



*Wpływ grubości próbek celulozowych
na efektywność procesu ich suszenia
z wykorzystaniem estru syntetycznego*

Piotr Przybyłek, Hubert Morańda, Hanna Mościcka-Grzesiak
Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki

**Międzynarodowa Konferencja Transformatorowa
TRANSFORMATOR'19
Toruń, 7-9 maja 2019 r.**



Zalety estru syntetycznego

Ester syntetyczny, wymieniony w tytule, ma dużo bardzo korzystnych właściwości, które można wykorzystać w transformatorze.



Zalety estru syntetycznego

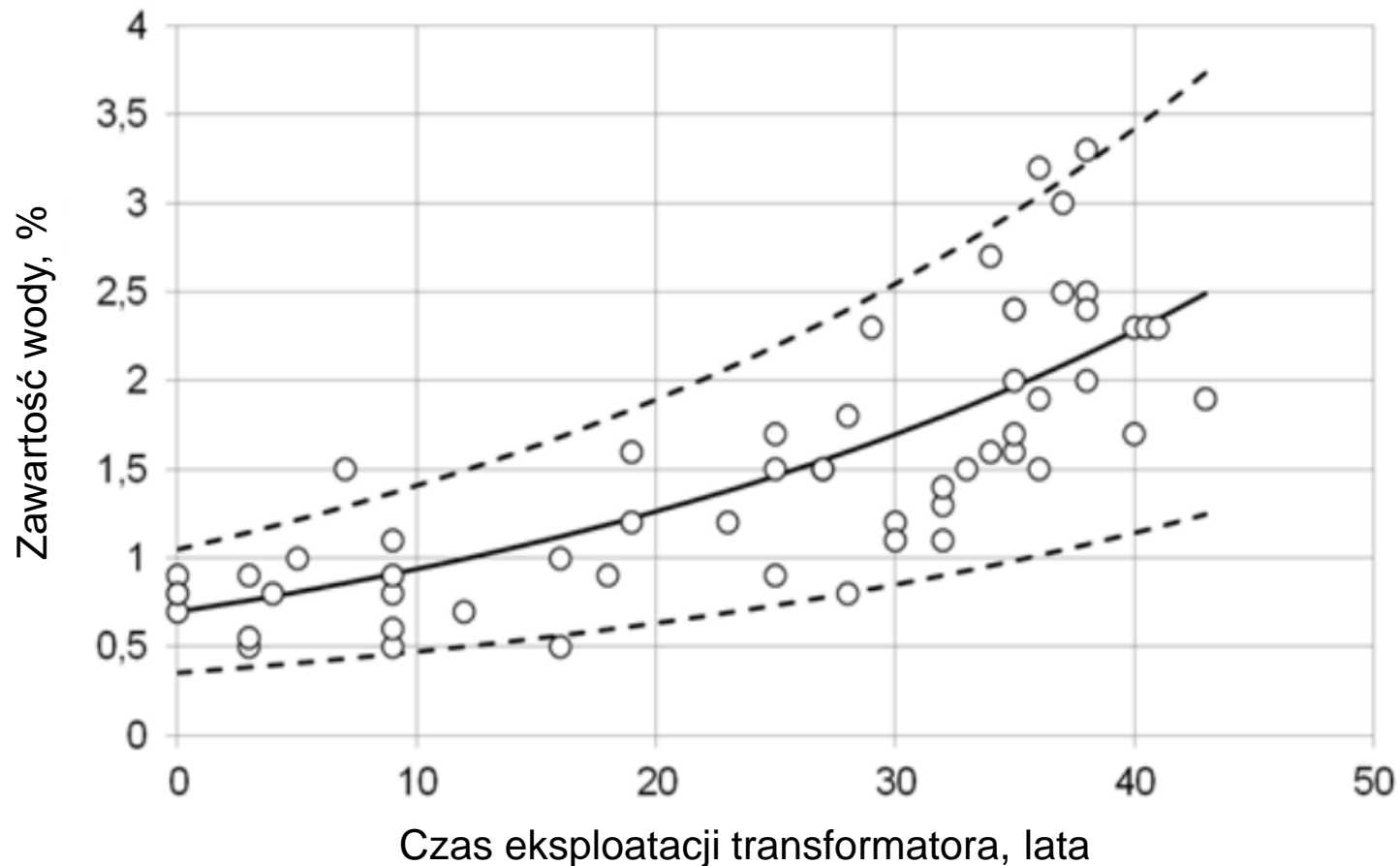
- trudnopalny, niewybuchowy; **zapewnia bezpieczeństwo pożarowe,**
- nietoksyczny, łatwo ulega biodegradacji; **przyjazny dla środowiska,**
- w układzie izolacyjnym szeregowym celuloza - ester występuje bardziej równomierny rozkład natężenia pola elektrycznego niż w układzie celuloza - olej mineralny; **procesy starzeniowe izolacji zostają spowolnione,**
- wykazuje bardzo dużą rozpuszczalność wody; **dla tej samej bezwzględnej zawartości wody wytrzymałość elektryczna estru syntetycznego jest dużo wyższa niż oleju mineralnego.**



Zalety estru syntetycznego

Bardzo dużą rozpuszczalność wody w estrze syntetycznym proponujemy wykorzystać w procedurze suszenia izolacji celulozowej.

