



POSTĘPY & I INNOWACJE W MEDYCYNIE, TECHNOLOGII I PRZEMYSŁE

—
MEDYCYNA I PRAWO

REDAKCJA

MAŁGORZATA **BUDNIK-MINIERSKA**

RAFAŁ **MINIERSKI**

ARCHAEGRAPH
Wydawnictwo Naukowe

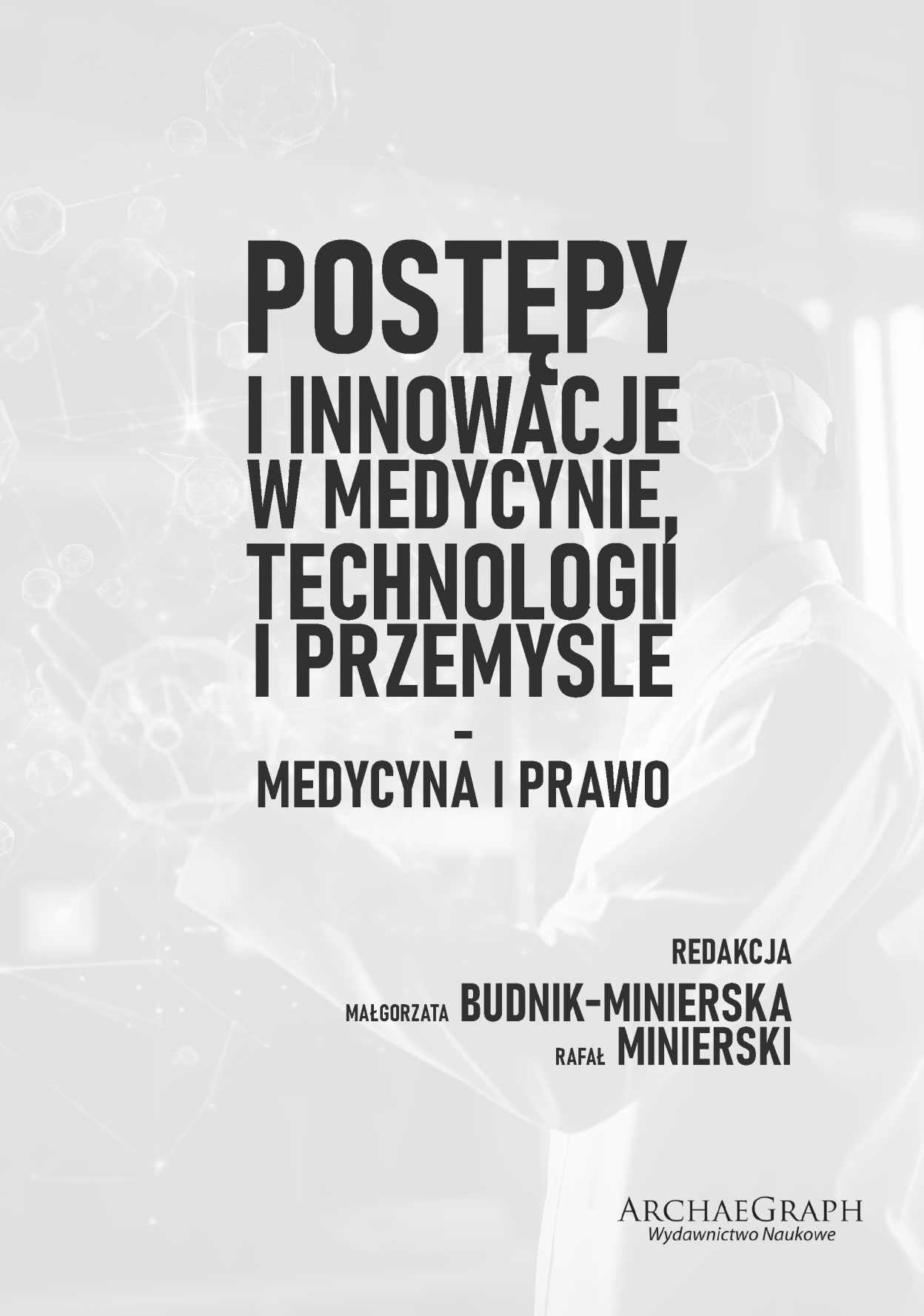
POSTĘPY I INNOWACJE W MEDYCYNIE,
TECHNOLOGII I PRZEMYSŁE

-

MEDYCYNA I PRAWO

REDAKCJA

MAŁGORZATA BUDNIK-MINIERSKA
RAFAŁ MINIERSKI



POSTĘPY & I INNOWACJE W MEDYCYNIE, TECHNOLOGII I PRZEMYSLE

-
MEDYCYNA I PRAWO

REDAKCJA

MAŁGORZATA BUDNIK-MINIERSKA
RAFAŁ MINIERSKI

ARCHAEGRAPH
Wydawnictwo Naukowe

KOMITET REDAKCYJNY:
PRZEWODNICZĄCA: MGR MAŁGORZATA BUDNIK-MINIERSKA
WICEPRZEWODNICZĄCY: MGR INŻ. RAFAŁ MINIERSKI

REDAKCJA TECHNICZNA:
DAWID KOBYLAŃSKI

RECENZJA:
DR INŻ. RAFAŁ ŚPIEWAK

KOREKTA REDAKTORSKA, SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI
KAROL ŁUKOMIAK

© COPYRIGHT BY AUTHORS & ARCHAEGRAPH

ISBN: 978-83-67959-90-2

WERSJA ELEKTRONICZNA DOSTĘPNA NA STRONIE INTERNETOWEJ WYDAWCY:
www.archaeograph.pl

ARCHAEGRAPH
Wydawnictwo Naukowe

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	7
MECHANIZMY PATOFIZJOLOGII PCOS – ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY CUKRZYCĄ, INSULINOOPORNOŚCIĄ ORAZ OTYŁOŚCIĄ.....	9
ANNA GŁOWACKA	
RÓŻNORODNOŚĆ FENOTYPOWA ZESPOŁU POLICYSTYCZNYCH JAJNIKÓW.....	20
ANNA GŁOWACKA	
ZESPÓŁ POLICYSTYCZNYCH JAJNIKÓW A TECHNOLOGIA CYFROWA I TELEMEDYCYN.....	32
ANNA GŁOWACKA	
ROZWÓJ SEKTORA ATOMOWEGO W POLSCE – SZANSE I ZAGROŻENIA. WYBRANE ZAGADNIENIA.....	44
JAKUB KLUGIEWICZ	

PRZEDMOWA

Niniejszym przedstawiamy Państwu monografię naukową zatytułowaną *Postępy i innowacje w medycynie, technologii i przemyśle – medycyna i prawo*, w której znajdują Państwo cztery autorskie rozdziały młodych adeptów nauki.

