

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 245531 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437690**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.26**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.31 BUP 44/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.08.26 WUP 35/2024**

(51) MKP:

**H01G 11/32 (2013.01)**

- (73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:  
**PRZEMYSŁAW GALEK, Solec Kujawski, PL**  
**MACIEJ TOBIS, Poznań, PL**  
**ADAM MAĆKOWIAK, Środa Wielkopolska, PL**  
**MASOUD FOROUTAN KOUDAHI, Poznań, PL**  
**PAULINA BUJEWSKA, Piechcin, PL**  
**JUSTYNA PIWEK, Żary, PL**  
**ADAM ŚLESIŃSKI, Poznań, PL**  
**JAKUB MENZEL, Poznań, PL**  
**PAWEŁ JEŻOWSKI, Poznań, PL**  
**KRZYSZTOF FIC, Poznań, PL**
- (74) Pełnomocnik:  
**rzecz. pat. Marcin Walkowiak, Dobra, PL**

(54) Tytuł:

**Kondensator elektrochemiczny**

**PL 245531 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest kondensator elektrochemiczny, którego elektrody zostały wykonane na bazie proekologicznego spoiwa tj. glutenu, z zastosowaniem jako urządzenie do konwersji i magazynowania energii elektrycznej.

Kondensatory podwójnej warstwy elektrycznej KE (ang. *Electric Double-Layer Capacitors*, EDLCs), zwane również superkondensatorami (ang. *Supercapacitors*, SCs), stanowią elektrochemiczne urządzenia do magazynowania i konwersji energii. Zbudowane są z dwóch elektrod (przeważnie wykonanych z tego samego materiału) oddzielonych separatorem oraz zanurzonych w elektrolicie.

Główna zasada gromadzenia ładunku w KE polega na oddziaływaniach elektrostatycznych pomiędzy jonami obecnymi w elektrolicie a spolaryzowaną powierzchnią elektrod (mechanizm niefaradajowski). Podczas ładowania KE, pod wpływem przyłożonego z zewnętrznego źródła napięcia, jony o ładunku dodatnim (zwane kationami) przyciągane są do elektrody polaryzowalnej ujemnie. Jednocześnie jony o ładunku ujemnym (zwane anionami) przyciągane są do elektrody polaryzowanej dodatnio [González, A., Goikolea, E., Barrena, J., Mysyk, R., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58, 1189–1206]. Tak zaadsorbowane jony tworzą tzw. podwójną warstwę elektryczną (ang. *Electrical Double-Layer*, EDL). EDL utworzona jest z ładunku na elektrodzie i jonów o odmiennym znaku z roztworu bezpośrednio sąsiadującym z powierzchnią elektrody [Damaskin, B., Petrii, O., *J Solid State Electrochem*, 2011, 15, 1317–1334]. Podczas zasilania odbiornika energii (wyładowania KE) jony dyfundują od powierzchni elektrod w głąb elektrolitu. Właściwościami, które wyróżniają KE spośród innych elektrochemicznych magazynów energii jest ich stosunkowo wysoka moc właściwa oraz długa żywotność [Simon, P., Gogotsi, Y., *Nature Materials*, 2020, 19, 1151–1163]. Te specyficzne właściwości wynikają z ograniczonego udziału reakcji elektrochemicznych (tzw. faradajowskich), które stanowią podstawę magazynowania ładunku w tradycyjnych ogniwach drugiego rodzaju (zwanymi ogniwami odwracalnymi lub akumulatorami) [Nitta, N., Wu, F., Lee, J., Yushin, G., *Materials Today*, 2015, 18]. Reakcje te polegają na zrywaniu i tworzeniu nowych wiązań chemicznych. Powolna dynamika reakcji faradajowskich wydłuża czas ładowania/wyładowania, a tym samym ogranicza wartość mocy oraz skraca żywotność akumulatora. Jednocześnie dochodzi do tworzenia nowych faz oraz utrudnień wynikających z zachodzących procesów ubocznych. Materiały, z których wykonane są poszczególne elementy składowe KE wykazują brak lub małą toksyczność na środowisko naturalne, w przeciwieństwie do materiałów stosowanych w ogniwach. Do pozostałych zalet KE należy: wysoka wydajność (sięgająca 95%), niski stopień degradacji materiału elektrodowego oraz wysoki stopień bezpieczeństwa. Znaczącą wadą KE jest stosunkowo niska energia właściwa, przez co urządzenia te nie mogą znaleźć zastosowania dla dłuższego zasilania odbiornika energii. [Lu, M., Beguin, F., Frackowiak, E., 2013, ISBN: 978-3-527-32883-3].

KE do tej pory miały zastosowanie jedynie w niszowych branżach, np. w stabilizacji częstotliwości sieci elektrycznych [Kopka, R., Tarczyński, W., *Journal of Marine Engineering & Technology*, 2017, 16, 200–208]. Obecnie są stosowane zamiennie lub w połączeniu z ogniwami fotowoltaicznymi [Jaszczur, M., Hassan, Q., *Applied Energy*, 2020, 79, 115776] oraz paliwowymi [Siangsanoh, A., Bahrami, M., Kaewmanee, W., Gavagsaz-Ghoachani, R., Phattanasak, M., Martin, J., Nahid-Mobarakeh, B., Weber, M., Pierfederici, S., Maranzana, G., Didiejean, S., *Mathematics and Computers in Simulation*, 2020, 184, 21–40], gdzie istnieje potrzeba zastosowania impulsów o dużej mocy takich jak: źródła mocy szczytowej, cyfrowe urządzenia komunikacyjne czy turbiny wiatrowe. Ponadto można je znaleźć w urządzeniach codziennego użytku: telefonach komórkowych, laptopach, zabawkach, kamerach video czy pamięci „back-up”. Impuls mocy konieczny jest także w przypadku uruchamiania samochodu. Aktualnie akumulatory (np. litowo-jonowe) posiadają ugruntowaną pozycję na rynku technologii magazynów energii elektrycznej, jednak nie są w stanie zapewnić takich właściwości jak KE. W związku z tym faktem coraz częściej spotyka się rozwiązania hybrydowe – łączące oba układy. W szczególności dotyczy to branży transportu elektrycznego – samochodów osobowych i ciężarowych, tramwajów oraz metra. Połączenie układów zapewnia jednocześnie wysoką energię (pochodzącą z akumulatora) oraz moc dostarczaną przez KE. Urządzenie to jest także głównym źródłem energii podczas przyspieszania czy pokonywania wzniesień oraz jej magazynem podczas hamowania (podczas którego odbierane są duże zasoby energii w krótkim czasie) [Horn, M., MacLeod, J., Liu, M., Webb, J., Motta, N., *Economic Analysis and Policy*, 2019, 61, 93–103].