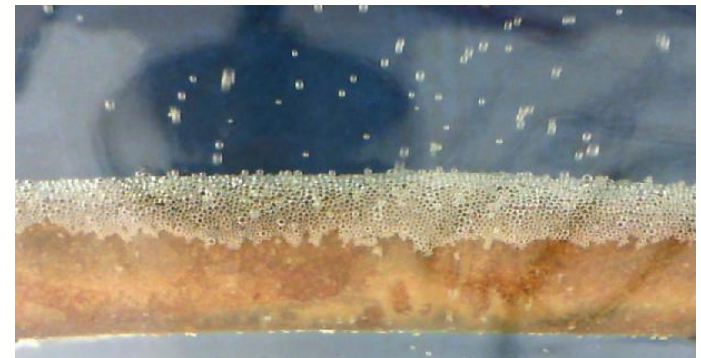
Zawilgocenie izolacji transformatorów sieciowych



Rys. 1. Zawartość wody w izolacji transformatora w zależności od czasu jego eksploatacji; transformatory sieciowe wysokiego napięcia o konstrukcji uszczelnionej

Wysokie zawilgocenie izolacji celulozowej jest bardzo ważnym problemem eksploatacyjnym:

- zwiększa podatność układu na wyładowania niezupełne,
- przyspiesza procesy starzeniowe,
- zwiększa prawdopodobieństwo przebicia cieplnego,
- wywołuje zjawisko bąbelkowania – uwalniania wody zaadsorbowanej na celulozie po przekroczeniu krytycznej temperatury



Rys. 2. Zjawisko bąbelkowania



Metody suszenia izolacji stałej transformatora

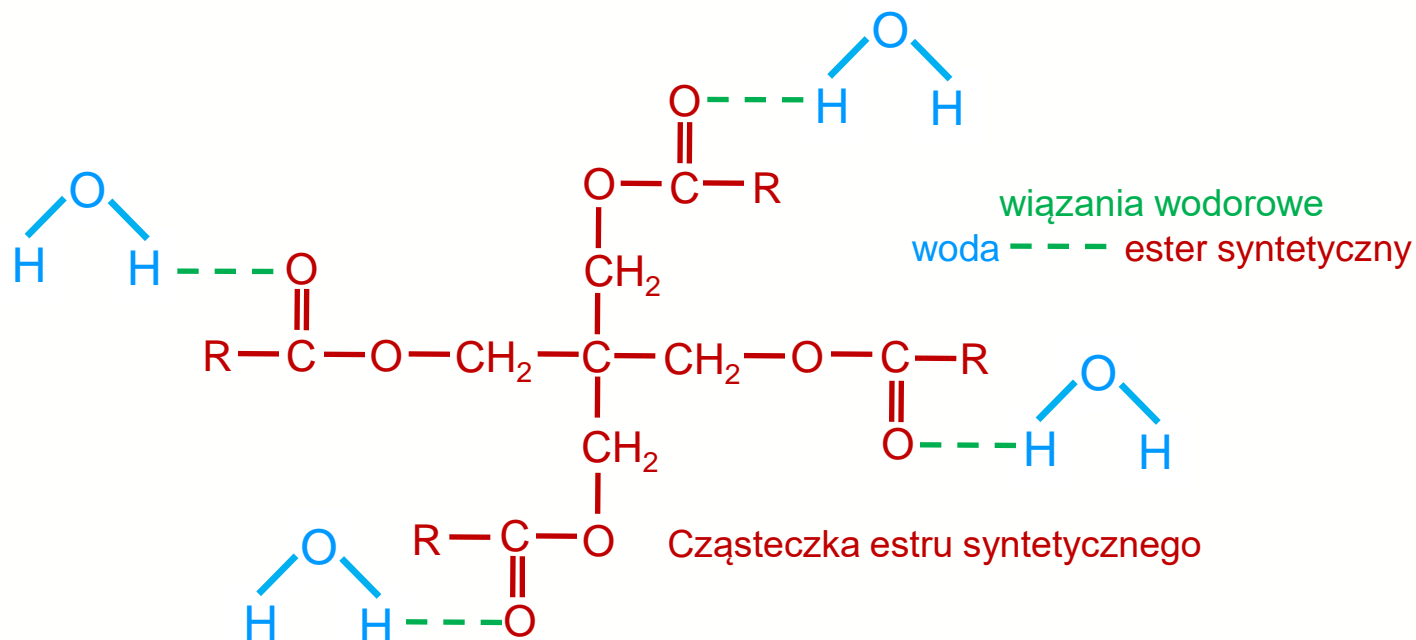
Jest kilka metod suszenia izolacji celulozowej transformatorów w miejscu ich zainstalowania, wykorzystujących gorący olej, gorące powietrze i próżnię.

Obecnie za najlepszą uważa się metodę LFH (*Low Frequency Heating*) polegającą na grzaniu uzwojeń prądem niskiej częstotliwości w warunkach próżni.

Najważniejszą zaletą metod próżniowych jest duża szybkość suszenia, natomiast do ich wad należy przede wszystkim zaliczyć problem z uzyskaniem odpowiedniej próżni oraz deimpregnację celulozy.