Pierwsze artykuły monografii otwierają trzy rozdziały autorstwa Anny Głowackiej. Pierwszy rozdział monografii pt. *Mechanizmy patofizjologii PCOS – zależności pomiędzy cukrzycą, insulinoopornością oraz otyłością* ma na celu przedstawienie aktualnej wiedzy dotyczącej patofizjologii insulinooporności w zespole policystycznych jajników oraz zaproponowanie kroków ograniczających długoterminowe metaboliczne i rozrodcze powikłania PCOS. Podkreślić należy, że wzajemne oddziaływanie insulinooporności oraz otyłości zaostża objawy PCOS, takie jak dyslipidemia i nadciśnienie oraz zwiększa ryzyko cukrzycy typu 2 oraz chorób sercowo-naczyniowych. Drugi rozdział monografii pt. *Różnorodność fenotypowa zespołu policystycznych jajników* ma na celu analizę fenotypowej różnorodności zespołu policystycznych jajników (PCOS). W rozdziale analizowane są także genetyczne, hormonalne oraz środowiskowe czynniki ryzyka rozwoju PCOS. Celem pracy jest ocena przedstawionych czynników, a także wskazanie kierunków przyszłych badań, które mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia oraz zarządzania PCOS. Trzeci rozdział monografii pt. *Zespół policystycznych jajników a technologia cyfrowa i telemedycyna* ma na celu ukazanie rosnącej roli technologii cyfrowych i telemedycyny w diagnozowaniu oraz leczeniu zespołu policystycznych jajników (PCOS), zwłaszcza poprzez wykorzystanie sztucznej inteligencji. Wskazuje on na potencjał tych narzędzi w personalizowaniu terapii oraz zwiększaniu dostępu do opieki zdrowotnej, co może znacząco poprawić jakość życia pacjentek.

Ostatni rozdział autorstwa Jakuba Jerzego Klugiewicza pt. *Rozwój sektora atomowego w Polsce – szanse i zagrożenia. Wybrane zagadnienia* ma na celu przedstawienie najważniejszych aspektów legislacyjnego oraz gospodarczego

i społecznego rozwoju sektora atomowego w Polsce. Autor podjął nowatorski i szerzej dotychczas nie rozważany w polskiej literaturze przedmiotu temat. Autor rozważa jakie czynniki są największą przeszkodą, a jakie największą szansą dla rozwoju sektora atomowego w Polsce niejednokrotnie czerpiąc przykłady z innych sektorów gospodarki.

W imieniu Komitetu Redakcyjnego niniejszej monografii pragniemy podziękować wszystkim osobom zaangażowanym w proces jego wydania, w tym m.in. wydawnictwu, recenzentom oraz autorom.

Redakcja naukowa:

mgr Małgorzata Budnik-Minierska
mgr inż. Rafał Minierski

MECHANIZMY PATOFIZJOLOGII PCOS – ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY CUKRZYCĄ, INSULINOOPORNOŚCIĄ ORAZ OTYŁOŚCIĄ

Streszczenie: Praca przeglądowa ma na celu przedstawienie aktualnej wiedzy z zakresu patofizjologii insulinooporności w zespole policystycznych jajników i zaproponowanie kroków ograniczających długoterminowe metaboliczne i rozrodcze powikłania PCOS. Wzajemne oddziaływanie insulinooporności i otyłości zaostża objawy PCOS, takie jak dyslipidemia i nadciśnienie, oraz zwiększa ryzyko cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych. Hiperinsulinemia stymuluje produkcję androgenów, co prowadzi do objawów takich jak hirsutyzm i nieregularne miesiączki. Insulinooporność wpływa także na metabolizm glukozy, co podkreśla znaczenie wczesnej diagnozy i interwencji. Nasilenie insulinooporności jest różne w poszczególnych fenotypach PCOS. Na obraz kliniczny mają wpływ również czynniki genetyczne i środowiskowe. Wskazuje to na potrzebę spersonalizowanego podejścia w leczeniu. Dalsze badania nad mechanizmami PCOS są kluczowe dla rozwoju skutecznych terapii.

Słowa kluczowe: zespół policystycznych jajników, insulinooporność, otyłość, hiperinsulinemia, metabolizm glukozy, cukrzyca typu 2

WPROWADZENIE

Zespół policystycznych jajników (PCOS) to jedno z najczęściej występujących zaburzeń endokrynologicznych, które dotyka kobiety w wieku reprodukcyjnym. Jego złożona patofizjologia obejmuje szereg objawów metabolicznych i hormonalnych, z których insulinooporność oraz hiperandrogenizm odgrywają kluczową rolę w rozwoju powikłań zdrowotnych. Insulinooporność, której

częstość występowania wśród kobiet z PCOS sięga 70%, jest ściśle związana z otyłością, ale pojawia się również u pacjentek szczupłych. Mechanizmy te prowadzą nie tylko do zaburzeń metabolicznych, takich jak nietolerancja glukozy i cukrzyca typu 2, ale także przyczyniają się do nasilenia objawów klinicznych PCOS, - nieregularnych miesiączek, hirsutyzmu i trądziku. W rozdziale omówiono główne mechanizmy leżące u podstaw insulinooporności i hiperandrogenizmu w PCOS, jak również różnice w ich występowaniu w zależności od fenotypu tego zaburzenia.

Celem pracy jest przedstawienie aktualnej wiedzy z zakresu patofizjologii insulinooporności w zespole policystycznych jajników i zaproponowanie kroków ograniczających długoterminowe metaboliczne i rozrodcze powikłania PCOS. W niniejszej pracy podjęto się próby weryfikacji następującej hipotezy: patofizjologiczne zależności między cukrzycą, insulinoopornością i otyłością zaostrożają objawy PCOS i prowadzą do długoterminowych powikłań. Artykuł przygotowany z wykorzystaniem metody przeglądu literatury, korzystając z internetowej bazy danych PubMed.

INSULINOOPORNOŚĆ I OTYŁOŚĆ A PCOS

U podstaw objawów PCOS leżą mechanizmy patofizjologiczne, ze znaczącym udziałem cukrzycy, insulinooporności i otyłości. Insulinooporność dotyka około 50-70% kobiet z tą chorobą, a jej częstość występowania może wzrosnąć nawet do 95% u pacjentek otyłych (Zhao M. i in., 2023, s. 367-373). Insulinooporność nie jest jedynie konsekwencją otyłości, ale jest również związana z samym zespołem, prowadzącym do różnych powikłań metabolicznych i w zakresie zdrowia rozrodczego (Kim M. 2014, s. 1-5).

Otyłość zaostroża insulinooporność, co z kolei przyczynia się do nieprawidłowości metabolicznych powszechnie obserwowanych w PCOS, takich jak dyslipidemia i nadciśnienie (Hilaloğlu N. i Surmelioglu D. 2022, s. 163-171). Badania wykazały, że kobiety z PCOS, które są otyłe, wykazują znacznie niższą wrażliwość na insulinę w porównaniu do swoich nieotyłych odpowiedniczek (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59). Ta zależność jest krytyczna, ponieważ otyłość może zwiększać ryzyko rozwoju cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych u kobiet z PCOS (Lee H. i in. 2013, s. 1-7). Ponadto obecność hiperinsulinemii, stanu charakteryzującego się nadmiarem insuliny we krwi, jest często obserwowana u pacjentek z PCOS i jest ściśle związana z nasileniem insulinooporności (Shirazi F. i in. 2021, s. 1-6).