Głównym celem prowadzonych obecnie badań w obrębie tematyki KE jest zwiększenie ich energii właściwej do poziomu zbliżonego z akumulatorami. Energia ( $E$ ) (opisana równaniem 1 może być zwiększona poprzez wzrost pojemności ( $C$ ) lub/ oraz napięcia pracy ( $U$ ) układu.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad (1)$$

gdzie:	$E$	– energia	[Wh]
	$C$	– pojemność kondensatora elektrochemicznego	[F]
	$U$	– napięcie pracy	[V]

Zgodnie z równaniem 2 zwiększenie pojemności ( $C$ ) układu może nastąpić poprzez zwiększenie powierzchni elektrod ( $A$ ), dobór substancji o wyższej stałej dielektrycznej ( $\epsilon_r$ ) oraz zmniejszenie grubości EDL ( $d$ ).

$$C = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{d} \quad (2)$$

gdzie:	$A$	– powierzchnia elektrod	[m <sup>2</sup> ]
	$\epsilon_0$	– przenikalność elektryczna próżni	[F·m <sup>-1</sup> ]
	$\epsilon_r$	– względna przenikalność elektryczna ośrodka	[-]
	$d$	– grubość warstwy EDL	[m]

Zastosowanie elektrod o rozwiniętej powierzchni skutkuje uzyskaniem dużych wartości pojemności. Do najczęściej stosowanych materiałów elektrodowych należą węgle o strukturze porowatej [Fic, K., Piwek, J., Płatek, A., Frąckowiak, E., *Materials Today*, 2018, 21, 457–454], tlenki metali przejściowych [Abdah, M., Azman, N., Kulandaivalu, S., Sulaiman, Y., *Materials and Design*, 2020, 186, 108199] oraz polimery przewodzące [Martins, V., Obana, T., Torresi, R., *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2020, 114822]. Ponadto wzrost pojemności można uzyskać poprzez wykorzystanie reakcji faradajowskich (KE pseudopojemnościowe). Urządzenia te obok wykorzystania podstawowego mechanizmu magazynowania ładunku w EDL są źródłem prądu pochodzącego z reakcji przeniesienia ładunku, w związku z występowaniem substancji zaadsorbowanych na powierzchni i ulegających przemianie faradajowskiej. W tego typu urządzeniach wykorzystuje się materiały zdolne do ulegania powierzchniowym reakcjom redoks (np. tlenki rutenu, polimery elektroaktywne) [Liu, Y., Jiang, S., Shao, Z., *Materials Today Advances*, 2020, 7, 100072].

Druga strategia poprawy energii właściwej KE dotyczy zwiększenia stosowanego napięcia ( $U$ ) pracy. W tym celu poszukuje się elektrolitów o zwiększonej stabilności elektrochemicznej. Elektrolity można podzielić na elektrolity wodne i organiczne oraz ciecze jonowe. Obecnie jako roztwory elektrolitów często wykorzystywane są roztwory wodne, przede wszystkim ze względu na ich niską cenę oraz korzystny profil środowiskowy [Schranger, H., Barzegar, F., Abbas, Q., *Current Opinion in Electrochemistry*, 2020, 167–174]. Do ich zalet należy: wysoka wartość przewodnictwa oraz prosty sposób oczyszczania i suszenia materiałów elektrodowych podczas procesu produkcyjnego. Jednak posiadają znaczącą wadę ograniczającą szersze zastosowanie KE w przemyśle: niskie napięcie robocze (teoretycznie 1,23 V). Powyżej tej wartości na elektrodzie polaryzowanej dodatnio następuje rozkład cząsteczek wody z wydzieleniem tlenu, a na elektrodzie polaryzowanej ujemnie rozkład cząsteczki wody z wydzieleniem wodoru. Elektrolity organiczne pozwalają na uzyskanie napięcia do 2,4 V [Han, J., Yoshimoto, N., Todorov, Y., Fujii, K., *Electrochimica Acta*, 2018, 281, 510–516]. Niekorzystnym efektem ich stosowania jest wysoka wartość rezystancji właściwej, skutkiem czego jest spadek mocy KE. Ciecze jonowe (ang. *Ionic Liquids*, ILs) mogą pozwolić na uzyskanie napięcia pracy 3 V, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo z uwagi na ich niską palność i wysoką stabilność termiczną. Wadą cieczy jonowych jest wysoka lepkość oraz stosunkowo niskie przewodnictwo [Martins, V., Torresi, R., *Electrochimica Acta*, 2018, 270, 453–460].

Materiały węglowe stanowiące główny składnik elektrod KE są zazwyczaj związane materiałem wiążącym, tzw. spoiwem. Rolą spoiwa jest wzajemne połączenie cząstek materiału węglowego, nadanie elastyczności elektrodzie oraz zapewnienie stabilności podczas długotrwałego działania.

Dodatki spełniające rolę spoiwa muszą zapewniać dobre właściwości mechaniczne oraz elektrochemiczne przygotowanych elektrod. Dodatkowo spoiwo nie powinno ograniczać przewodnictwa elektrody, ruchu jonów w porach oraz zwilżalności materiału węglowego. Obecnie w kondensatorach elektrochemicznych pracujących w środowisku wodnym najczęściej stosowanymi lepiszczami są

poli(tetrafluoroetylen) (PTFE) oraz polifluorek winylidenu (PVDF). Jednak ze względu na obecność fluoru oraz ograniczone możliwości recyklingu takich elektrod, trwają poszukiwania alternatywnych biodegradowalnych spoiw. W literaturze można znaleźć liczne przykłady „biospoiw” dla kondensatorów elektrochemicznych takich jak: karboksymetyloceluloza (CMC) [Bonnetoi, L., Simon, P., Fauvarque, J.F., Sarrazin, C., Sarrau, J.F., Dugast A. *Journal of Power Sources*, 1999, 80, 149–155], naturalna celuloza [Böckenfeld, N., Jeong, S.S., Winter, M., Passerini, S., Balducci, A., *Journal of Power Sources*, 2013, 221, 14–20; Varzi, A., Balducci, A., Passerini, S., *Journal of Electrochemican Society*, 2014, 161, A368–A375], alginian [Yamagata, M., Ikebe, S., Soeda, K., Ishikawa, M., *RSC Advances*, 2013, 3, 1037–1040] czy polisacharyd [Varzi, V., Passerini, S., *Journal of Power Sources*, 2015, 300, 210–222]. Według naszej wiedzy gluten jako spoiwo nie był jeszcze zastosowany do przygotowania elektrod kondensatorów elektrochemicznych.