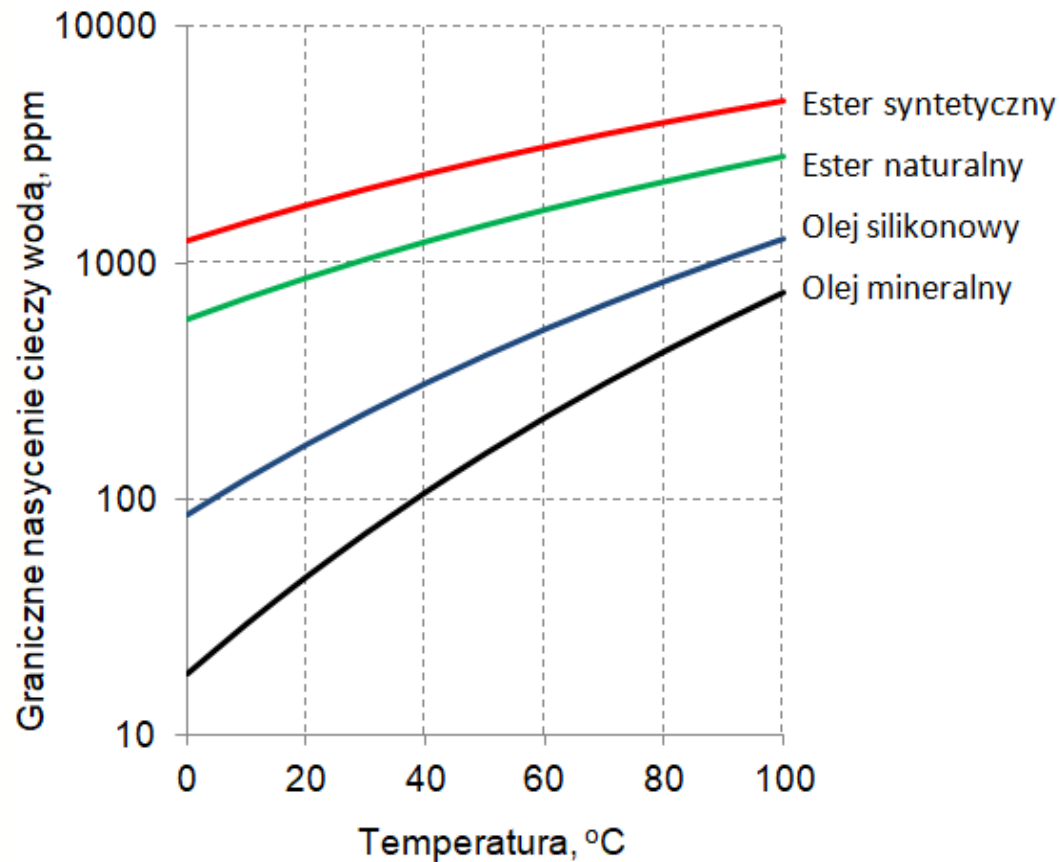
Rozpuszczalność wody w estrze

Właściwości suszące estru są efektem ogromnej rozpuszczalności wody. Z kolei rozpuszczalność jest konsekwencją zjawisk fizykochemicznych zachodzących w kontakcie estru z wodą.



