



URZĄD PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

DOKUMENT PATENTOWY

Na podstawie przepisów ustawy z dnia 30 czerwca 2000 r. Prawo własności przemysłowej (Dz. U. z 2021 r. poz. 324) został udzielony na rzecz:

INSTYTUT AGROFIZYKI IM. BOHDANA DOBRZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Lublin, Polska

PATENT

NR 237695

NA WYNALAZEK PT.

Urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny i sposób pomiaru

*przedstawiony w opisie patentowym
włączonym do niniejszego dokumentu*

Patent trwa od dnia: **2020-02-28**

Warszawa, dnia 2021-05-21

Z upoważnienia Prezesa

Urzędu Patentowego

Bakowska

Agnieszka Bakowska
PODREFERENDARZ



RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **237695**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **433101**

(22) Data zgłoszenia: **28.02.2020**

(51) Int.Cl.
G01N 33/24 (2006.01)
G01N 9/24 (2006.01)
G01N 19/10 (2006.01)

(54) **Urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny i sposób pomiaru**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
21.09.2020 BUP 20/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
17.05.2021 WUP 10/21

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT AGROFIZYKI
IM. BOHDANA DOBRZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Lublin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MARCIN KAFARSKI, Lublin, PL
ARKADIUSZ LEWANDOWSKI, Warszawa, PL
AGNIESZKA SZYPLÓWSKA, Lublin, PL
ANDRZEJ WILCZEK, Stasin, PL
WOJCIECH SKIERUCHA, Lublin, PL
ALEKSANDRA WOSZCZYK, Lublin, PL
JUSTYNA SZEREMENT, Lublin, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Magdalena Tarała

PL 237695 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny z wykorzystaniem sondy antenowej oraz sposób prowadzenia pomiaru. Pomiar wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny pozwala ustalić jakie zasoby wody są dla niej rzeczywiście dostępne.

Dotychczas znane jest ze zgłoszenia patentowego WO2009084971A1 urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego. Urządzenie to wykorzystuje reflektometrię w dziedzinie czasu. Metoda ta polega na pomiarze przenikalności elektrycznej i związana jest z pomiarem prędkości rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w badanym materiale. Zastosowana sonda zbudowana jest z wielu prętów – zawiera od pięciu do sześciu prętów.

W opisie zgłoszeniowym US 20030071637 A1 przedstawiona jest sonda, która mierzy wilgotność gleby na różnych poziomach. Urządzenie to wykorzystuje płaskie falowody przymocowane do elastycznej tuby, która dociska falowody do gleby.

Z opisu patentu PL 227864 B1 wynika, że aby prawidłowo odczytać parametry gleby należy zastosować dwa pręty.

W opisie patentowym PL 224934 B1 przedstawiona jest budowa sondy do pomiaru wilgotności gleby techniką TDR, przy czym falowody opisane w wynalazku są o różnych długościach.

Natomiast w publikacji zgłoszenia patentowego KR20100095096A opisano urządzenie pomiarowe do pomiaru wilgotności w glebie, które zawiera sondę, antenę nadawczą i antenę odbiorczą oraz jednostkę przetwarzającą sygnał. Sonda wykonana jest jako wieloprętowa albo jako sonda cylindryczna. W tym wariantcie antena nadawcza i antena odbiorcza, pełniące rolę prętów, znajdują się wewnątrz wydrążonego cylindra sondy i wykonane są jako dwie płytki, które kontaktują się z glebą na zasadzie styku do ich powierzchni. Na płytkach umieszczona jest ścieżka transmisyjna.

W pracy opublikowanej w Journal of Applied Geophysics Volume 68, Issue 2, czerwca 2009, str. 182–193 pt. "In-situ characterization of soil moisture content using a monopole probe" przedstawiono badania FDR sondy z anteną monopolową o długościach od 50 do 90 mm i średnicy flanszy od 100 do 210 mm. Pręt anteny został bezpośrednio dołączony do złącza współosiowego przez co opisywana sonda nie posiada odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej przy wbijaniu w glebę.