Istotą wynalazku jest kondensator elektrochemiczny z zastosowaniem jako urządzenie do konwersji i magazynowania energii, zawierający elektrody z materiału węglowego o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej ( $500 \div 2000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) rozdzielone separatorem. Elektrolit stanowi roztwór wodny soli nieorganicznej.

Spoiwem wiążącym materiał węglowy obu elektrod jest gluten w stosunku wagowym do materiału węglowego od 50 : 50 do 80 : 20, korzystnie 70 : 30.

Korzyści płynące z wynalazku umożliwiają:

- wykorzystanie dowolnego elektrolitu wodnego o niskim lub wysokim stężeniu soli;
- wykorzystanie szerokiej gamy materiałów węglowych o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej;
- stosowanie średnich temperatur pracy układu ( $0 \div 50^\circ\text{C}$ );

Zastosowanie rozwiązania według wynalazku pozwoliło nadto na uzyskanie następujących korzyści technologiczno-użytkowych:

- pojemności i energii urządzenia zbliżonej do układów bazujących na nieekologicznych spoiwach jak PTFE czy PVDF (dla węgla aktywnych  $80 \div 120 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ ),
- zastosowanie napięcia uwarunkowanego jedynie napięciem rozkładowym elektrolitu, korzystnie – 1,6 V,
- zakres temperaturowy pracy urządzenia  $0 \div 50^\circ\text{C}$ , korzystnie  $25^\circ\text{C}$ ,
- utrzymanie wysokiego przewodnictwa materiału elektrodowego,
- tania i łatwa metoda otrzymywania glutenu,
- łatwy i szybki sposób formowania elektrod,
- brak konieczności użycia rozpuszczalników organicznych podczas formowania elektrod,
- możliwość wykorzystania odpadowego glutenu z innych dziedzin przemysłu,

Wynalazek w przykładach realizacji wsparto rysunkiem. Na fig. 1 pokazano pojemność właściwą kondensatorów elektrochemicznych opartych na różnym składzie materiału elektrodowego w zależności od zastosowanej gęstości prądu w  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  roztworze siarczanu (VI) litu ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ).

Fig. 2 pokazuje zależność energii właściwej od mocy właściwej (wykres Ragone) kondensatorów elektrochemicznych opartych na różnym składzie materiału elektrodowego w  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  roztworze siarczanu (VI) litu ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ).

Fig. 3A i fig. 3B przedstawiają woltamperogramy kondensatorów elektrochemicznych opartych na różnym składzie materiału elektrodowego w  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  roztworze siarczanu (VI) litu ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) przy szybkości skanowania  $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Fig. 4A i fig. 4B przedstawiają woltamperogramy kondensatorów elektrochemicznych opartych na różnym składzie materiału elektrodowego w  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  roztworze siarczanu (VI) litu ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) przy szybkości skanowania  $100 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Na fig. 5 pokazano powierzchnię właściwą oraz objętość mikro- oraz mezoporów w materiałach elektrodowych o różnym składzie i proporcji materiału węglowego do spoiwa.

Warto zwrócić uwagę, iż pojemność proponowanego rozwiązania wynosi  $88 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$  dla składu 70 : 30 węgiel aktywowany gluten (AC : G) oraz  $84 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$  dla składu 80 : 20 AC : G dla zastosowanej gęstości prądu  $1 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$  i napięcia 1,5 V. Dla popularnego rozwiązania 95 : 5 AC : PTFE pojemność wynosi  $102 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ . Energia właściwa sięga  $8 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$  (dla 1,5 V) i spada po przekroczeniu gęstości prądu  $2 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$  (fig. 2). Propagacja ładunku przy niskich szybkościach skanowania ( $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ ) zarówno dla składu 70 : 30 AC : G oraz 80 : 20 AC : G jest porównywalna z rozwiązaniem 95 : 5 AC : PTFE (fig. 3). Proponowane rozwiązanie charakteryzuje się gorszą propagacją ładunku w przypadku wyższych szybkości skanowania ( $100 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (fig. 4). Powierzchnia właściwa skonstruowanych elektrod wynosi odpowiednio 903 oraz

939 m<sup>3</sup> · g<sup>-1</sup> dla składu 70 : 30 i 80 : 20 AC : G (z zastosowaniem węgla aktywnego BP2000). Objętość mikroporów wynosi 0,24 oraz 0,30 m<sup>3</sup> · g<sup>-1</sup>, z kolei objętość mezoporów 1,05 oraz 1,43 m<sup>3</sup> · g<sup>-1</sup> (fig. 5).

Wynalazek stanowi kondensator elektrochemiczny bazujący na proekologicznym spoiwie – glutenie, którego różne sposoby otrzymywania przedstawiają poniższe przykłady.

#### Przykład I

W moździerzu porcelanowym umieszczono 0,5 g glutenu oraz 0,5 g węgla aktywnego BP2000. Całość rozdrobniono i wymieszano przy użyciu porcelanowego tłuczka. Następnie układ reagentów przeniesiono do kolby okrągłodennej, do której dodano 100 cm<sup>3</sup> mieszaniny woda : izopropanol o stosunku 1 : 1. Całość mieszano w temperaturze 50°C przez 3 h po czym odparowano rozpuszczalnik za pomocą wyparki próżniowej. Z otrzymanej mieszaniny wycięto następnie krążki o średnicy 10 mm i grubości około 100 μm. Wycięte krążki suszono w temperaturze 50°C przez 24 h. Następnie skonstruowano kondensator elektrochemiczny, w którym elektrodę dodatnią i ujemną stanowiły otrzymane wcześniej krążki, które rozdzielono za pomocą separatora GF/A. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 2-elektrodowym typu Swagelok, a następnie nasączono roztworem elektrolitu – 1 mol · L<sup>-1</sup> LiSO<sub>4</sub>.

