phosphate	+++	+++	+++	+++
Cl <sup>-</sup> Chloride	+++	+++	+++	+++
<b>Kationy:</b>				
Ca <sup>2+</sup> Calcium	+ [1]	++ [1]	+++	+ [1]
K <sup>+</sup> Potassium	+ [1]	++ [1]	+++	++
Na <sup>+</sup> Sodium	++ [1]	+ [1]	+++	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Ammonium	+++	+++	+++	+++
Al <sup>3+</sup> Aluminium	--- (krytyczny [2])	++ (krytyczny przy pH<2 [1])	++	+++
Cu <sup>2+</sup> Copper	--- [3] [5] [8]	+++	+++	+++
Cr <sup>2+</sup> Chromium	--	+++	+++	+++
Fe <sup>2+</sup> Iron	- [2]	+++	+++	+++
Mg <sup>2+</sup> Magnesia	--	+++	+++	+++
Ni <sup>2+</sup> Nickel	--	+++	+++	+++
<b>Pierwiastki</b>				
S Sulphur	+ [1]	+ [1]	+++	+++
P Phosphorus	++ [2]	+++	+++	+++
Si Silicon	---	+++	-	+++
DOC (RWO)	++ [8]	++ [3]	++	+
TOC (OWO)	++ [1]	+ [1]	++	+
<b>Huminy:</b>				
<b>Metale ciężkie:</b>				
Cd Cadmium	--- [6]	+ [6]	-	-
Pb Lead	--- [5] [6]	+ [6]	-	-
Herbicydy	+ (Atrazyna) [3] [7] [8]	+ (Atrazyna) [7]		/
Pestycydy	/	/		/
Fungicydy	/	/		/
PAK				
Pierwiastki śladowe	-	/		/

Literatura	Objaśnienia
[1] Göttlein, 1996	--- całkowicie nieodpowiedni
[2] Grossmann et al., 1987	-- nieodpowiedni
[3] Klotz, Unold, 2000	
[4] Riess, 1993	- tylko dla specjalistów, wymaga dużej wiedzy i odpowiednich warunków w jakich będzie pracować sącze
[5] Guggenberger und Zech 1992	
[6] Haberhauer 1997	
[7] Schroll 1996	/ brak doświadczeń
[8] Klotz, 1997	+ odpowiedni w ograniczonym zakresie
	++ odpowiedni, porowaty sącze należy przygotować przepłukując go roztworem glebowym (wodą glebową o właściwym chemizmie), pierwsza próba o objętości ok. 0.5 l nie powinna być analizowana, należy ją odrzucić
	+++ odpowiedni, pierwsza próba o objętości ok. 0.5 l nie powinna być analizowana, należy ją odrzucić
	DOC Rozpuszczony Węgiel Organiczny (RWO)
	TOC Całkowity/Ogólny Węgiel Organiczny (OWO)

### 4.3. Typy próbników produkowanych przez UMS

#### 4.3.1. Końcówki ssące (sączki)

##### SK20

Próbnik SK20 posiada ceramiczną końcówkę ssącą oraz odłączany trzon próbniaka. Może być stosowany do pobieranie roztworu w cyklu ciągłym lub przerywanym. Nadaje się do określania azotanów i typowych organicznych i nieorganicznych związków chemicznych (badania azotanów, chlorków, siarczanów, wapnia, sodu, amonu oraz fosforu).

Zalety:

- bardzo mała objętość martwa
- możliwość wymiany trzonu próbniaka oraz sączka
- dopuszczalny odczyn roztworu od pH 4 do pH 9

Ograniczenia:

- nie nadaje się do badań metali ciężkich

## SIC20

Próbnik wody porowej typu SIC20 posiada odłączany trzon (analogicznie jak SK20) oraz końcówkę ssącą wykonaną z węgla krzemu. Węgiel krzemu jest poddawany spiekaniu w temperaturze 2500°C i w porównaniu do sączków ceramicznych oraz borokrzemianowych jest mniej podatny na zjawisko absorpcji/resorpcji. Ciśnienie „pęcherzykowania” (ang. *bubble point*) wynosi 90 kPa. Przeznaczony do pobierania roztworu w cyklu ciągłym bądź przerywanym. Nadaje się do badań praktycznie wszelkich związków za wyjątkiem metali ciężkich (w razie konieczności zaleca się przeprowadzenie testu sorpcji w obecności rzeczywistego roztworu glebowego).

Zalety:

- wysoka przepuszczalność
- niska sorpcja
- bardzo mała objętość martwa
- możliwość wymiany trzonu próbника oraz sączka

Ograniczenia:

- ograniczone możliwości stosowania w obecności metali ciężkich

## SPE20

Próbnik wody porowej typu SPE20 posiada sączek z membrany o porowatych właściwościach, którą wytwarza się z PE oraz nylonu. Nadaje się szczególnie do badań metali ciężkich i wszędzie tam gdzie stosowanie ceramiki jest niewskazane.