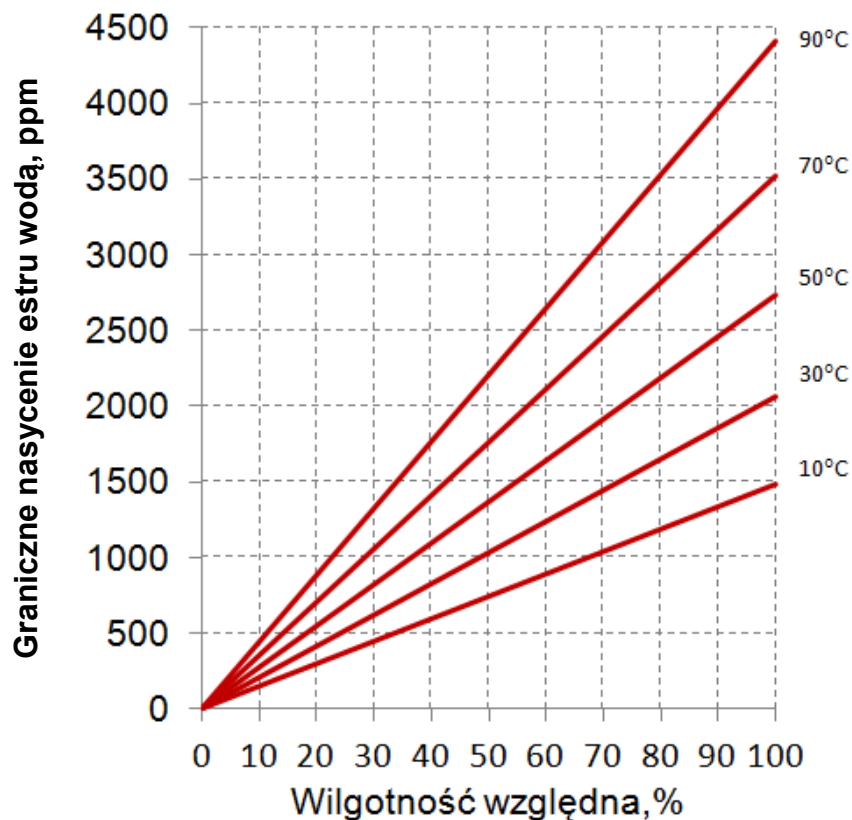
Rys. 3. Cząsteczka estru

R – grupa alkilowa o wzorze sumarycznym od C_5H_{11} do C_9H_{19}

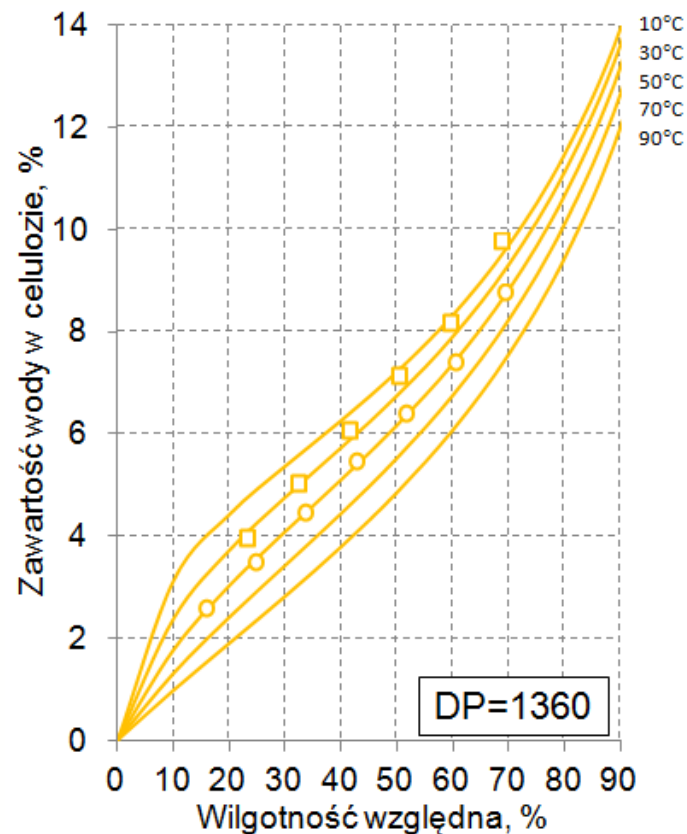


Rys. 4. Porównanie rozpuszczalności wody w czterech wybranych cieczach

Wpływ temperatury na rozpuszczalność wody w estrze i higroskopiażność celulozy



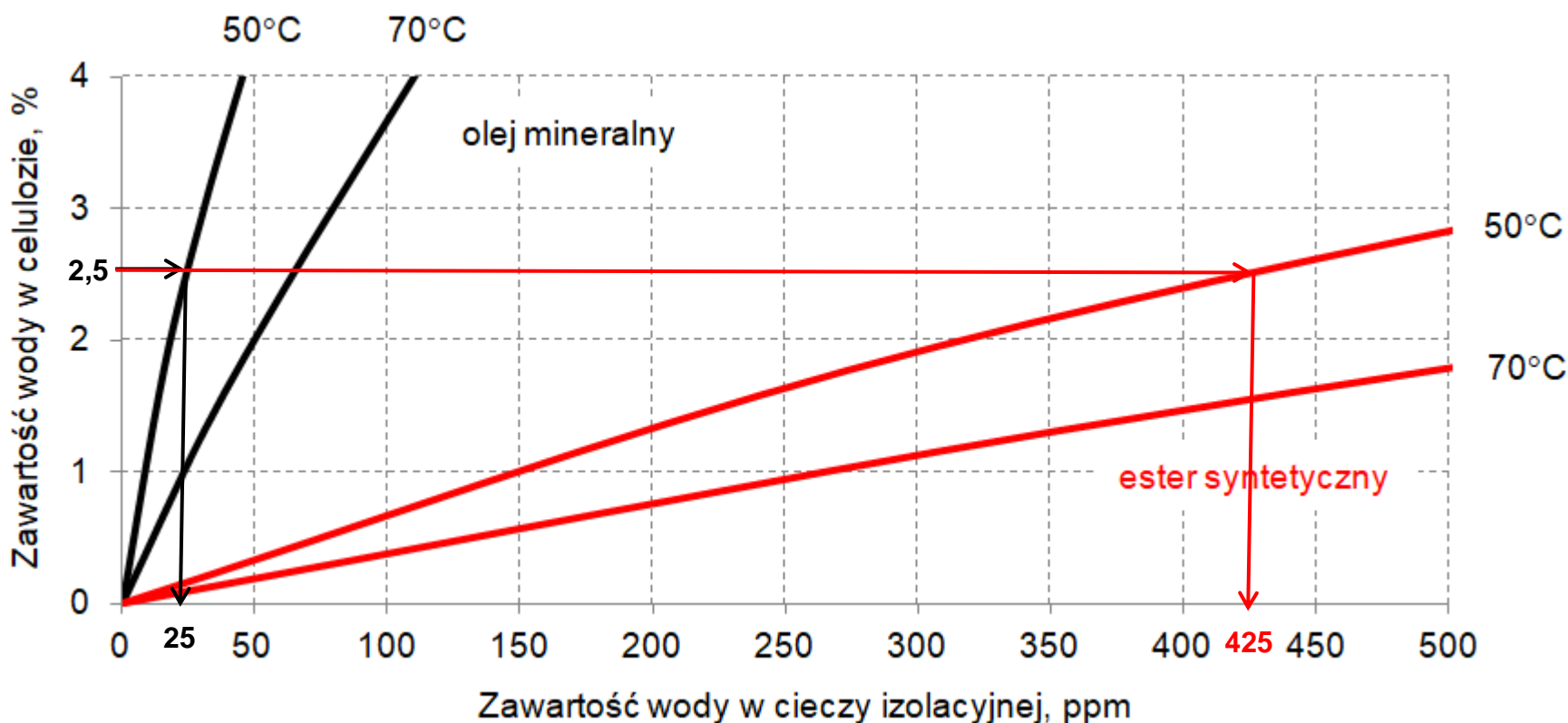
Rys. 5. Rozpuszczalność wody w estrze syntetycznym