Tak skonstruowany układ poddano badaniom elektrochemicznym: voltamperometrii cyklicznej (1 mV · s<sup>-1</sup>; 0,8 V), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu (0,2 A · g<sup>-1</sup>; 0,8 V) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (100 kHz ÷ 10 mHz) w temperaturze 25°C.

#### Przykład II

Do porcelanowego moździerza wprowadzono 0,6 g węgla aktywnego BP2000 oraz 0,4 g glutenu. Mieszaninę rozdrobniono przy zastosowaniu porcelanowego tłuczka. Następnie układ reagentów przeniesiono do kolby okrągłodennej, do której dodano 125 cm<sup>3</sup> mieszaniny woda : izopropanol o stosunku 2 : 1. Całość mieszano w temperaturze 75°C przez 1 godzinę po czym odparowano rozpuszczalnik za pomocą wyparki próżniowej. Z otrzymanej mieszaniny wycięto następnie krążki o średnicy 10 mm i grubości około 100 μm. Wycięte krążki suszono w temperaturze 75°C przez 12 h. Następnie skonstruowano kondensator elektrochemiczny, gdzie elektrodę dodatnią i ujemną stanowiły otrzymane wcześniej krążki, które rozdzielono za pomocą separatora GF/A. Złożony układ umieszczono w naczyniu 2-elektrodowym typu Swagelok, a następnie nasączono roztworem elektrolitu – 1 mol · L<sup>-1</sup> LiSO<sub>4</sub>.

Tak skonstruowany układ poddano badaniom elektrochemicznym: voltamperometrii cyklicznej (1 mV · s<sup>-1</sup>; 1 V), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu (0,2 A · g<sup>-1</sup>; 1 V) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (100 kHz ÷ 10 mHz) w temperaturze 0°C.

#### Przykład III

0,7 g węgla aktywowanego BP2000 oraz 0,3 g glutenu wprowadzono do moździerza porcelanowego. Całość rozdrobniono i wymieszano przy użyciu porcelanowego tłuczka. Następnie układ reagentów przeniesiono do kolby okrągłodennej, do której dodano 150 cm<sup>3</sup> mieszaniny woda : izopropanol o stosunku 3 : 1. Całość mieszano w temperaturze 100°C przez 12 godzin po czym odparowano rozpuszczalnik za pomocą wyparki próżniowej. Z otrzymanej mieszaniny wycięto następnie krążki o średnicy 10 mm i grubości około 100 μm. Wycięte krążki suszono w temperaturze 100°C przez 48 h. Następnie skonstruowano kondensator elektrochemiczny, gdzie elektrodę dodatnią i ujemną stanowiły otrzymane wcześniej krążki, które rozdzielono za pomocą separatora GF/A. Złożony układ umieszczono w naczyniu 2-elektrodowym typu Swagelok, a następnie nasączono roztworem elektrolitu – 1 mol · L<sup>-1</sup> LiSO<sub>4</sub>.

Tak skonstruowany układ poddano badaniom elektrochemicznym: voltamperometrii cyklicznej (1 mV · s<sup>-1</sup>; 1,2 V), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu (0,2 A · g<sup>-1</sup>; 1,2 V) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (100 kHz ÷ 10 mHz) w temperaturze 50°C.

#### Przykład IV

Do 0,2 g glutenu dodano 0,8 g węgla aktywnego BP2000. Całość umieszczono w moździerzu porcelanowym oraz rozdrobniono i wymieszano przy użyciu porcelanowego tłuczka. Następnie układ reagentów przeniesiono do kolby okrągłodennej, do której dodano 50 cm<sup>3</sup> mieszaniny woda : izopropanol o stosunku 1 : 2. Całość mieszano w temperaturze 20°C przez 24 h po czym odparowano rozpuszczalnik za pomocą wyparki próżniowej. Z otrzymanej mieszaniny wycięto następnie krążki o średnicy 10 mm i grubości około 100 μm. Wycięte krążki suszono w temperaturze 75°C przez 24 h. Następnie skonstruowano kondensator elektrochemiczny, gdzie elektrodę dodatnią i ujemną stanowiły otrzymane wcześniej krążki, które rozdzielono za pomocą separatora GF/A. Złożony układ umieszczono w naczyniu 2-elektrodowym typu Swagelok, a następnie nasączono roztworem elektrolitu – 1 mol · L<sup>-1</sup> LiSO<sub>4</sub>.

Tak skonstruowany układ poddano badaniom elektrochemicznym: woltamperometrii cyklicznej ( $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $1,5 \text{ V}$ ), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu ( $0,2 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $1,5 \text{ V}$ ) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ( $100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$ ) w temperaturze  $75^\circ\text{C}$ .

#### Przykład V

W moździerzu porcelanowym rozdrobniono i wymieszano  $0,7 \text{ g}$  węgla aktywnego BP2000 oraz  $0,3 \text{ g}$  glutenu. Po wymieszanu układ reagentów przeniesiono do kolby okrągłodennej, do której dodano  $75 \text{ cm}^3$  wody dejonizowanej. Całość mieszało w temperaturze  $100^\circ\text{C}$  przez  $6 \text{ h}$  po czym odparowano rozpuszczalnik za pomocą wyparki próżniowej. Z otrzymanej mieszaniny wycięto następnie krążki o średnicy  $10 \text{ mm}$  i grubości około  $100 \mu\text{m}$ . Wycięte krążki suszono w temperaturze  $100^\circ\text{C}$  przez  $12 \text{ h}$ . Następnie skonstruowano kondensator elektrochemiczny, gdzie elektrodę dodatnią i ujemną stanowiły otrzymane wcześniej krążki, które rozdzielono za pomocą separatora GF/A. Złożony układ umieszczono w naczyniu 2-elektrodowym typu Swagelok, a następnie nasączono roztworem elektrolitu –  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ LiSO}_4$ .

Tak skonstruowany układ poddano badaniom elektrochemicznym: woltamperometrii cyklicznej ( $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $1,7 \text{ V}$ ), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu ( $0,2 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $1,7 \text{ V}$ ) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ( $100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$ ) w temperaturze  $100^\circ\text{C}$ .