Zalety:

- wykrywanie herbicydów, pestycydów oraz metali ciężkich
- niewielka sorpcja
- pobrany roztwór ma styczność jedynie z nylonem i polietylenem

Ograniczenia:

Chociaż ciśnienie „pęcherzykowania” (ang. *bubble point*) wynosi 100 kPa to porowata polietylenowa otulina sączka pozwala na przenikanie wody jedynie do 20 kPa.

## SKPE25

Próbnik posiada ceramiczny sączek. Pobierany roztwór jest gromadzony wewnątrz próbника (w samym jego trzonie) w związku z czym nie wymaga stosowania butelki na próby. Przechowywany w środku próbника odciek wydobywa się wytwarzając wewnątrz przyrządu odpowiednie ciśnienie. Umożliwia pobieranie roztworu glebowego z głębokości do 8 m.

Zalety:

- pobrany roztwór jest przechowywany w temperaturze gruntu
- dopuszczalny odczyn roztworu od pH 4 do pH 9
- korzyści finansowe wynikające ze zrezygnowania z konieczności stosowania butelek

Ograniczenia:

- nie nadaje się do badań metali ciężkich

### **SG25**

Próbnik wody porowej z końcówką ssącą wykonaną z porowatego szkła borokrzemianowego. Stosowany przy badaniach fosforanów oraz DOC (RWO). Dostępny w średnicach 20 i 25 mm

Ograniczenia:

- z uwagi na złożone wzajemne oddziaływania chemiczne należy ocenić zjawisko sorpcji

### **4.3.2. Płyty ssące do pozyskiwania odcieku glebowego**

#### **SIC300**

Próbnik płytowy z płytą ssącą wykonaną z porowatego węgla krzemu przeznaczony do poboru odcieku w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych. Może być stosowany w lizymetrach. Płyta posiada od dołu uszczelnienie wykonane z gumy butylowej. W dolnej części znajduje się złącze do podłączenia przewodu dostarczającego podciśnienie o wartości 6 kPa. Punkt pojawienia się pęcherzyków (ang. *bubble point*) wypada przy ciśnieniu 10 kPa.

#### **SPG120**

Próbnik płytowy z płytą ssącą wykonaną z porowatego szkła borokrzemianowego do pobierania odcieku. Zdatny do badań fosforanów i DOC (RWO). Złącze do podłączenia rurki osadzone w centralnej części płyty (pośrodku). Przyrząd chroniony patentem.

Zalety:

- pobieranie odcieku zarówno z nad jak i spod płyty
- nie ma konieczności stosowania powłoki uszczelniającej ponieważ rurka jest mocowana do otworu w środku płyty
- opcjonalnie dostępna jest wersja posiadająca od dołu gumowe uszczelnienie

### **4.3.3. Lizymetr KL2**

Kolumnę lizymetru można zainstalować w terenie w celu pobierania odcieku lub też można ją wykorzystać w laboratorium jako kolumnę glebową i lizymetr. W dolnej części komory instaluje się płytę ceramiczną 0.5 bar charakteryzującą się wysokim stopniem przepływu. Płyta jest od dołu



uszczelniona polietylenową osłoną połączoną szczelnie z komorą. Zbierany przez płytę odciek jest odprowadzany do zbiornika.

Zalety:

- możliwość zainstalowania urządzenia do zbierania odcieku w naturalnej glebie
- może służyć jako laboratoryjna kolumna glebowa

## 5. Załącznik

### 5.1. Definicje

#### ***Końcówka ssąca (sączek), próbnik wody porowej lub lizyometr***

Stosowana jest różna terminologia. W niniejszym opracowaniu nazwy te odnoszą się do urządzeń posiadających membranę o właściwościach hydrofilowych, trzon oraz przewód ssący. Urządzenia te służą do pobierania wody (roztworu glebowego) ze strefy aeracji. Autorzy nie stosują nazwy lizyometr dla określenia próbników wody porowej gdyż w ich rozumieniu pojęcie lizyometru odnosi się do monolitycznej kolumny glebowej.

W USA próbniki wody porowej są powszechnie nazywane lizymetrami (*lysimeter*). Taką też nomenklaturę stosują w Polsce niektóre ośrodki badawcza (od red.)

#### ***Lizyometr***

Pojemnik o określonej powierzchni, wypełniony glebą i posiadający przynajmniej jeden odpływ. Wykorzystywany do prowadzenia badań ilościowych (kwantyfikacji) oraz symulacji związanych z przepływem wody i substancji chemicznych, z analizą procesów rozkładu i innymi reakcjami.

#### ***Tensjometr***

Przyrząd służący do pomiarów siły ssącej gleby.

#### ***Podciśnienie***

Ciśnienie poniżej wartości ciśnienia atmosferycznego.