Hiperinsulinemia odgrywa kluczową rolę w patogenezie PCOS poprzez stymulację produkcji androgenów jajnikowych. Insulina działa synergicznie z hormonem luteinizującym (LH), zwiększając aktywność komórek tekalnych, co prowadzi do zwiększonej syntezy androgenów. Ten hiperandrogenizm jest cechą charakterystyczną PCOS i przyczynia się do różnych objawów klinicznych, w tym hirsutyizmu i nieregularnych miesiączek (Talaei A. i in. 2013, s. 1-5). Ponadto insulinooporność może prowadzić do obniżenia poziomu globuliny wiążącej hormony płciowe (SHBG), co dodatkowo nasila hiperandrogenizm poprzez zwiększenie biodostępności wolnego testosteronu (Cebeci F. i in. 2012, s. 342-346). Wzajemne oddziaływanie insulinooporności i hiperandrogenizmu tworzy błędne koło, które utrwała objawy PCOS.

Oprócz wpływu na produkcję androgenów, insulinooporność w PCOS jest związana z upośledzonym metabolizmem glukozy. Kobiety z PCOS często wykazują nietolerancję glukozy, która może przekształcić się w cukrzycę typu 2, jeśli nie zostanie leczona (Shehzad M. i in. 2022, s. 31-35). Mechanizmy leżące u podstaw tego upośledzonego metabolizmu glukozy obejmują defekty w szlakach sygnałowych insuliny, szczególnie w mięśniach szkieletowych. Insulinooporność wynika z upośledzonej ekspresji substratu receptora insuliny (IRS-1) i nieprawidłowej translokacji transportera glukozy (GLUT4) (Giannouli A. i in. 2023, s. 557).

Obecność insulinooporności w PCOS nie jest jednolita w różnych fenotypach zespołu. Badania wskazują, że insulinooporność jest najbardziej wyraźna u kobiet z klasycznym fenotypem PCOS, charakteryzującym się nieregularną owulacją i hiperandrogenizmem, podczas gdy jest mniej powszechna w fenotypie normoandrogenicznym (Moggetti P. i in. 2013, s. 628-637). Sugeruje to, że metaboliczne implikacje PCOS mogą się znacznie różnić u poszczególnych osób, co wymaga spersonalizowanych podejść do leczenia i postępowania.

Czynniki genetyczne i środowiskowe przyczyniają się do rozwoju insulinooporności w PCOS. U kobiet z PCOS często obserwuje się rodzinną historię cukrzycy, co wskazuje na potencjalną predyspozycję genetyczną do insulinooporności i zespołu metabolicznego (Saxena P. i in. 2012, s. 1-4). Czynniki związane ze stylem życia, w tym dieta i aktywność fizyczna, również odgrywają kluczową rolę w modulacji wrażliwości na insulinę. Wykazano, że interwencje takie jak utrata wagi i zwiększona aktywność fizyczna poprawiają wrażliwość na insulinę i profile metaboliczne u kobiet z PCOS, podkreślając znaczenie modyfikacji stylu życia w radzeniu sobie z tym schorzeniem (Benrick A. i in. 2013, s. 1-13).

WPŁYW HIPERINSULINEMII NA PRODUKCJĘ ANDROGENÓW W PCOS

Hiperinsulinemia, charakteryzująca się podwyższonym poziomem insuliny we krwi, odgrywa znaczącą rolę w patofizjologii zespołu policystycznych jajników (PCOS), szczególnie w odniesieniu do produkcji androgenów. Jednym z głównych mechanizmów, poprzez które hiperinsulinemia wpływa na produkcję androgenów, jest jej synergistyczne działanie z hormonem luteinizującym (LH). Insulina wzmacnia działanie LH na komórki tekalne w jajnikach, które są odpowiedzialne za syntezę androgenów. Ta interakcja prowadzi do zwiększonej produkcji androgenów, szczególnie testosteronu, przyczyniając się tym samym do hiperandrogenizmu charakterystycznego dla PCOS (Saxena P. i in. 2012, s. 1-4). Komórki tekowe, stymulowane zarówno insuliną, jak i LH, wykazują zwiększoną aktywność cytochromu P450c17 α (CYP17A1), enzymu krytycznego dla biosyntezy androgenów (Shehzad M. i in. 2022, s. 31-35). Proces ten powoduje podwyższony poziom krążących androgenów, co może prowadzić do różnych objawów, takich jak hirsutyzm, trądzik i nieregularne miesiączki.

Hiperinsulinemia wpływa również na produkcję globuliny wiążącej hormony płciowe (SHBG) przez wątrobę. Podwyższony poziom insuliny hamuje syntezę SHBG w wątrobie, co prowadzi do zwiększonego stężenia wolnego i biodostępnego testosteronu we krwi (Cebeci F. i in. 2012, s. 342-346). To obniżenie SHBG nie tylko nasila hiperandrogenizm, ale także przyczynia się do zaburzeń metabolicznych związanych z PCOS, ponieważ wolny testosteron może dodatkowo wpływać na wrażliwość na insulinę i funkcję metaboliczną (Neelaveni K. i Sahay R. 2016, s. 6145-6148). Wzajemne oddziaływanie między hiperinsulinemią a poziomami SHBG tworzy zatem pętlę sprzężenia zwrotnego, która utrzuca objawy PCOS.

Rola insuliny w produkcji androgenów nie ogranicza się do jej bezpośredniego wpływu na komórki jajnika. Insulinooporność, która jest powszechna u kobiet z PCOS, może również prowadzić do kompensacyjnej hiperinsulinemii. Ten stan hiperinsulinemii może dodatkowo nasilać odpowiedź jajników na LH, zwiększając produkcję androgenów. Badania wykazały, że kobiety z PCOS wykazują nadreaktywność na syntezę androgenów zależną od insuliny, co jest szczególnie wyraźne u osób z insulinoopornością (Kim M. 2014, s. 1-5). Sugeruje to, że zaburzenia metaboliczne związane z PCOS nie tylko przyczyniają się do hiperinsulinemii, ale także zaostrzają ten stan, promując zwiększoną syntezę androgenów.

Oprócz wpływu na jajniki, hiperinsulinemia może wpływać na produkcję androgenów nadnerczowych. Nadnercza również przyczyniają się do ogólnego poziomu androgenów u kobiet z PCOS, a hiperinsulinemia może stymulować steroidogenezę nadnerczową, dodatkowo podnosząc poziom krążących androgenów (Cebeci F. i in. 2012, s. 342-346). To podwójne źródło androgenów — zarówno jajnikowe, jak i nadnerczowe — potęguje stan hiperandrogeniczny obserwowany w PCOS i podkreśla złożoność zaangażowanych interakcji hormonalnych.