Z publikacji WO8912820 znana jest sonda do pomiaru zawartości wody, zawartości ciał stałych i przewodności elektrycznej materiałów porowatych, zawiesin, cieczy itp. przy użyciu reflektometrii w dziedzinie czasu, zawierająca przewodzący pręt osadzony w przewodzącej głowicy. Pręt jest odizolowany od przewodzącej głowicy za pomocą materiału dielektrycznego, a pręt i głowica są zwymiarowane i rozmieszczone tak, aby naśladować współosiową linię transmisyjną. Przewodząca głowica tworzy współosiowy ekran. Na Fig. 1a–Fig. 1c przedstawiona została sonda jednoprętowa w przykładowym wykonaniu posiada przewodzącą głowicę w kształcie prostopadłościanu. Pozostałe przykłady dotyczą realizacji wieloprętowych.

Natomiast publikacja DE3702725A1 dotyczy czujnika wilgoci do pojemnościowego pomiaru wilgotności gleby. Czujnik składa się z plastikowej rurki, w której zamontowany jest pierścieniowy kondensator i która ma metalową uziemioną końcówkę. Rurka i obudowa są wypełnione żywicą. Rozwiązanie to dotyczy pojemnościowych metod wykrywania z zastosowaniem kondensatorów. Pomimo, że w opisywanych rozwiązaniach znajduje się konstrukcja sondy bardzo zbliżona pod względem kształtu to jednak dotychczas nie zastosowano w pomiarach taką sondą metody TDR. Zastosowanie metody TDR wymaga doboru średnicy flanszy i długości pręta anteny, które zostały przedstawione w opisywanym zgłoszeniu.

Ponadto ujawnione w powyższych opisach urządzenia, posiadają prostą budowę, wykazują jednak istotną wadę, którą jest większa niż jeden liczbą prętów w sondzie, które powinny być wprowadzane równolegle. Znane urządzenia nie nadają się zatem do pomiaru wilgotności gleby w pobliżu systemu korzeniowego rośliny. Zastosowanie wielu prętów powoduje, że takie urządzenie w większym stopniu niszczyłoby system korzeniowy i ponadto samo byłoby bardziej narażone na uszkodzenia, ze względu na możliwe niekontrolowane wygięcia prętów, tym bardziej, jeśli miałyby być stosowane do wbijania w twardsze fragmenty gleby z systemem korzeniowym.

Zaproponowana w publikacji WO8912820 sonda w jednej z przykładowych realizacji proponuje, co prawda, jeden pręt pomiarowy, który wbijany jest w glebę, jednak kształt przewodzącej głowicy, mającej postać prostopadłościanu nie pozwala na wystarczające ekranowanie badanego ośrodka glebo-

wego od otoczenia znajdującego się ponad glebą. Powoduje to, że duży wpływ na pomiar mają parametry otoczenia, przez co wyniki obciążone są znacznym błędem. Proponowane w WO8912820 rozwiązania nie gwarantują zatem oczekiwanej dokładności pomiaru.

Rozwiązanie znane z DE3702725A1 dotyczy natomiast pomiarów z zastosowaniem pojemnościowych technik pomiarowych. Skutkiem tego jest całkowicie odmienna budowa urządzenia. Urządzenie nie posiada elementów ekranujących, gdyż w tego rodzaju urządzeniach takich środków się stosuje.

Celem wynalazku jest skonstruowanie urządzenia do pomiaru wilgotności gleby w pobliżu systemu korzeniowego rośliny z zastosowaniem technologii TDR, w krótkim czasie, bez konieczności kalibracji sondy bez względu na rodzaj gleby, w którym dokonywany jest pomiar. Technologia TDR, przy odpowiedniej konstrukcji urządzenia pomiarowego, zapewnia jedną z najlepszych dokładności pomiarowych wilgotności, w tym wilgotności ośrodka glebowego. Celem jest ponadto zaproponowanie sposobu prowadzenia pomiaru wilgotności gleby.

Istotą urządzenia do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny, składającego się z sondy antenowej, połączonej dla doprowadzenia sygnału poprzez przewód i złącza z wektorowym analizatorem sieci lub reflektometrem TDR, w którym sonda posiada jeden pręt, którego górna część umieszczona jest w cylindrycznym korpusie wypełnionym żywicą polega na tym, że w korpusie znajduje się flansza. Korpus wypełniony jest żywicą, z zachowaniem impedancji falowej ok. 50 Ω. Średnica flanszy wynosi przynajmniej połowę swobodnej długości pręta, a więc tej znajdującej się poza korpusem. Natomiast swobodna długość pręta sondy jest większa niż wyliczona ze wzoru $(c \cdot t)/2$, gdzie t – szerokość impulsu wejściowego w czasie, c – prędkość światła w próżni.