Rys. 6. Izotermy sorpcji wody dla celulozy

Porównanie krzywych równowagi zawilgocenia dla estru i oleju

Proces migracji wody z celulozy do cieczy zależy od stanu równowagi zawilgocenia. Graficznie zjawisko to opisuje się krzywymi równowagi.



Rys. 7. Krzywe równowagi zawilgocenia



Czynniki wpływające na efektywność suszenia

Efektywność suszenia izolacji celulozowej estrem zależy od:

- temperatury,
- procedury suszenia,
- zawilgocenia celulozy,
- zawilgocenia estru,
- stosunku masy estru do masy celulozy,
- **grubości suszonego materiału celulozowego.**



Obiekty badań

Materiały celulozowe wybrane do badań:

- papier – grubość 0,055 mm
- 18 warstw nawiniętych na miedzianą rurkę
- preszpan – grubość 0,5 mm
- w formie zwijki z 6 warstw, tworzących tuleję
- preszpan – grubość 3 mm
- preszpan – grubość 5 mm
- w formie przekładki



Przygotowanie próbek

Kolejne etapy preparacji próbek:

- suszenie
(90°C, 0,4 mbar, 26 h)
- kontrolowane zawilgacanie w komorze klimatycznej
(40°C, 12% RH, 200 h)
- impregnacja olejem mineralnym w komorze próżniowej
(8 mbar, 40°C)
- kondycjonowanie w komorze klimatycznej
(40°C, 12% RH, 150 h)
- pomiar zawartości wody w próbce testowej metodą KFT