### Zastrzeżenie patentowe

1. Kondensator elektrochemiczny zawierający elektrody z materiału węglowego o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej rozdzielone separatorem, pracujące w elektrolicie w postaci roztworu wodnego soli nieorganicznej **znamienny tym**, że spoiwem wiążącym materiał węglowy obu elektrod jest gluten w stosunku wagowym do materiału węglowego od  $50 : 50$  do  $80 : 20$ , korzystnie  $70 : 30$ .

Rysunki

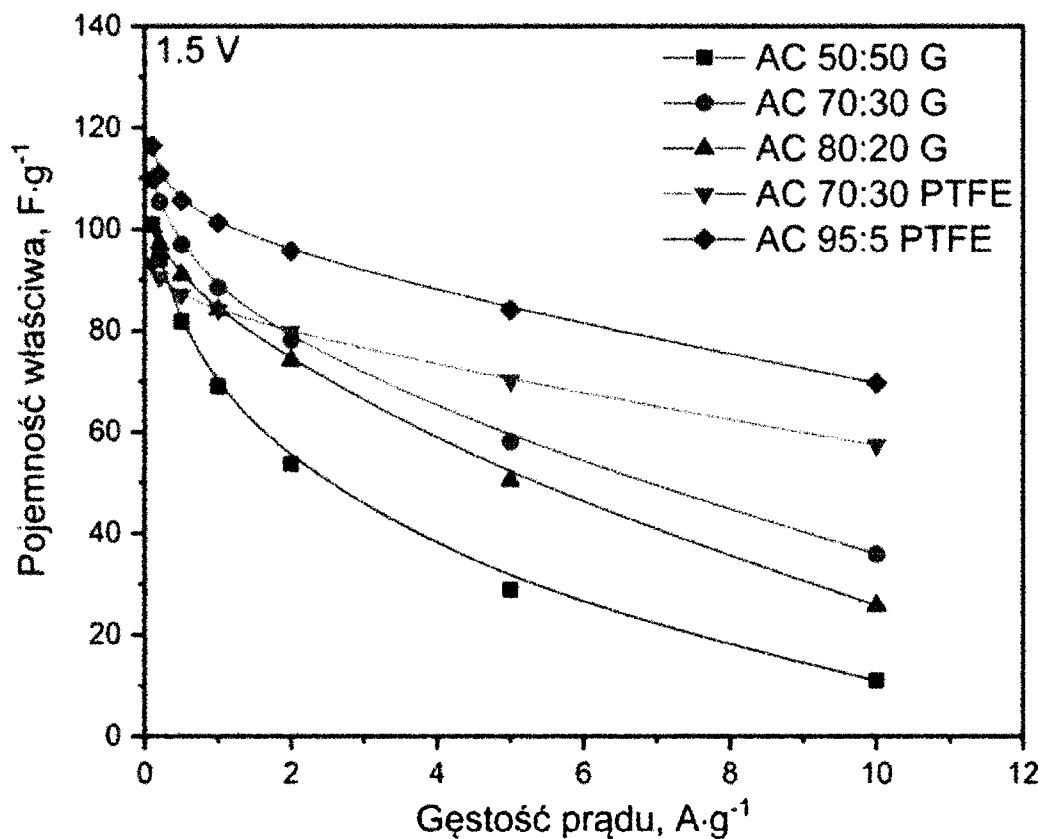


fig.1

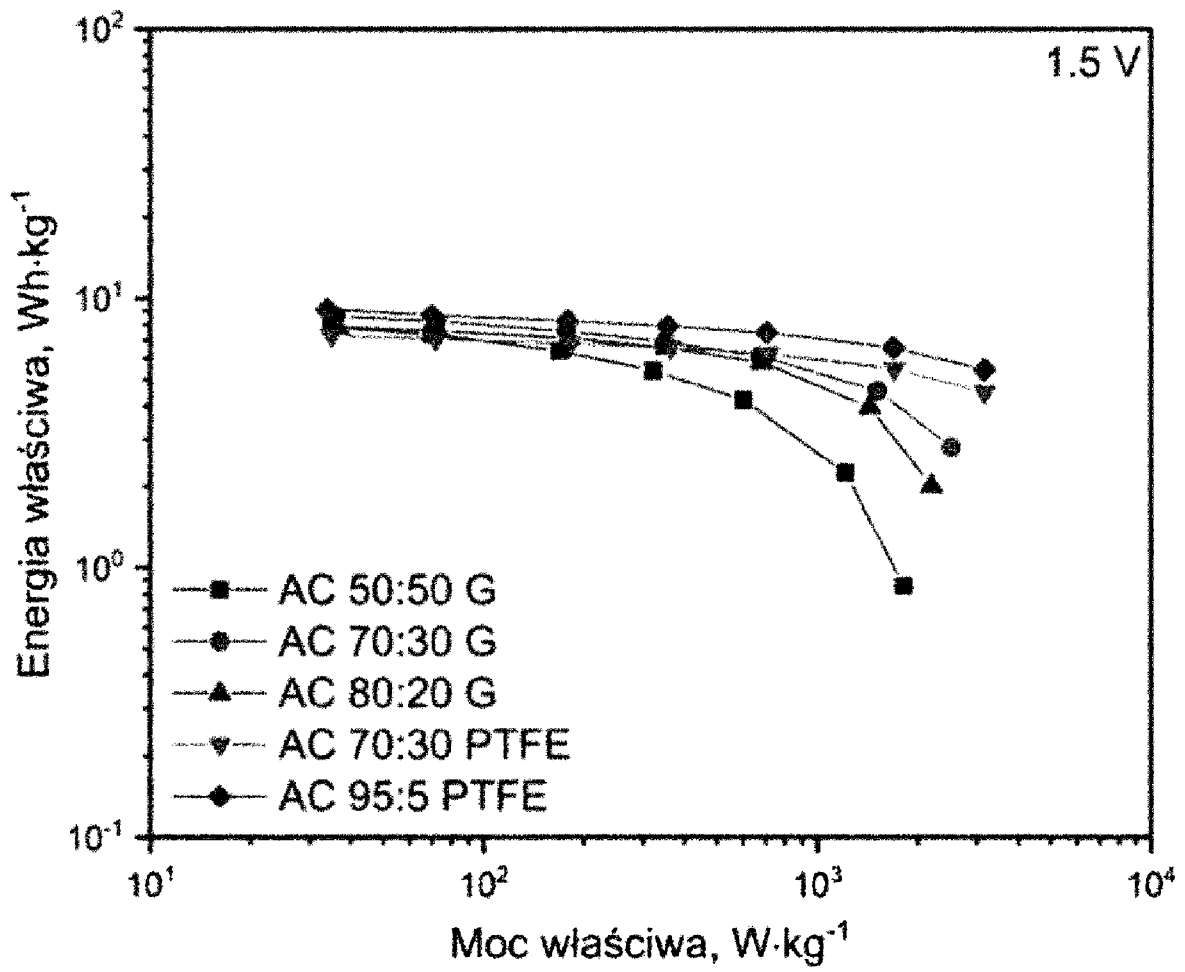


fig. 2

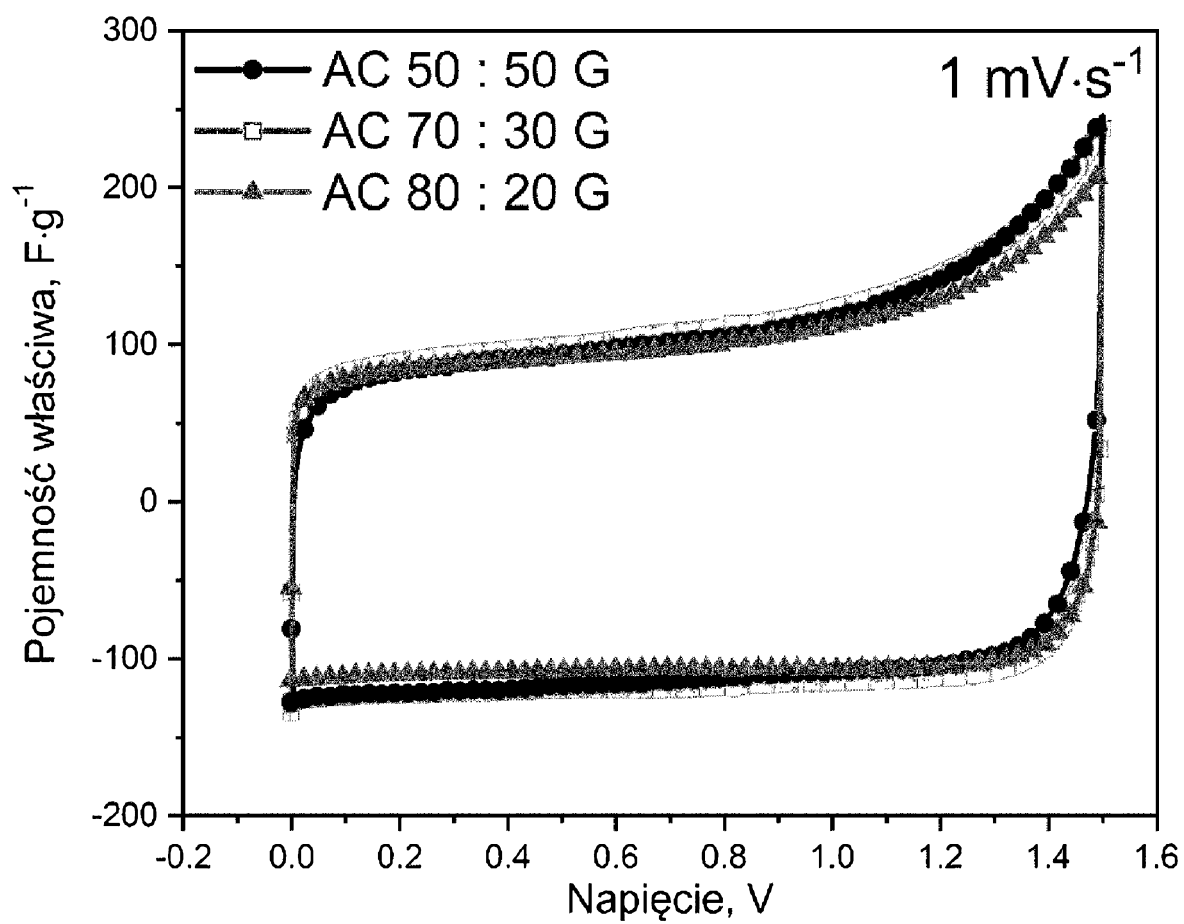


fig. 3A