Korzystnie, pręt sondy uformowany jest jako wiertło.

Alternatywnie, pręt sondy ma postać stożka albo stożka o ściętym wierzchołku.

Korzystnie, flansza wykonana jest jako otworowa.

Istotą sposobu pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny z zastosowaniem powyższego urządzenia, w którym to sposobie pręt sondy wbijany jest w glebę jest to, że pręt sondy wbijany jest w glebę do uzyskania kontaktu flanszy z glebą, a sygnał odczytany z wektorowego analizatora sieci lub reflektometru TDR analizowany jest w dziedzinie czasu w zakresie od 0 do 20 ns. Zastosowanie flanszy osadzonej na korpusie pozwala uzyskać urządzenie jednoprętowe, mianowicie flansza pełni rolę płaszczyzny masy, stanowiąc niejako drugi pręt sondy i umożliwiając realizację pomiaru czasu rozprzestrzeniania się fali elektromagnetycznej. Jednocześnie kształt – flansza wraz z zaproponowaną jej średnicą pozwala na efektywną pracę sondy umożliwiając uzyskanie łatwego do interpretacji w dziedzinie czasu sygnału TDR, z wykluczeniem wpływu otoczenia znajdującego się ponad glebą.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest prosta budowa urządzenia, natychmiastowy odczyt wilgotności gleby zwłaszcza w okolicach systemu korzeniowego roślin. Zastosowanie tylko jednego pręta pozwala na łatwą aplikację sondy w glebie oraz minimalizuje uszkodzenia systemu korzeniowego, natomiast flansza ekranując od otoczenia zapewnia dokładność pomiaru.

Dodatkowo, z przeprowadzonych badań wynika, że gdy sonda nie ma kołowej flanszy, znaczna część pola elektromagnetycznego znajduje się blisko obudowy sondy i złącza SMA. Może to spowodować znaczne zmniejszenie amplitudy impulsu odbitego od końca pręta, a tym samym utrudnić poprawną interpretację reflektogramu. Ponadto pole elektromagnetyczne wykracza daleko poza badany materiał, co prowadzi do dodatkowych błędów pomiarowych. Źródłem błędów, przed którymi chroni ekranowanie za pomocą flanszy są również pasożytnicze odbicia sygnału TDR od elementów znajdujących poza próbką badanego materiału glebowego, takich jak np. obudowa sondy, złącza na kablach doprowadzających, czy rośliny znajdujące się blisko obudowy. Tymczasem, dla uzyskania dokładnych wyników, sygnał powinien zostać odbity jednokrotnie, od końca pręta.

Zastosowanie flanszy powoduje więc, że większa część pola elektromagnetycznego pozostaje pomiędzy flanszą i prętem, tj. w badanym materiale.

Dodatkowo urządzenie przystosowane jest do pracy ciągłej, bez konieczności kalibracji bez względu na typ mierzonej gleby. Urządzenie ma zalety prostej konstrukcji, wygodnej obsługi i wysokiej dokładności pomiaru.

Aplikację w glebie ułatwia ponadto uformowanie pręta jako stożka albo wiertła.

Wykonanie flanszy jako otworowej umożliwia lepsze jej przyleganie do gleby, której powierzchnia nie zawsze jest równa, mianowicie występują na niej grudki, bryłki, itp. Otworowanie flanszy nie pogarsza znacząco własności pomiarowych, a dzięki otworom łatwiej przylega do powierzchni rozgniatając

bryłki lub wgniatając się w nierówności. Flansza płaska potrzebowałaby znacznie większej siły, by uzyskać efekt właściwego przylegania, a i tak pomiędzy nią a glebą pozostałoby puste przestrzenie, negatywnie wpływające na pomiar. Ponadto, w przypadku gdyby sonda miała być zainstalowana na stałe, otwory umożliwiającą przenikanie wody deszczowej, nie zakłócając jej rozptywu w glebie, a w konsekwencji pozwalając na prawidłowy pomiar.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania został uwidoczniony na rysunku, na którym:
Fig. 1 przedstawia schemat urządzenia do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny,

Fig. 2 – sondę w przekroju oraz w widoku od spodu flanszy,

Fig. 3 – sondę w wariacie ze stożkowym prętą,

Fig. 4 – sondę w wariacie z prętą mającym kształt wiertła,

Fig. 5 – wariant flanszy z otworami.

Urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny składa się z wektorowego analizatora sieci 1 typu Rohde&Shwarz ZVCE, do którego dołączony jest stałofazowy przewód 2. Do przewodu 2 poprzez złącze 3 SMA doprowadzane są: sygnał do pręta 4 sondy oraz masa do cylindrycznego korpusu 5. Pręt 4 wykonany jest ze stali nierdzewnej typu 304 o średnic 4 mm. Korpus 5 sondy o średnicy zewnętrznej 18 mm i długości 60 mm wykonany jest z miedzi i ma grubość ścianki 1 mm. Górna część pręta 4 umieszczona jest w korpusie 5 z zachowaniem odpowiedniej jego odległości od ściany korpusu 5, natomiast pozostała długość $s = 100$ mm pręta 4 pozostaje swobodna i ta część umieszczana jest w glebie. Wariantowo pręt 4, dla łatwiejszego wbijania w glebę, ma postać stożka, co ilustruje Fig.3. Alternatywnie, również dla ułatwienia umieszczania w glebie pręt 4 może być uformowany jako wiertło, co zostało przedstawione na Fig. 4. Korpus 5 sondy wypełniony jest żywicą 7, zastosowano żywicę mineralną poliuretanową 2-składnikową ISO-PUR K 760 o stałej dielektrycznej $\epsilon = 4$, zapewniając impedancję falową ok. 50Ω . Na korpusie 5 znajduje się flansza 6, mająca średnicę wynoszącą 50% długości swobodnej pręta 4. Flansza może być wykonana jako otworowa, co ilustruje Fig. 5. Impuls wejściowy generowany przez wektorowy analizator sieci 1 przekształcany przy pomocy transformaty IFFT na impuls o szerokości 700 ps wypromieniowany jest przez pręt 4 sondy antenowej, a część tego sygnału zamyka się przez flanszę 6.

Pomiar wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego z wykorzystaniem urządzenia przedstawionego w przykładzie wykonania polega na tym, że swobodną część pręta 4 umieszcza się w glebie do uzyskania kontaktu flanszy 6 z glebą. Następnie generowany jest sygnał z wektorowego analizatora sieci 1 o szerokości impulsu 700 ps. Sygnał ten poprzez przewód 2 trafia do złącza 3 sondy a następnie do pręta 4.

Sygnał zostaje odbity od punktów charakterystycznych sondy, a zwłaszcza od końca pręta 4. Pomiar polega na ustaleniu względnej przenikalności elektrycznej i wiąże się z pomiarem czasu rozprzestrzeniania się fali elektromagnetycznej. Prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej jak i tłumienie zależy od zawartości wody w glebie. Czas ten wyznaczany jest z analizy reflektogramu. Mając dany czas wyznacza się prędkość propagacji fali elektromagnetycznej, a na jej podstawie pozorną przenikalność elektryczną. Ten parametr pozwala na wyliczenie wilgotności objętościowej. Flansza 6 połączona z masą sygnału powoduje zmianę rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego wokół pręta 4, co korzystnie wpływa na dokładność pomiaru.

Wilgotność gleby w okolicach systemu korzeniowego określano z wykorzystaniem miernika TDF FOM/mts z sondą dwuprętową odpowiadającą długości pręta anteny.

Przykładowe wyniki serii pomiarów dla różnych wilgotności gleby i czasu t odczytanego impulsu umieszczono w Tabeli.

T a b e l a – Czas drugiego odbicia sygnału w funkcji wilgotności dla różnych flanszy

Względna przenikalność elektryczna	Czas drugiego odbicia sygnału – t [ns]	Średnica flanszy - d [mm]
1 2,44 21,8 80	2,30 3,28 5,34 8,09	Brak
1 2,44 21,8 80	2,89 3,32 5,46 8,26	60
1 2,44 21,8 80	2,95 3,35 5,54 8,25	200