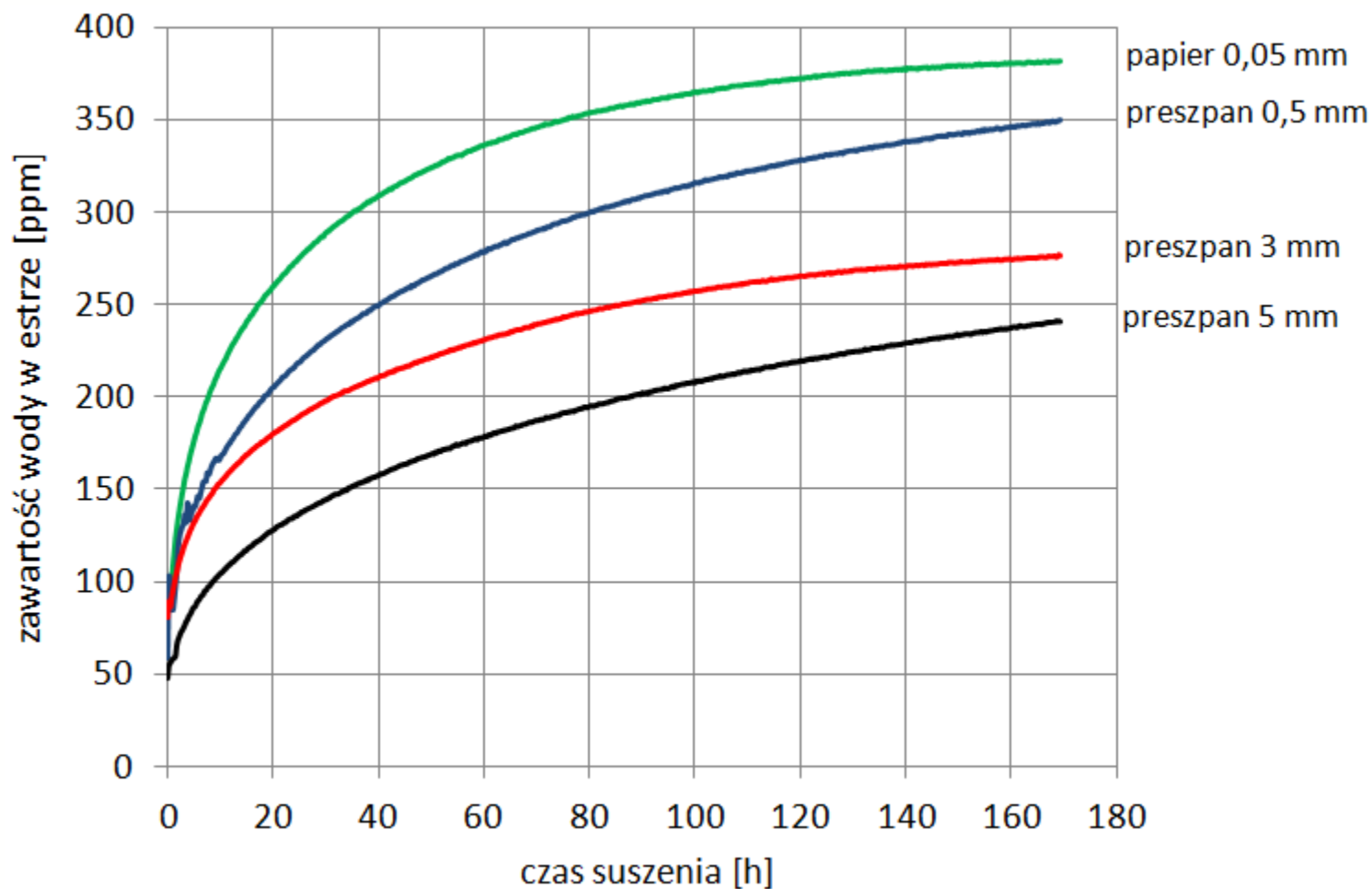
Procedura i warunki suszenia

Procedura suszenia:

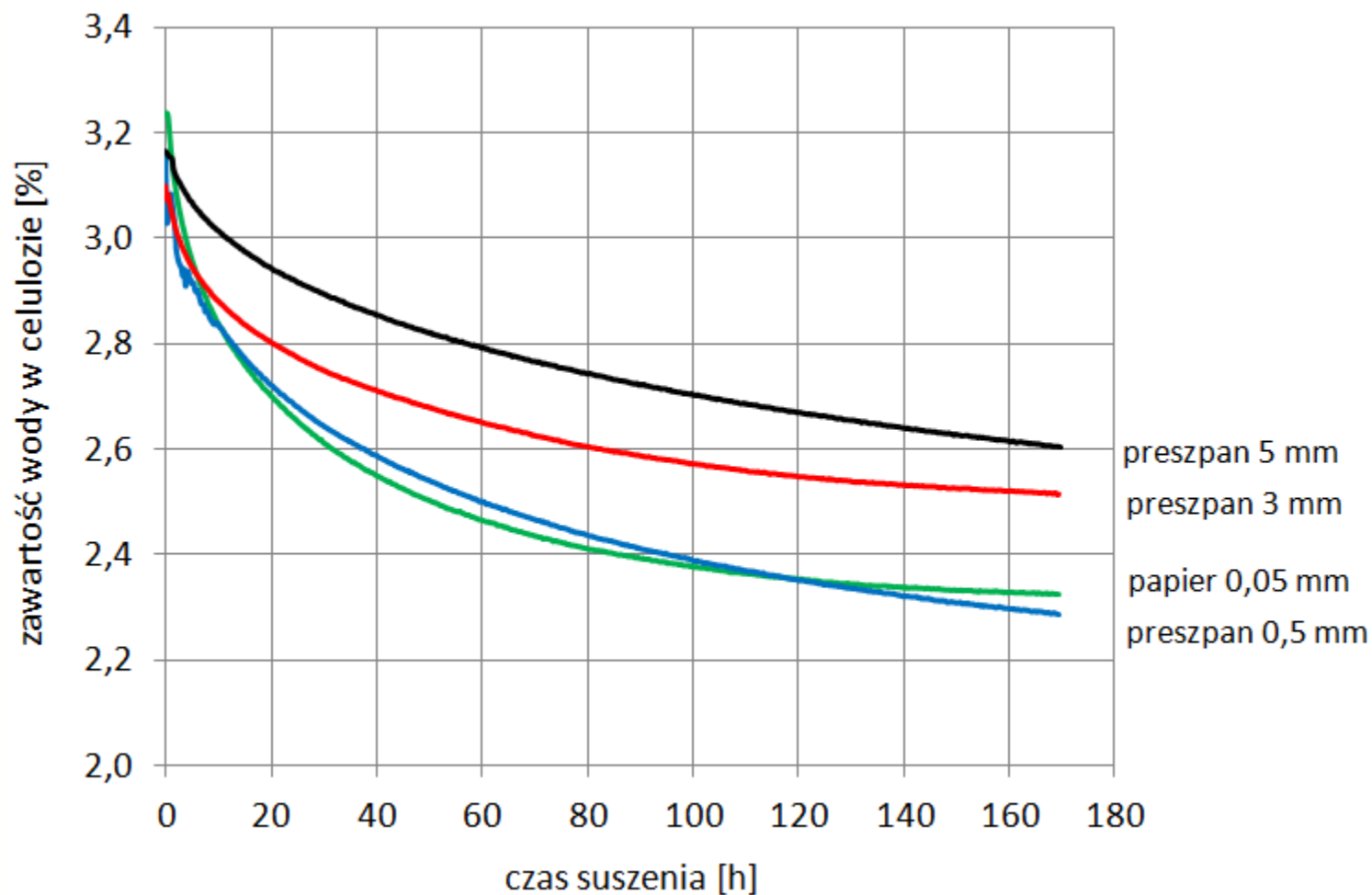
- jednokrotne wprowadzenie suchego estru
- trzykrotne wprowadzenie suchego estru