Związek między hiperinsulinemią a produkcją androgenów jest ściśle powiązany z otyłością, która jest powszechna u kobiet z PCOS. Otyłość zaostreza insulinooporność, co prowadzi do zwiększonego wydzielania insuliny i w konsekwencji wyższych poziomów hiperinsulinemii. Ten związek tworzy błędne koło, w którym otyłość pogarsza insulinooporność, co z kolei sprzyja dalszej hiperinsulinemii i zwiększonej produkcji androgenów. Obecność nadmiaru tkanki tłuszczowej może również przyczynić się do produkcji dodatkowych androgenów, co jeszcze bardziej komplikuje środowisko hormonalne w PCOS (Benrick A. i in. 2013, s. 1-13).

METABOLIZM GLUKOZY I RYZYKO CUKRZYCY TYPU 2 U PACJENTEK Z PCOS

Zespół policystycznych jajników (PCOS) znacząco wpływa na metabolizm glukozy i zwiększa ryzyko rozwoju cukrzycy typu 2 (T2DM). Związek między insulinoopornością, metabolizmem glukozy i ryzykiem T2DM u kobiet z PCOS jest złożony i wieloczynnikowy. Insulinooporność, dotycząca znaczną część kobiet z tą chorobą, jest ściśle związana z dysfunkcją metaboliczną i rozwojem T2DM (Neelaveni K. i Sahay R. 2016, s. 6145-6148).

Insulinooporność w PCOS charakteryzuje się zmniejszoną zdolnością organizmu do reagowania na insulinę. Prowadzi to do kompensacyjnej hiperinsulinemii, w której trzustka produkuje nadmiar insuliny w celu utrzymania prawidłowego poziomu glukozy (Saxena P. i in., 2012, s. 1-4). Ten stan insulinooporności jest szczególnie wyraźny u kobiet z otyłością, ponieważ nasilenie otyłości koreluje pozytywnie ze stopniem insulinooporności (Neelaveni K. i Sahay R. 2016, s. 6145-6148).

Zaburzona sygnalizacja insuliny u pacjentek z PCOS powoduje nieprawidłowy metabolizm glukozy, który może objawiać się jako upośledzona tolerancja glukozy (IGT) lub nawet jawna cukrzyca typu 2. Badania wykazały, że kobiety z PCOS mają znacznie wyższą częstość występowania IGT i cukrzycy typu

2 w porównaniu z grupą kontrolną dopasowaną pod względem wieku i wagi (Cebeci F. i in. 2012, s. 342-346). Ryzyko rozwoju cukrzycy typu 2 jest szczególnie wysokie u kobiet z PCOS, które są również otyłe, ponieważ często wykazują one cięższą insulinooporność i zaburzenia metaboliczne (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59). Należy jednak zauważyć, że insulinooporność może również występować u szczupłych kobiet z PCOS, co wskazuje, że metaboliczne implikacje zespołu wykraczają poza otyłość (Giannouli A. i in. 2023, s. 557). Badania wskazują, że kobiety z PCOS mogą przejść z IGT do T2DM w szybszym tempie niż ich odpowiedniczki bez PCOS, co podkreśla pilną potrzebę monitorowania metabolizmu glukozy w tej populacji (Lee H. i in. 2013, s. 1-7).

Podstawowe mechanizmy łączące insulinooporność i metabolizm glukozy w PCOS obejmują kilka czynników, w tym zaburzenia równowagi hormonalnej i predyspozycje genetyczne. Hiperinsulinemia nie tylko wpływa na homeostazę glukozy, ale także wpływa na wydzielanie innych hormonów, takich jak glukagon i kortyzol, które mogą dodatkowo zaostrzyć insulinooporność i nietolerancję glukozy (Benrick A. i in. 2013, s. 1-13). Ponadto czynniki genetyczne mogą predysponować kobiety z PCOS do insulinooporności i T2DM, ponieważ historia rodzinna cukrzycy jest często bardziej rozpowszechniona w tej populacji (Saxena P. i in. 2012, s. 1-4).

Ponadto u kobiet z PCOS często obserwuje się pełen zespół metaboliczny. Obejmuje on grupę schorzeń, w tym otyłość, dyslipidemię, nadciśnienie i insulinooporność. Obecność zespołu metabolicznego znacznie zwiększa ryzyko chorób sercowo-naczyniowych i cukrzycy typu 2 (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59). Wzajemne oddziaływanie tych nieprawidłowości metabolicznych i zaburzeń hormonalnych charakterystycznych dla PCOS tworzy trudny scenariusz kliniczny, który wymaga kompleksowych strategii leczenia.

Interwencje mające na celu poprawę wrażliwości na insulinę są kluczowe dla zarządzania metabolizmem glukozy u kobiet z PCOS. Wykazano, że zmiany stylu życia, w tym utrata masy ciała poprzez dietę i ćwiczenia, zwiększają wrażliwość na insulinę i poprawiają profile metaboliczne w tej populacji (Shehzad M. i in. 2022, s. 31-35). Leczenie farmakologiczne, takie jak metformina, jest również powszechnie stosowane w celu poprawy wrażliwości na insulinę i regulacji cykli menstruacyjnych u kobiet z PCOS (Lee H. i in. 2013, s. 1-7).

RÓŻNICE W INSULINOOPORNOŚCI W RÓŻNYCH FENOTYPACH PCOS

Zespół policystycznych jajników (PCOS) jest heterogennym zaburzeniem charakteryzującym się odrębnymi fenotypami, z których każdy ma odrębny profil kliniczny i metaboliczny. Jednym z krytycznych aspektów PCOS jest obecność insulinooporności, która znacznie różni się w zależności od fenotypu zespołu. Do najczęściej rozpoznawanych fenotypów PCOS należą fenotyp klasyczny, który charakteryzuje się hiperandrogenizmem, dysfunkcją owulacji i policystycznymi jajnikami, oraz fenotyp nieklasyczny lub owulacyjny, który może objawiać się hiperandrogenizmem, ale bez dysfunkcji owulacji. Badania wskazują, że częstość występowania insulinooporności jest znacznie wyższa u kobiet z klasycznym fenotypem w porównaniu z kobietami z fenotypem nieklasycznym. Na przykład badania wykazały, że około 70% kobiet z klasycznym fenotypem wykazuje insulinooporność, podczas gdy częstość występowania jest niższa u kobiet z fenotypem nieklasycznym (Moggetti P. i in. 2013, s. 628-637).

Otyłość odgrywa znaczącą rolę w zastrzaniu insulinooporności u kobiet z PCOS. Otyłe kobiety z PCOS zazwyczaj wykazują większą insulinooporność w porównaniu do swoich nieotyłych odpowiedniczek, niezależnie od fenotypu. Odkrycie to podkreśla znaczenie masy ciała w ekspresji insulinooporności w różnych fenotypach PCOS. Badanie porównujące insulinooporność u otyłych i nieotyłych kobiet z PCOS wykazało, że chociaż obie grupy wykazywały insulinooporność, stopień insulinooporności był znacznie bardziej wyraźny w grupie otyłej (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59). Sugeruje to, że otyłość może działać jako modyfikator wrażliwości na insulinę w PCOS, szczególnie w klasycznym fenotypie.