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny, składające się z sondy antenowej, połączonej dla doprowadzenia sygnału poprzez przewód i złącze z wektorowym analizatorem sieci lub reflektometrem TDR, w którym sonda posiada jeden pręt, którego górna część umieszczona jest w cylindrycznym korpusie wypełnionym żywicą, **znamiennie tym**, że na korpusie (5) znajduje się flansza (6), przy czym korpus (5) wypełniony jest żywicą (7) z zachowaniem impedancji falowej ok. 50Ω , a średnica flanszy (6) wynosi przynajmniej połowę swobodnej długości (s) pręta (4), znajdującego się poza korpusem (5), natomiast swobodna długość (s) pręta (4) sondy jest większa niż wyliczona ze wzoru: $(c \cdot t)/2$, gdzie t – szerokość impulsu wejściowego w czasie, c – prędkość światła w próżni.
2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że pręt (4) sondy uformowany jest jako wiertło.
3. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że pręt (4) sondy ma postać stożka albo stożka o ściętym wierzchołku.
4. Urządzenie według któregokolwiek z poprzednich zastrz., **znamiennie tym**, że flansza (6) wykonana jest jako otworowa.
5. Sposób pomiaru wilgotności gleby w okolicach systemu korzeniowego rośliny z zastosowaniem urządzenia określonego zastrz. od 1 do 6, w którym pręt (4) sondy wbijany jest w glebę, **znamiennie tym**, że pręt (4) sondy wbijany jest w glebę do uzyskania kontaktu flanszy (6) z glebą, a sygnał odczytany z wektorowego analizatora sieci lub reflektometru TDR (1) analizowany jest w dziedzinie czasu w zakresie od 0 do 20 ns.