Warunki suszenia:

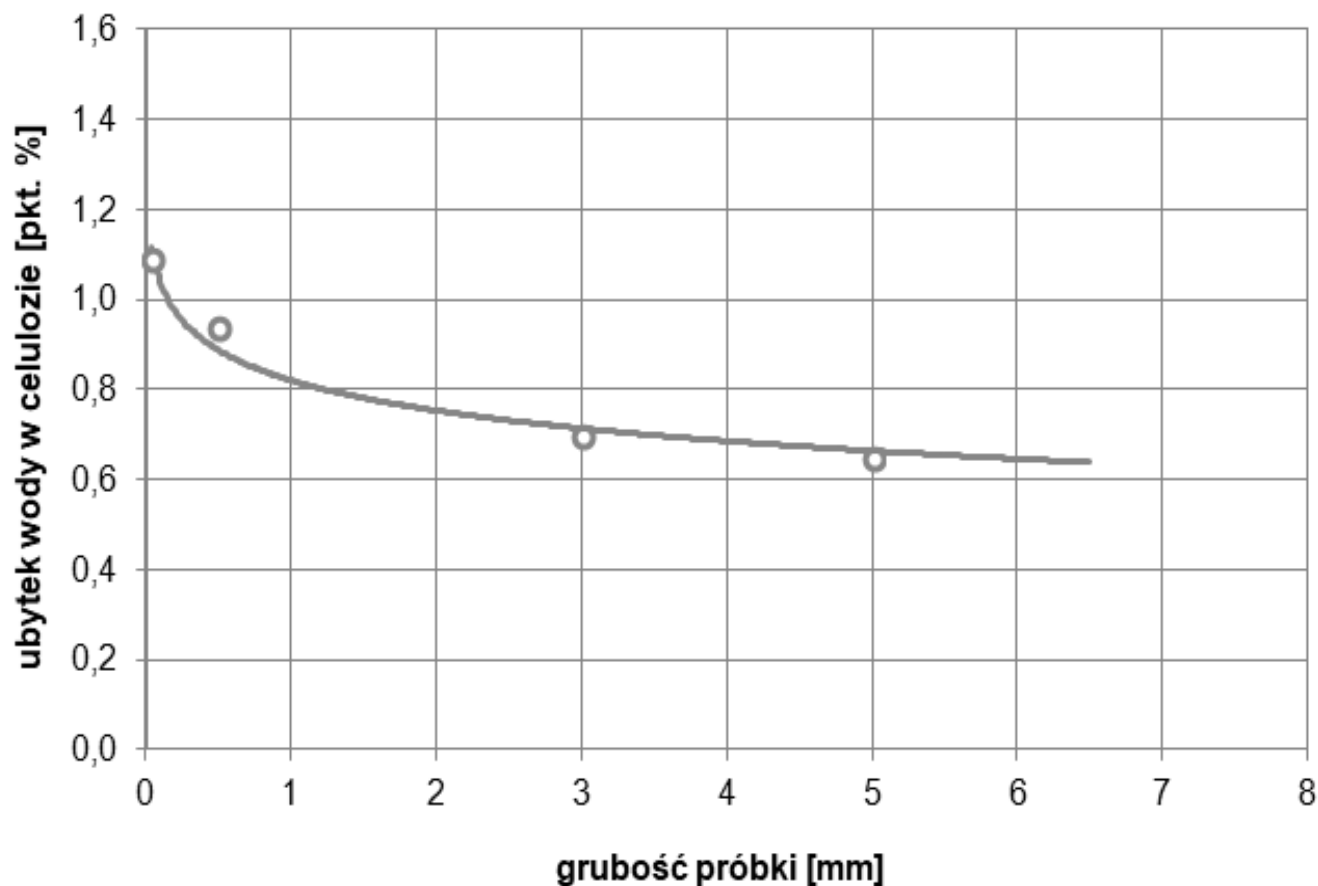
- temperatura: 70°C
- stosunek masy materiału celulozowego do masy estru: 1:30