Obecność insulinooporności u szczupłych kobiet z PCOS pozostaje tematem debaty. Niektóre badania sugerują, że szczupłe kobiety z PCOS mogą również wykazywać insulinooporność, choć w mniejszym stopniu niż ich otyłe odpowiedniczki (Lee H. i in. 2013, s. 1-7). Podważa to pogląd, że otyłość jest warunkiem wstępnym insulinooporności w PCOS i sugeruje, że czynniki wewnętrzne związane z samym zespołem mogą przyczyniać się do insulinooporności, nawet przy braku otyłości (Kim M. 2014, s. 1-5). Na przykład zaburzenia równowagi hormonalnej, takie jak podwyższony poziom androgenów i upośledzone wydzielanie insuliny, mogą niezależnie wpływać na wrażliwość na insulinę u szczupłych kobiet z PCOS (Neelaveni K. i Sahay R. 2016, s. 6145-6148).

Różnice w insulinooporności wśród fenotypów PCOS znajdują również odzwierciedlenie w wynikach metabolicznych. Kobiety z klasycznym fenotypem, zwłaszcza te, które są otyłe, mają zwiększone ryzyko rozwoju zespołu metabolicznego i cukrzycy typu 2 w porównaniu z kobietami z fenotypem nieklasycznym (Moggetti P. i in. 2013, s. 628-637). Połączenie hiperandrogenizmu, dysfunkcji owulacji i insulinooporności w klasycznym fenotypie tworzy bardziej złożony profil metaboliczny, który predysponuje te osoby do niekorzystnych skutków zdrowotnych. Co więcej, istotna jest rola predyspozycji genetycznych i rodzinnej historii cukrzycy. Badania wykazały, że kobiety z rodzinną historią cukrzycy są bardziej narażone na insulinooporność, niezależnie od fenotypu PCOS (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59). Sugeruje to, że czynniki genetyczne mogą przyczyniać się do zmienności insulinooporności obserwowanej wśród różnych fenotypów PCOS.

WNIOSKI

Złożone mechanizmy patofizjologiczne w zespole policystycznych jajników (PCOS) obejmują ścisłe zależności między insulinoopornością, hiperinsulinemią, otyłością oraz zwiększonym ryzykiem cukrzycy typu 2. Hiperinsulinemia odgrywa kluczową rolę w stymulacji nadmiernej produkcji androgenów, co prowadzi do zaburzeń hormonalnych, które negatywnie wpływają na zdrowie metaboliczne i rozrodcze kobiet z PCOS. Mechanizm ten obejmuje synergistyczne działanie insuliny z hormonem luteinizującym (LH) na komórki tekalne jajników, hamowanie produkcji białka wiążącego hormony płciowe (SHBG) oraz stymulację nadnerczy do syntezy androgenów.

Otyłość dodatkowo potęguje te zaburzenia, zaostrzając insulinooporność i hiperandrogenizm. Z kolei insulinooporność, która może występować również u kobiet szczupłych, jest zależna od fenotypu PCOS, a u kobiet z klasycznym fenotypem i otyłością jest najczęściej nasiloną. U szczupłych kobiet mechanizmy insulinooporności mogą różnić się od tych występujących u ich otyłych odpowiedniczek, co wskazuje na konieczność zindywidualizowanego podejścia do terapii.

W celu ograniczenia długoterminowych powikłań PCOS, konieczna jest wczesna diagnoza insulinooporności oraz wdrożenie ukierunkowanych terapii. Istotna jest również kontrola masy ciała, szczególnie u kobiet otyłych, co pozwoli na redukcję nasilenia zaburzeń metabolicznych i hormonalnych. Należy leczyć hiperandrogenizm za pomocą terapii hormonalnej, która może obejmować

antyandrogeny lub leki doustne regulujące poziom androgenów oraz monitorować ryzyko cukrzycy typu 2, co wiąże się z regularnymi badaniami poziomu glukozy i insuliny oraz wdrażaniem działań zapobiegawczych w celu ograniczenia rozwoju cukrzycy.

Zrozumienie indywidualnych różnic fenotypowych oraz mechanizmów leżących u podstaw insulinooporności jest kluczowe dla opracowania spersonalizowanych strategii terapeutycznych, które poprawią wyniki zdrowotne kobiet z PCOS. Dalsze badania nad tymi mechanizmami są niezbędne, aby doskonalić terapie i minimalizować ryzyko powikłań metabolicznych oraz rozrodczych.

PODSUMOWANIE

PCOS to złożone schorzenie, w którym kluczową rolę odgrywa insulinooporność, hiperinsulinemia i otyłość, prowadząc do zaburzeń hormonalnych i metabolicznych, takich jak hiperandrogenizm i zwiększone ryzyko cukrzycy typu 2. Hiperinsulinemia stymuluje nadmierną produkcję androgenów, co prowadzi do problemów rozrodczych. W zależności od fenotypu, nasilenie insulinooporności może się różnić, co wymaga spersonalizowanego podejścia terapeutycznego. W celu ograniczenia powikłań, istotna jest wczesna diagnoza, redukcja insulinooporności, kontrola masy ciała oraz leczenie hiperandrogenizmu i monitorowanie ryzyka cukrzycy.

BIBLIOGRAFIA

- Benrick A., Maliqueo M., Sun M., Villanueva J., Feng Y., Ohlsson C., Stener-Victorin E.
 2013 Resveratrol is not as effective as physical exercise for improving reproductive and metabolic functions in rats with dihydrotestosterone-induced polycystic ovary syndrome. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
- Bozkirli E., Bakiner O., Ertorer M., Anaforoğlu İ., Tütüncü N., Demirağ N.
 2015 Insulin resistance in non-obese polycystic ovary syndrome subjects and relation with family history of diabetes mellitus. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*, 19(2).

Cebeci F., Onsun N., Mert M.

2012 Insulin resistance in women with hirsutism. *Archives of Medical Science*, 2.

Giannouli A., Efthymiou V., Konidari M., Mani I., Aravantinos L.,
Dourakis S., Bacopoulou F.

2023 The burden of non-alcoholic fatty liver disease in adolescents with polycystic ovary syndrome: a case-control study. *Journal of Clinical Medicine*, 12(2).

Hilaloğlu N. and Surmelioglu D.

2022 Assessment of dmft indexes, salivary flow rate, ph, and detections of s.mutans salivary levels by a quantitative real-time pcr in polycystic ovary syndrome. *Cumhuriyet Dental Journal*, 25(2).

Kim M.

2014 Does polycystic ovarian syndrome increase insulin resistance above and beyond obesity? *Endocrinology & Metabolic Syndrome*, 03(04).

Lee H., Oh J., Sung Y., Chung H.

2013 Is insulin resistance an intrinsic defect in asian polycystic ovary syndrome?. *Yonsei Medical Journal*, 54(3).

Moghetti P., Tosi F., Bonin C., Sarra D., Fiers T., Kaufman J., Bonora E.

2013 Divergences in insulin resistance between the different phenotypes of the polycystic ovary syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 98(4).