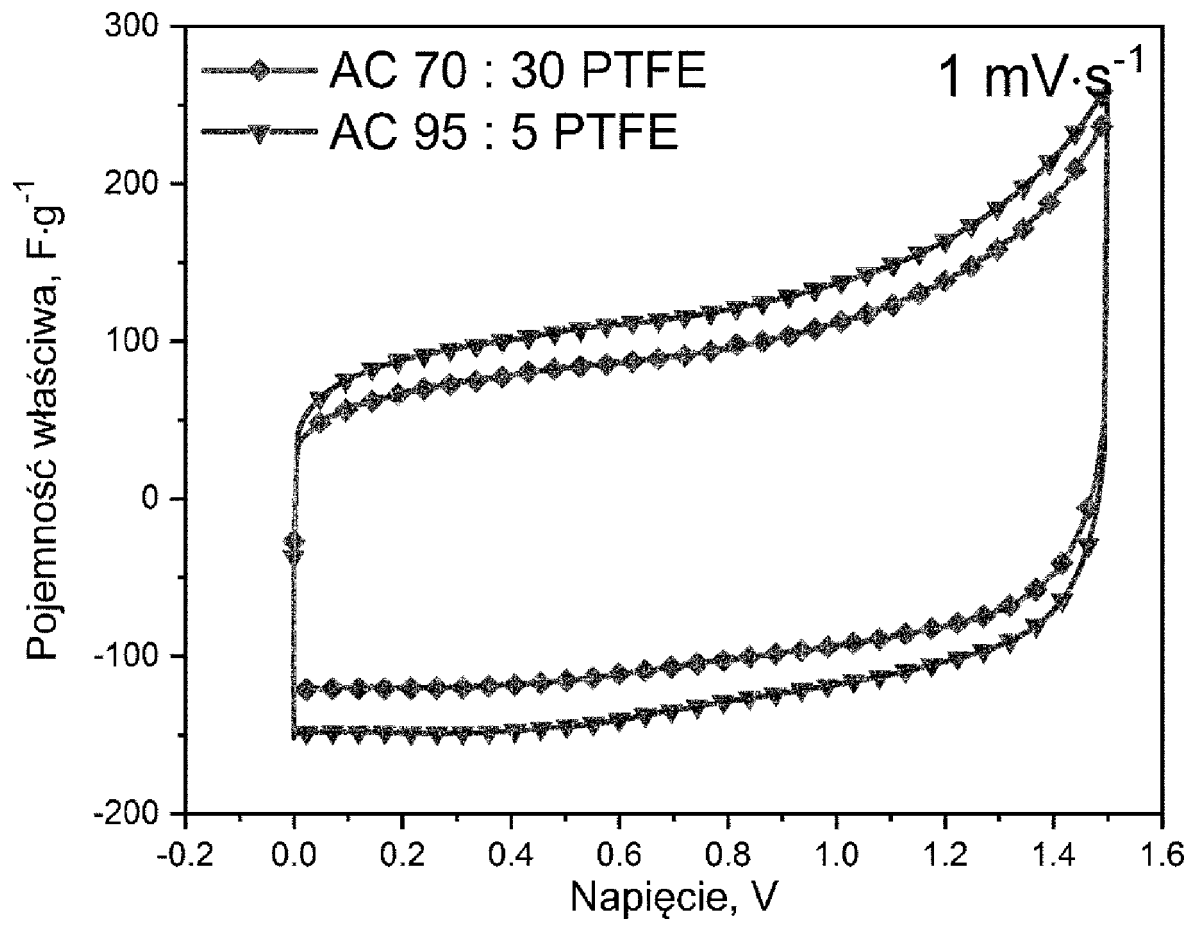


fig. 3B

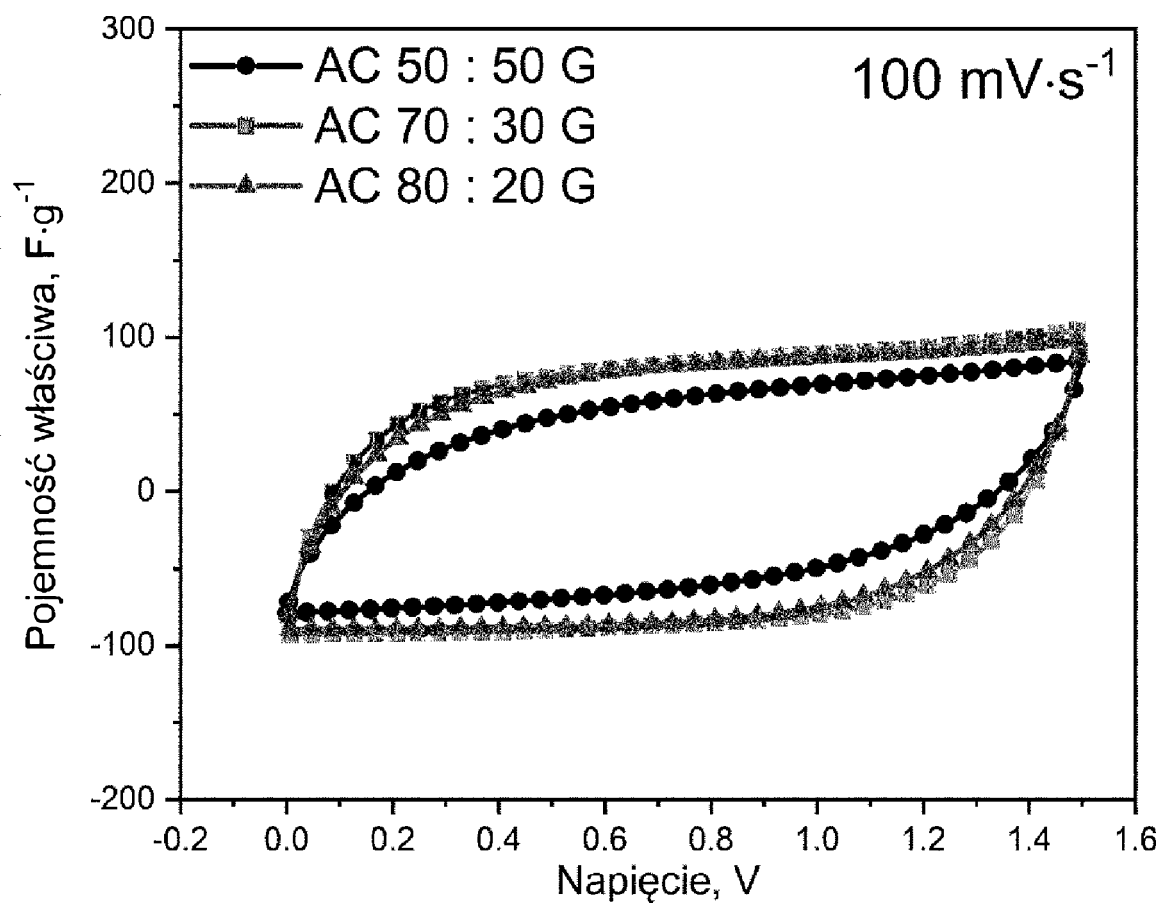


fig. 4A

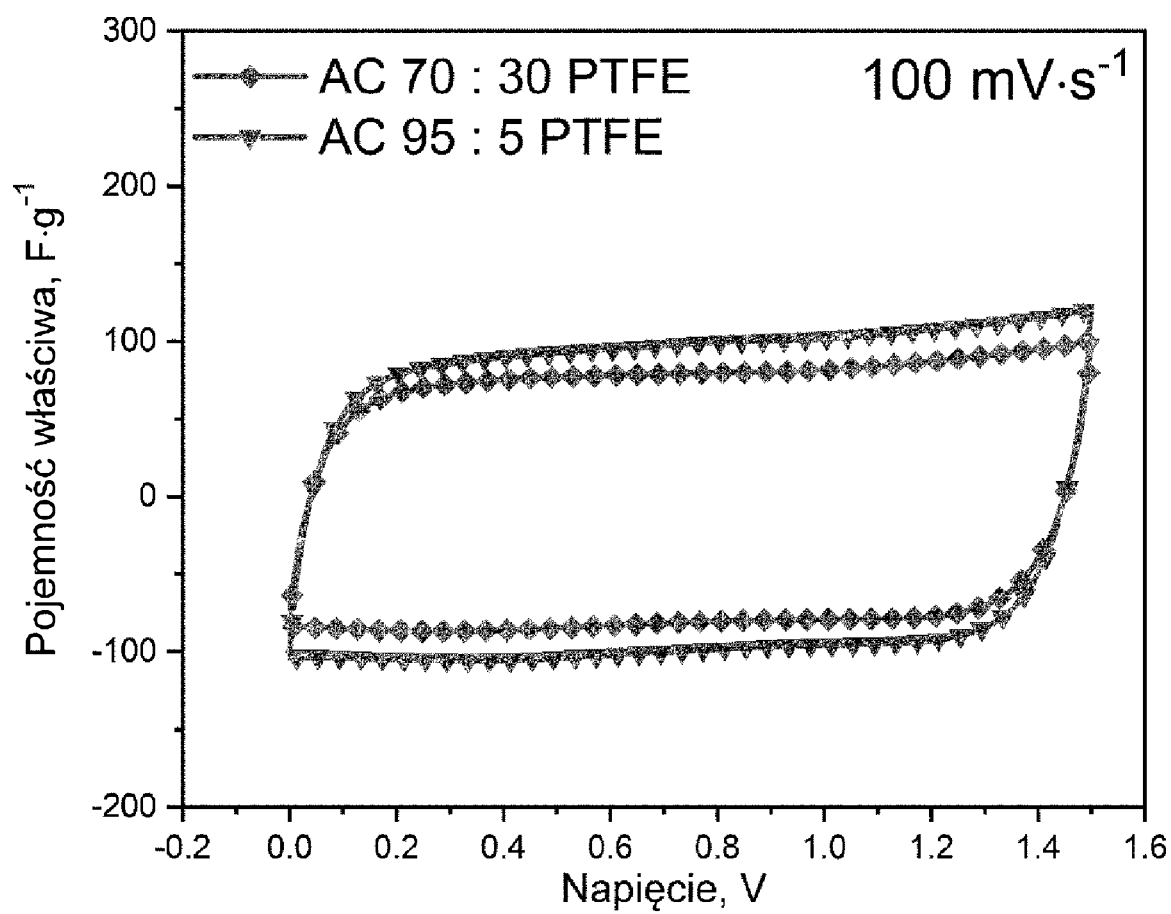


fig. 4B

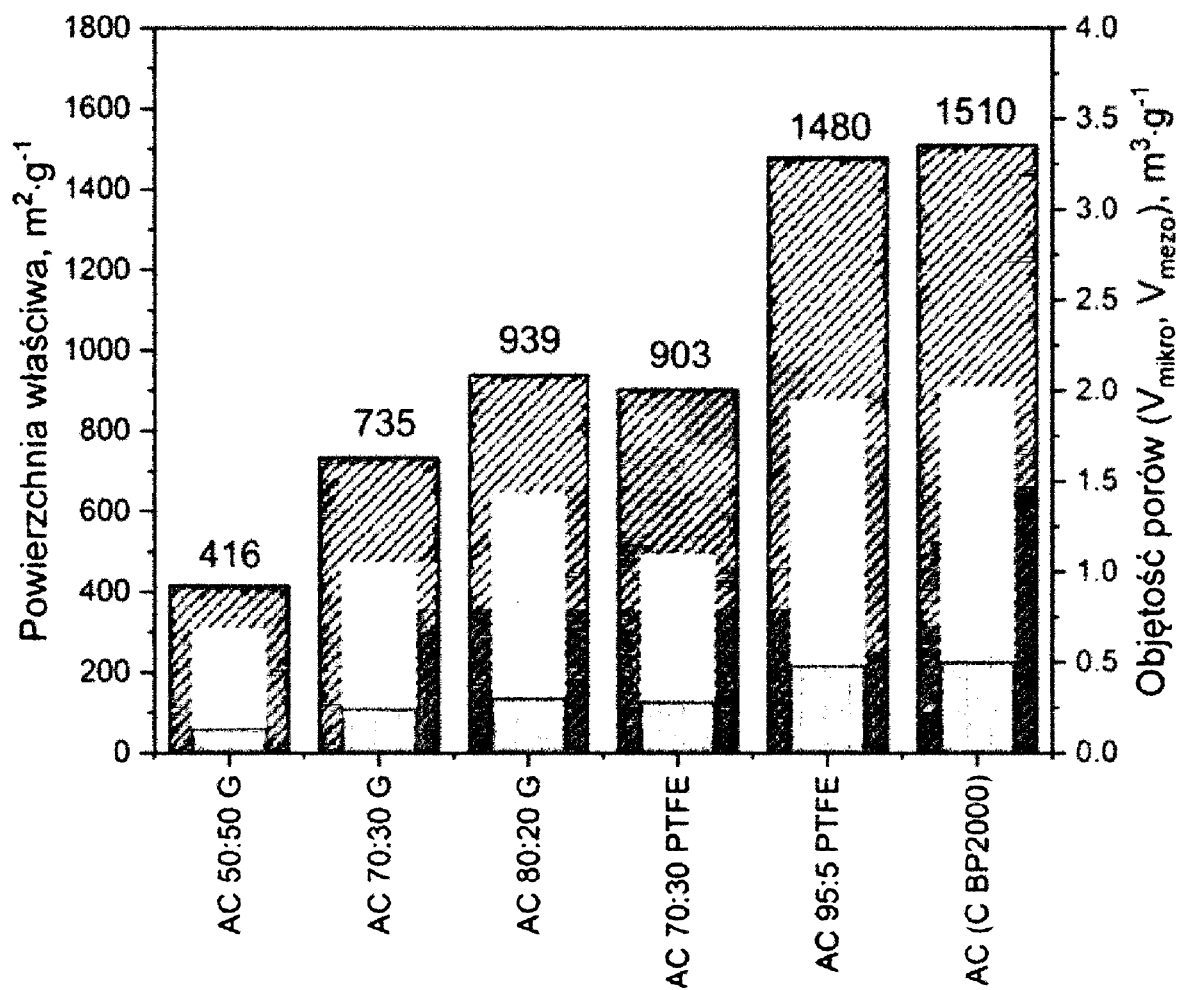


fig. 5