Rysunki

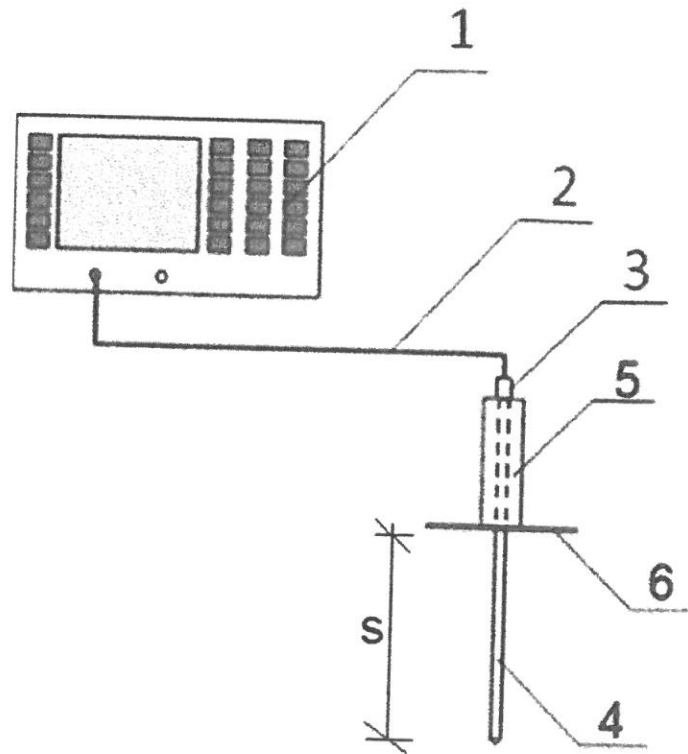


Fig.1

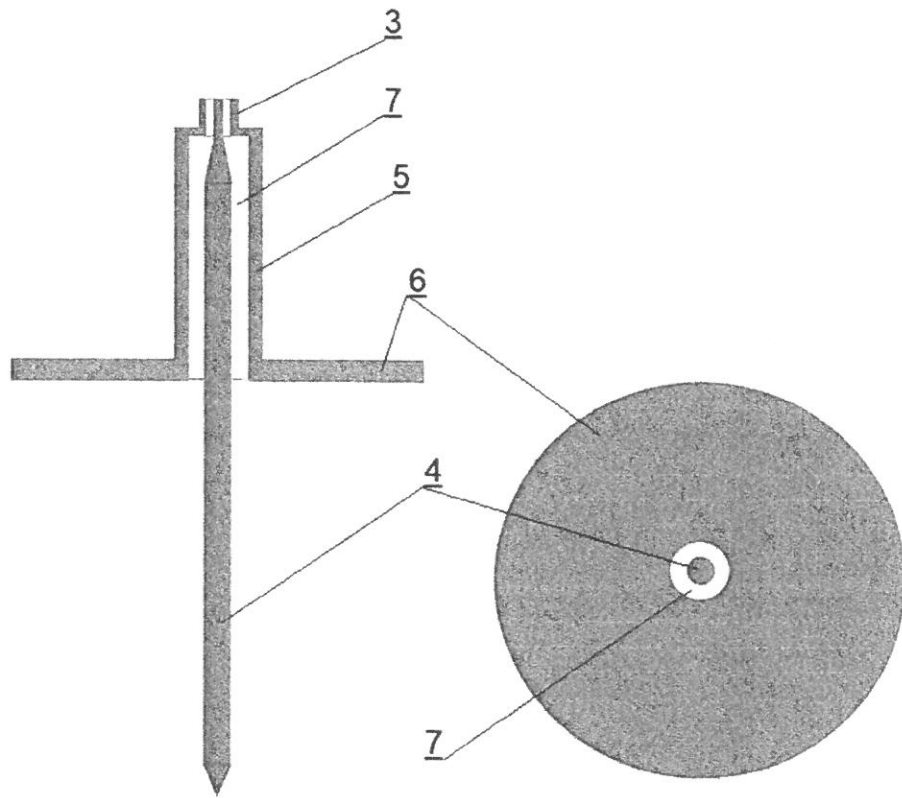


Fig.2

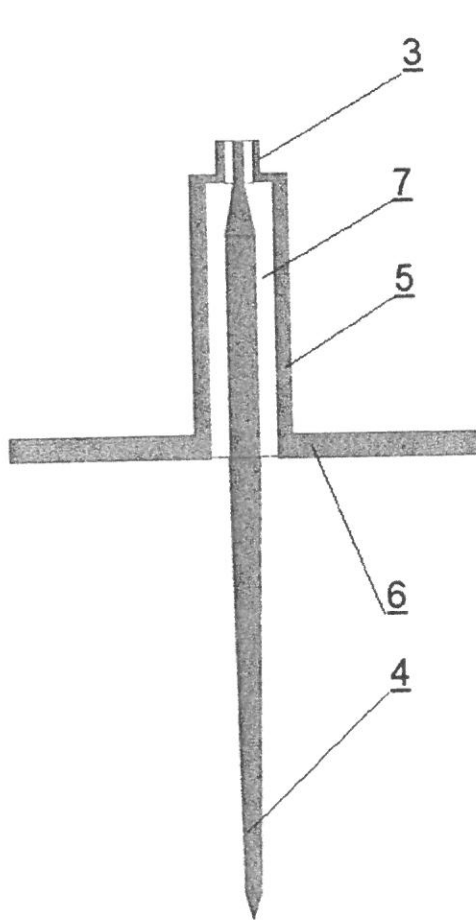


Fig.3

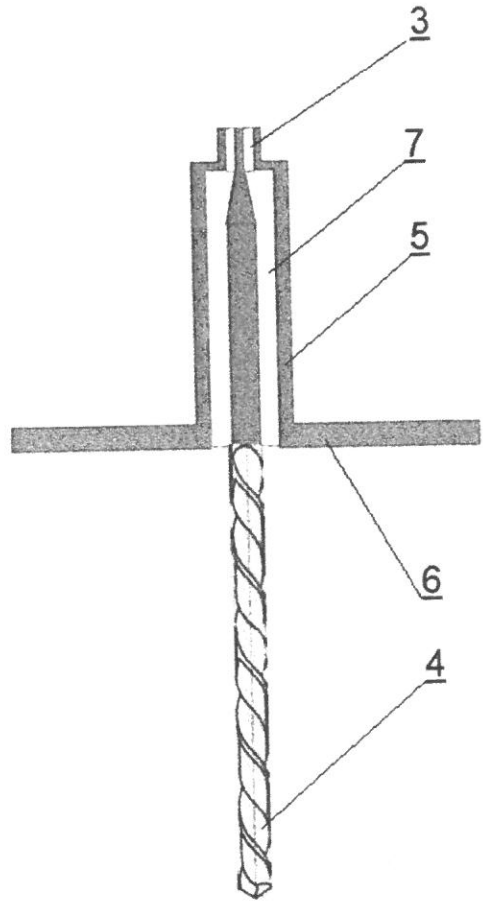


Fig.4

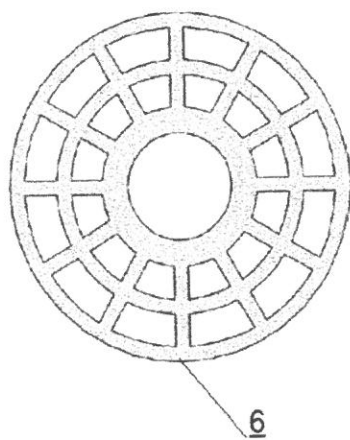


Fig.5