Neelaveni K. and Sahay R.

2016 Insulin resistance and secretory capacity in young women with polycystic ovary syndrome. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 5(82), 6145-6148.

Saxena P., Prakash A., Nigam A., Mishra A.

2012 Polycystic ovary syndrome: is obesity a sine qua non? a clinical, hormonal, and metabolic assessment in relation to body mass index. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 16(6).

Shehzad M., Sattar N., Ishaq N.

2022 Insulin resistance in young obese females with and without polycystic ovary syndrome.. *International Journal of Endorsing Health Science Research (Ijehsr)*, 10(1).

Shirazi F., Khodamoradi Z., Jeddi M.

2021 Insulin resistance and high molecular weight adiponectin in obese and non-obese patients with polycystic ovarian syndrome (pcos). *BMC Endocrine Disorders*, 21(1).

Talaei A., Adgi Z., Kelishadi M.

2013 Idiopathic hirsutism and insulin resistance. *International Journal of Endocrinology*, 2013.

Zhao M., Li Y., Zhang Y., Wang X., Wang X.

2023 Clinical diagnostic values of c1q/tnf-related protein-3 for polycystic ovary syndrome women with insulin resistance. *Hormone and Metabolic Research*, 55(05).

PATHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS IN PCOS: INTERRELATIONSHIPS BETWEEN DIABETES, INSULIN RESISTANCE, AND OBESITY

Abstract: This review aims to present the current knowledge on insulin resistance, which occurs in 50-70% of women with PCOS, is a central element of pathophysiology, leading to serious metabolic and reproductive complications. The interplay between insulin resistance and obesity exacerbates PCOS symptoms such as dyslipidemia and hypertension, and increases the risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease. Hyperinsulinemia stimulates androgen production, leading to symptoms such as hirsutism and irregular menstruation. Insulin resistance also affects glucose metabolism, which emphasizes the importance of early diagnosis and intervention. Differences in the severity of insulin resistance in different PCOS phenotypes and the influence of genetic and environmental factors indicate the need for a personalized approach to treatment. Further research on the mechanisms of PCOS is crucial for the development of effective therapies.

Keywords: polycystic ovary syndrome, insulin resistance, obesity, hyperinsulinemia, glucose metabolism, type 2 diabetes

RÓŻNORODNOŚĆ FENOTYPOWA ZESPOŁU POLICYSTYCZNYCH JAJNIKÓW

Streszczenie: Praca przeglądowa ma na celu analizę fenotypowej różnorodności zespołu policystycznych jajników (PCOS). Jest to złożone zaburzenie endokrynologiczne, dotykające kobiety w wieku rozrodczym. PCOS charakteryzuje się szerokim wachlarzem objawów klinicznych, w tym hiperandrogenizmem, dysfunkcją owulacji oraz morfologią policystycznych jajników, co prowadzi do zróżnicowanych fenotypów choroby. Zrozumienie tych fenotypów, zwłaszcza pod kątem obecności insulinooporności i otyłości, jest kluczowe dla personalizacji leczenia. W rozdziale analizowane są także genetyczne, hormonalne i środowiskowe czynniki ryzyka rozwoju PCOS. Celem pracy jest ocena tych czynników oraz wskazanie kierunków przyszłych badań, które mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia i zarządzania PCOS.

Słowa kluczowe: zespół policystycznych jajników, fenotypy PCOS, hiperandrogenizm, insulinooporność

WPROWADZENIE

Zespół policystycznych jajników (PCOS) to wieloaspektowe zaburzenie endokrynologiczne, które dotyka kobiety w wieku rozrodczym. Globalna częstość występowania szacowana jest na 5% do 20% w zależności od badanej populacji i zastosowanych kryteriów diagnostycznych. Zespół charakteryzuje się połączeniem cech klinicznych, w tym hiperandrogenizmu, dysfunkcji owulacji i morfologii policystycznych jajników (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

Epidemiologia i różnorodność fenotypowa PCOS stwarzają znaczące wyzwania i możliwości dla badań i praktyki klinicznej. Kluczowe jest zrozumienie zależności między czynnikami genetycznymi, hormonalnymi i środowiskowymi. Należy zbadać również znaczenie czynników kulturowych i dostępu do opieki zdrowotnej. Mogą one wpływać na diagnozę i leczenie PCOS, co prowadzi do rozbieżności w leczeniu wśród różnych grup rasowych i etnicznych (Shirazi F. i in. 2021, s. 1-5; Giannouli A. i in. 2023, s. 1-8).

Celem pracy jest analiza fenotypowej różnorodności zespołu policystycznych jajników (PCOS). W niniejszej pracy podjęto się próby weryfikacji następującej hipotezy: podczas opracowywania strategii leczenia należy uwzględnić różnorodność fenotypową PCOS. Pracę przygotowano z wykorzystaniem metody przeglądu literatury, korzystając z internetowej bazy danych PubMed.

ZRÓŻNICOWANIE FENOTYPOWE PCOS

Poszczególne fenotypy PCOS, charakteryzują się odrębnymi profilami klinicznymi, hormonalnymi i metabolicznymi. Dzięki wykorzystaniu informacji o fenotypowym zróżnicowaniu PCOS możliwe jest dostosowanie zindywidualizowanych strategii leczenia, odpowiadających potrzebom poszczególnych pacjentek. Klasyfikacja fenotypów PCOS opiera się na obecności hiperandrogenizmu, dysfunkcji owulacji i morfologii policystycznych jajników, a także czynników metabolicznych, takich jak insulinooporność (IR) i wskaźniku masy ciała (BMI) (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

Najbardziej powszechnym systemem klasyfikacji fenotypów PCOS są kryteria rotterdamkie. Identyfikują one cztery odrębne fenotypy na podstawie obecności klinicznych i biochemicznych objawów hiperandrogenizmu, dysfunkcji owulacji i obrazu policystycznych jajników w badaniu USG. Fenotyp A obejmuje kobiety ze wszystkimi trzema cechami, podczas gdy fenotyp B obejmuje kobiety z hiperandrogenizmem i dysfunkcją owulacji, ale bez policystycznych jajników. Fenotyp C obejmuje kobiety z policystycznymi jajnikami i hiperandrogenizmem, ale prawidłową funkcją owulacyjną, a fenotyp D obejmuje kobiety z wyłącznie policystycznymi jajnikami (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

Ostatnie badania podkreśliły znaczenie czynników metabolicznych w fenotypowym różnicowaniu PCOS. Insulinooporność jest powszechną cechą u wielu kobiet z PCOS, szczególnie w fenotypach A i B, które często wiążą się z otyłością (Goyal M. i Dawood A. 2017, s. 1-9). Kobiety z fenotypem A zazwyczaj

wykazują najcięższe zaburzenia metaboliczne, w tym wyższe wskaźniki cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych (Palomba S. i in., 2015, s. 1-12). Z kolei kobiety z fenotypem D, u których może występować mniej powikłań metabolicznych, często mają korzystniejsze rokowanie reprodukcyjne (Si M. i in. 2023, s. 1-7). Ta zmienność profili metabolicznych u różnych fenotypów wymaga dostosowanych interwencji, w szczególności w zakresie zarządzania wagą i wrażliwością na insulinę.