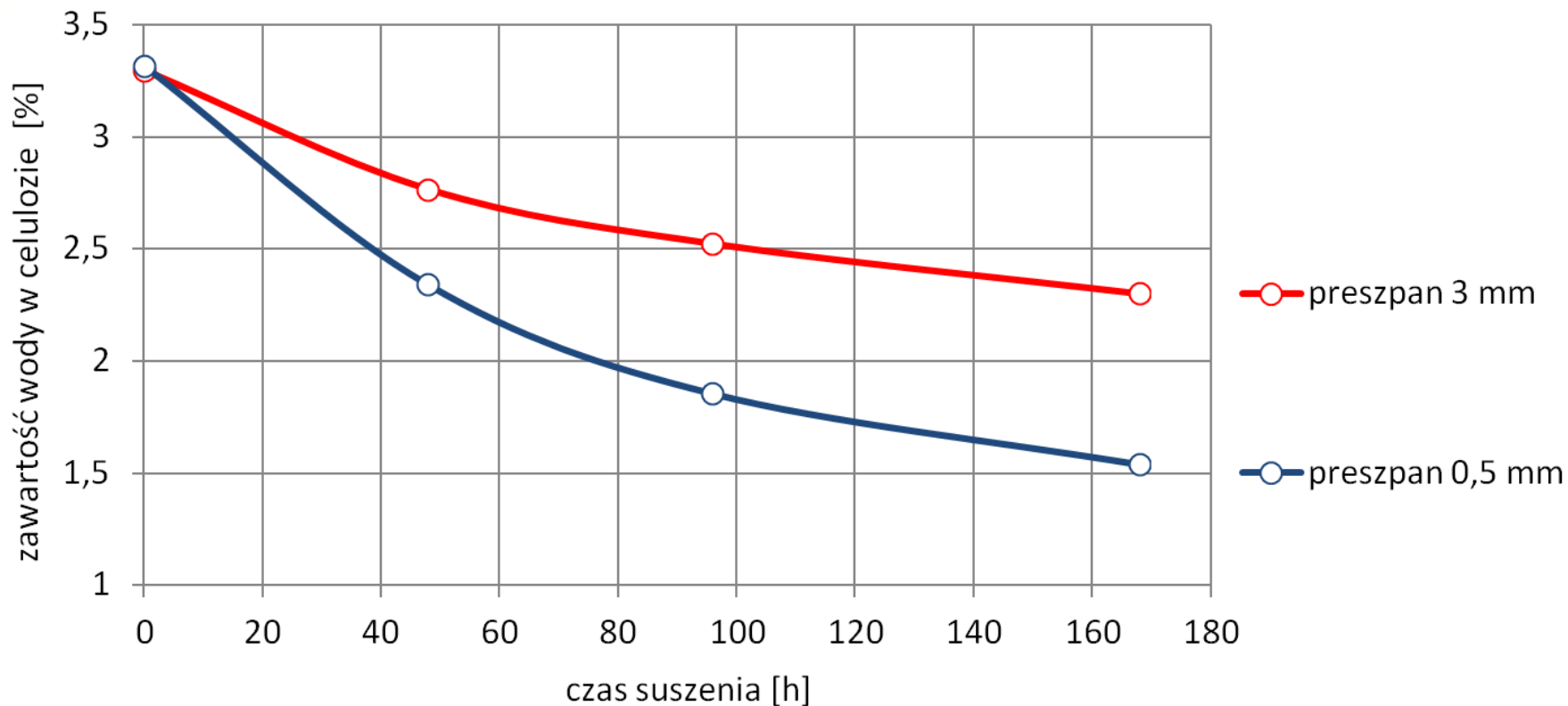
Rys. 8. Zawartość wody w estrze w trakcie suszenia próbek celulozowych o różnej grubości



Rys. 9. Zawartość wody w próbkach celulozowych o różnej grubości w trakcie ich suszenia



Rys. 10. Ubytek wody w próbkach celulozowych po procesie suszenia estrem syntetycznym w zależności od ich grubości



Rys. 11. Zawartość wody w próbkach celulozowych o różnej grubości w trakcie ich suszenia



Podsumowanie

Oceniając efektywność procesu suszenia izolacji celulozowej z wykorzystaniem estru syntetycznego należy wziąć pod uwagę istotną zależność dynamiki suszenia materiałów celulozowych od ich grubości.

Malenie dynamiki suszenia celulozy wraz z upływem czasu należy wiązać ze wzrostem zawartości wody w estrze oraz spadkiem zawartości wody w wyrobie celulozowym, co jest jednoznaczne ze zbliżaniem się układu do stanu równowagi zawilgocenia celulozy i estru.



Źródło finansowania badań - projekt

System suszenia izolacji z wykorzystaniem estru syntetycznego jest tematem projektu zatwierdzonego przez NCBR do finansowania.

Tytuł projektu: ***Suszenie izolacji transformatorów rozdzielczych z wykorzystaniem medium ciekłego***

Program Operacyjny
Inteligentny Rozwój
2014 – 2020

Poddziałanie 4.1.2 Regionalne agendy naukowo-badawcze

Projekty obejmujące badania przemysłowe i prace rozwojowe muszą być realizowane przez konsorcja złożone z jednostek naukowych i przedsiębiorców; liderem konsorcjum powinna być jednostka naukowa.



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Konsorcjum realizujące projekt:

- *Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki* – Lider
- *Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Centrum Zaawansowanych Technologii* – konsorcjant naukowy, który opracuje przemysłową metodę uzdatniania estru roboczego
- *Ad Moto Rafał Zawisz* – konsorcjant przemysłowy, który wdroży wyniki realizacji projektu do własnej działalności gospodarczej



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego





Źródło finansowania badań - projekt

Okres realizacji projektu: **1 lipca 2018 – 30 czerwca 2021**

Koszty łączne projektu: **7.677.957 zł**

Dofinansowanie z NCBR: **6.084.569 zł**

Środki własne Ad Moto: **1.593.388 zł**



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