## 5.2. Jednostki

Stan gleby	pF	hPa	kPa=J/kg	MPa	bar	psi	%rH
Nawodniona	1	-10	-1	-0,001	-0,01	-0,1450	99,9993
	2,01	-100	-10	-0,01	-0,1	-1,4504	99,9926
Pojemność połowa	2.53	-330	-33	-0,033	-0,33	-4,9145	99,9756
Zakresy tensjometru *	2.93	-851	-85,1	-0,085	-0,85	-12,345	
	3	-1.000	-100	-0,1	-1	-14,504	99,9261
	4	-10.000	-1.000	-1	-10	-145,04	99,2638
Punkt trwałego wędnięcia	4.18	-15.136	-1.513	-1.5	-15	-219,52	98,8977
	5	-100.000	-10.000	-10	-100	-1.450,4	92,8772
Wysuszona na powietrzu **	6	-1.000.000	-100.000	-100	-1000	-14.504	47,7632
Wysuszona w suszarce (105°C)	7	-10.000.000	-1.000.000	-1.000	-10000	-145.038	0,0618

\* Standardowy zakres pomiarowy tensjometrów

\*\* zależy od wilgotności powietrza

Uwaga: 1 kPa odpowiada 9.81 cm słupa wody

## 6. Materiały źródłowe

**Czeratzki, W.; 1971:** Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landforschung Völkerode 21, 13-14

**DVWK; 1990:** Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzenmethode. DVWK Merkblätter, Heft 217

**DVWK; 1980:** Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern

**Grossmann, J.; Quentin, K.-E.; Udluft, P.; 1987:** Sickerwassergewinnung mittels Saugkerzen – eine Literaturstudie. Z. Pflanzenernährung u. Bodenkunde 150, 281-261

**G.HENZE, 1999:** Umweltdiagnostik mit Mikrosystemen, Verlag Wiley-VCH, ISBN 3-527-29846-0.

**RAMSPACHER, P., 1993:** Erste Erfahrungen mit tensiometergesteuerten Unterdrucklysimetern zur Erstellung von Sickerwasserbilanzen (Lysimeterstation Wagna), Bericht über die 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, BAL Gumpenstein, 20.-21.4.1993, S. 67-72.

**HARTGE, HORN, 1992:** Die physikalische Untersuchung von Böden, Verlag Enke, ISBN 3432821239.

**FEICHTINGER, F., 1992:** Erste Erfahrungen beim Einsatz eines modifizierten Feldlysimeters, Bericht über die 2. Gumpensteiner Lysimetertagung „Praktische Ergebnisse aus der Arbeit mit Lysimetern“, BAL Gumpenstein, 28.-29.4.1992, S. 59-62.

**KLAGHOFER, E., 1994:** Antworten auf die 7 Fragen an uns Lysimeterbetreiber, Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung „Übertragung von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Regionen“, BAL Gumpenstein, 19.-20.4.1994, S. 5-7.

**ROTH, D., R. GÜNTHER und S. KNOBLAUCH, 1994:** Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen als Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftliche Nutzflächen, Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung „Übertragung von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Regionen“, BAL Gumpenstein, 19.- 20.4.1994, S. 9-21.

**SCHWABACH, H. und H. ROSENKRANZ, 1996:** Lysimeteranlage Hirschstetten - Instrumentierung und Datenerfassung, Bericht über die 6. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter im Dienste des Grundwasserschutzes“, BAL Gumpenstein, 16.-17.4.1996, S. 41-45.

**KRENN, A., 1997:** Die universelle Lysimeteranlage Seibersdorf - Konzeption, Bericht über die 7. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und nachhaltige Landnutzung“, BAL Gumpenstein, 7.-9.4.1997, S. 33-36.

**EDER, G., 1999:** Stickstoffausträge unter Acker- und Grünland, gemessen mit Schwerkraftlysimetern und Sickerwassersammlern, Bericht über die 8. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“, BAL Gumpenstein, 13.-14.4.1999, S. 93-99.

**KUNTZE, ROESCHMANN, SCHWERDTFEGER, 1988:** Bodenkunde, Verlag UTB Ulmer, ISBN 3-8001-2563-3.

**Starr, J.L.; Meisinger, J.J. ; Parkin, T.B.; 1991:** Experience and knowledge gained from vadose zone sampling. In: NASH, R.G.; Leslie A.R. (Eds.): Groundwater Residue Sampling Design. Am. Chem. Soc. Symp. Series 465, 279-289

**Udluft, P.; Quentin, K.-E.; Grossmann, J.; 1988:** Gewinnung von Sickerwasser mittels Saugkerzen – Verbesserung der Probenahmetechnik und Minimierung der Veränderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Sickerwassers. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben DU 3/10-1. Institut für Wasserchemie der TU München.

Tłumaczenie:  
Przedstawicielstwo firmy UMS w Polsce  
Szczecin 2013



ul. Modra 30  
71-220 Szczecin

tel.: 91 482 00 90  
tel./fax: 91 482 60 87  
[www.geomor.com.pl](http://www.geomor.com.pl)