Profile hormonalne kobiet z PCOS również znacznie różnią się w zależności od fenotypu. Na przykład kobiety z fenotypem A często wykazują podwyższone poziomy hormonu luteinizującego (LH) i androgenów, podczas gdy te z fenotypem D mogą mieć stosunkowo normalne poziomy hormonów (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284). Stosunek LH do hormonu folikulotropowego (FSH) jest często zmieniony w PCOS, przy czym wyższy stosunek obserwuje się w fenotypach A i B, co wskazuje na zaburzenie osi podwzgórze-przysadka-jajniki (Lê M. i in. 2019, s. 579-585; Bindal D. 2018, s. 1-7). Te różnice hormonalne umożliwiają dostosowanie strategii leczenia hormonalnymi środkami antykoncepcyjnymi lub antyandrogenami.

Oprócz czynników hormonalnych i metabolicznych, predyspozycje genetyczne odgrywają znaczącą rolę w różnicowaniu fenotypowym PCOS. Badania asocjacyjne całego genomu (GWAS) zidentyfikowały kilka loci genetycznych związanych z PCOS, co sugeruje dziedziczny komponent zaburzenia (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263). Różnorodność genetyczna wśród populacji może przyczyniać się do zmienności w obrazie klinicznym i nasileniu objawów obserwowanych w różnych grupach etnicznych (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263; Hegde P. i in. 2022, s. 461-468).

Rola czynników środowiskowych, w tym stylu życia i narażenia na substancje zaburzające gospodarkę hormonalną, została również powiązana z fenotypowym różnicowaniem PCOS (Giampaolino P. i in. 2021, s. 1-5). Na przykład czynniki związane ze stylem życia, takie jak dieta, aktywność fizyczna i poziom stresu, mogą znacząco wpływać na profile metaboliczne i hormonalne kobiet z PCOS (Rutkowska A. i Diamanti-Kandarakis E. 2016, s. 948-958). Ponadto nowe badania sugerują, że zmiany w mikrobiomie jelitowym mogą być związane z patogenezą PCOS, potencjalnie wpływając na szlaki metaboliczne i zapalne, które przyczyniają się do zróżnicowanych fenotypów zespołu (Wang R. i in. 2022, s. 1-9; Batra M. i in. 2022, s. 1-5).

Kliniczne implikacje zróżnicowania fenotypowego w PCOS są głębokie. Kobiety o różnych fenotypach mogą doświadczać różnych trudności w zakresie

zdrowia reprodukcyjnego, przy czym niektóre fenotypy są związane z wyższym ryzykiem poronień i cukrzycy ciąży. Na przykład fenotyp A został powiązany ze zwiększonym wskaźnikiem poronień samoistnych, podczas gdy fenotyp D może mieć korzystniejsze rokowanie reprodukcyjne (Si M. i in. 2023, s. 1-7; Bindal D. 2018, s. 1-7).

Objawy kliniczne PCOS są bardzo zmienne, co prowadzi do identyfikacji różnych fenotypów w obrębie zaburzenia. Fenotypy te można również sklasyfikować na podstawie obecności lub braku otyłości i insulinooporności. Są to istotne czynniki, które znacząco wpływają na obraz kliniczny i długoterminowe efekty leczenia osób dotkniętych chorobą. Na przykład kobiety z fenotypem insulinooporności często wykazują poważniejsze zaburzenia metaboliczne, w tym otyłość, dyslipidemię i zwiększone ryzyko rozwoju cukrzycy typu 2 (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284; Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Również szczupłe kobiety z PCOS mogą mieć różne profile hormonalne i problemy metaboliczne, co podkreśla konieczność zindywidualizowanych podejść terapeutycznych (Bindal D. 2018, s. 1-7; Goyal M. i Dawood A. 2017, s. 1-9).

Co więcej, ekspresja fenotypowa PCOS może się znacznie różnić między grupami rasowymi. Na przykład badania wykazały, że kobiety pochodzenia południowoazjatyckiego mogą mieć wyższą częstość występowania zespołu metabolicznego i insulinooporności w porównaniu do swoich białych odpowiedniczek, nawet przy niższych poziomach BMI (Lee H. i in. 2013, s. 1-8; Saxena P. i in. 2012, s. 1-12). Sugeruje to, że obraz kliniczny PCOS nie zależy wyłącznie od otyłości, ale jest uwarunkowany połączeniem predyspozycji genetycznych i czynników środowiskowych, które różnią się w zależności od populacji (Kim M. 2014, s. 1-5; Moghetti P. i in. 2013, s. 628-637).

ROLA INSULINOOPORNOŚCI I OTYŁOŚCI

Insulinooporność jest krytycznym czynnikiem w rozwoju powikłań metabolicznych związanych z PCOS. Badania wskazują, że 50% do 70% kobiet z PCOS wykazuje pewien stopień insulinooporności, co może prowadzić do zwiększonego ryzyka cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych (Bozkirli E. i in. 2015, s. 55-59; Moghetti P. i in. 2013, s. 628-637).

W populacjach o wyższym wskaźniku otyłości, takich jak kobiety rasy białej, insulinooporność jest często zaostrzana przez nadmiar tkanki tłuszczowej, który przyczynia się do zaburzeń metabolicznych (Shirazi F. i in. 2021, s. 1-5; Shehzad M. i in. 2022, s. 31-35). Jednak w populacjach azjatyckich związek między

otyłością a insulinoopornością jest bardziej złożony, ponieważ szczupłe kobiety z PCOS również wykazują znaczną insulinooporność, co wskazuje, że czynniki genetyczne i środowiskowe mogą odgrywać rolę (Lee H. i in. 2013, s. 1-8; Kim M. 2014, s. 1-5).

Charakteryzuje się ona zmniejszoną zdolnością organizmu do reagowania na insulinę, co prowadzi do kompensacyjnej hiperinsulinemii, która może zaostrzyć hiperandrogenizm i dysfunkcję jajników (Wang R. i in. 2022, s. 1-5). Podwyższony poziom insuliny może stymulować jajniki do produkcji większej ilości androgenów, utrwalając tym samym cykl zaburzeń hormonalnych (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284). Mechanizm ten jest dodatkowo skomplikowany przez otyłość, która często wiąże się ze zwiększoną tkanką tłuszczową, która wydziela prozapalne cytokiny i wolne kwasy tłuszczowe. Przyczynia się to do ogólnoustrojowego stanu zapalnego i dodatkowo upośledza wrażliwość na insulinę (Rutkowska A. i Diamanti-Kandarakis E. 2016, s. 948-958).

Otyłość jest powszechna wśród kobiet z PCOS, a badania wskazują, że około 50% do 80% dotkniętych nią osób ma nadwagę lub jest otyłych. Otyłość centralna jest w szczególności istotnym czynnikiem ryzyka rozwoju powikłań metabolicznych związanych z PCOS, takich jak cukrzyca typu 2 i choroby układu krążenia (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Gromadzenie się tłuszczu trzewnego wiąże się ze zwiększoną insulinoopornością i dyslipidemią, charakteryzującymi się podwyższonym poziomem trójglicerydów i niskim poziomem cholesterolu lipoprotein o dużej gęstości (HDL-C). Ta dysregulacja metabolizmu lipidów dodatkowo zwiększa ryzyko wystąpienia zespołu metabolicznego, grupy schorzeń, które zwiększają ryzyko chorób serca, udaru i cukrzycy (Si M. i in. 2023, s. 1-7).

W populacjach zachodnich otyłość jest powszechną cechą kobiet z PCOS, a badania wskazują, że około 50% do 80% dotkniętych nią osób ma nadwagę lub jest otyłych (Lee H. i in. 2013, s. 1-8; Neelaveni K. i Sahay R. 2016, s. 6145-6148). Z drugiej strony, w populacjach azjatyckich częstość występowania otyłości wśród kobiet z PCOS jest niższa, co rodzi pytania o mechanizmy leżące u podstaw insulinooporności i zaburzeń metabolicznych w tych grupach (Lee H. i in. 2013, s. 1-8). Badania wykazały, że nawet szczupłe kobiety z PCOS wykazują znaczną insulinooporność w porównaniu do ich odpowiedników o dopasowanym wskaźniku masy ciała (BMI), co sugeruje, że patofizjologia PCOS może różnić się w zależności od pochodzenia etnicznego (Lee H. i in. 2013, s. 1-8; Shirazi F. i in. 2021, s. 1-5).

Badania wykazały, że nawet szczupłe kobiety z PCOS mogą wykazywać insulinooporność, co wskazuje, że czynniki wykraczające poza otyłość przyczyniają

się do tej nieprawidłowości metabolicznej (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Predyspozycje genetyczne, wpływy środowiskowe i czynniki związane ze stylem życia odgrywają rolę w rozwoju insulinooporności w PCOS (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263; Wang Q. i in. 2022, s. 1-9). Na przykład, prenatalna ekspozycja na substancje zaburzające gospodarkę hormonalną (EDC) została powiązana ze zmienionym programowaniem płodu, co może predysponować osoby do zaburzeń metabolicznych w Rutkowska A. i Diamanti-Kandarakis E. 2016, s. 948-958).

Obecność insulinooporności i otyłości w PCOS ma istotne implikacje dla leczenia i postępowania. Wykazano, że zmiany stylu życia, w tym utrata wagi i zwiększona aktywność fizyczna, poprawiają wrażliwość na insulinę i obniżają poziom androgenów, łagodząc w ten sposób niektóre objawy związane z PCOS (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Interwencje farmakologiczne, takie jak metformina, są również powszechnie stosowane w celu zwiększenia wrażliwości na insulinę i regulacji cykli menstruacyjnych u kobiet z PCOS (Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284; Wang R. i in. 2022, s. 1-7). Ponadto, interwencje dietetyczne i zmiany stylu życia mogą prowadzić do poprawy zdrowia metabolicznego i zdrowia reprodukcyjnego (Si M. i in. 2023, s. 1-7).

HIPERANDROGENIZM I DYSFUNKCJA OWULACJI

Wpływ rasy i pochodzenia etnicznego na objawy PCOS wykracza poza insulinooporność i otyłość. Badania wykazały, że kobiety o różnym pochodzeniu etnicznym mogą doświadczać różnego stopnia hiperandrogenizmu i nieregularnych miesiączek, co może wpływać na ich zdrowie reprodukcyjne i płodność (Lee H. i in. 2013, s. 1-8; Moghetti P. i in. 2013, s. 628-637).

Hiperandrogenizm i dysfunkcja owulacji to dwie charakterystyczne cechy zespołu policystycznych jajników (PCOS), które znacząco przyczyniają się do obrazu klinicznego i długoterminowych skutków zdrowotnych zaburzenia. Są one ze sobą powiązane i wpływają na różne aspekty zdrowia reprodukcyjnego i metabolicznego.

Hiperandrogenizm w PCOS charakteryzuje się podwyższonym poziomem androgenów, które są męskimi hormonami, występującymi zazwyczaj w niższych stężeniach u kobiet. Stan ten może objawiać się zarówno w postaci klinicznej, jak i biochemicznej. Klinicznie hiperandrogenizm może objawiać się hirsutyzmem (nadmiernym wzrostem włosów w obszarach typowo związanych z męskim typem owłosienia), trądzikiem i łysieniem (przerzedzeniem włosów) (Si M. i in.

2023, s. 1-7; Lê M. i in. 2019, s. 579-585). Biochemicznie jest często oceniany poprzez pomiary testosteronu i siarczanu dehydroepiandrosteronu (DHEAS) w surowicy, przy czym podwyższone poziomy wskazują na hiperandrogenizm (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263). Częstość występowania hiperandrogenizmu u kobiet z PCOS może być różna, ale badania wskazują, że około 60-80% kobiet z PCOS wykazuje jakąś jego formę (Lindheim L. i in. 2016, s. 1-8; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

Patofizjologia hiperandrogenizmu w PCOS jest złożona i obejmuje wiele czynników, w tym insulinooporność (IR) i dysregulację osi podwzgórze-przysadka-jajniki (HPO). Oporność na insulinę jest powszechną cechą u kobiet z PCOS, prowadzącą do kompensacyjnej hiperinsulinemii, która z kolei stymuluje produkcję androgenów przez jajniki (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Podwyższony poziom insuliny może nasilać odpowiedź jajników na hormon luteinizujący (LH), co skutkuje zwiększoną syntezą androgenów (Si i in. 2023). Ponadto zmieniony stosunek LH do hormonu folikulotropowego (FSH) często obserwowany u pacjentek z PCOS przyczynia się do dysregulacji funkcji jajników i wynikającego z tego hiperandrogenizmu (Lê M. i in. 2019, s. 579-585; Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284).

Dysfunkcja owulacji to kolejny istotny aspekt PCOS, charakteryzujący się nieregularnymi cyklami menstruacyjnymi, od oligomenorrhea (rzadkich miesiączek) do amenorrhea (braku miesiączki) (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12). Dysfunkcja ta jest spowodowana przede wszystkim zaburzeniem prawidłowego rozwoju i dojrzewania pęcherzyków jajnikowych, na które wpływają zaburzenia hormonalne związane z hiperandrogenizmem i insulinoopornością (Si i in. 2023; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12). W badaniu USG pacjentek z PCOS obserwuje się obecność wielu niedojrzałych pęcherzyków, co prowadzi do charakterystycznej morfologii policystycznych jajników (PCOM) (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263; Lê M. i in. 2019, s. 579-585). Stan bezowulacyjny może prowadzić do niepłodności, ponieważ owulacja jest niezbędna do poczęcia. Badania wykazały, że kobiety z PCOS mają znacznie wyższe ryzyko niepłodności w porównaniu do kobiet bez PCOS, przy czym główną przyczyną jest brak owulacji (Lindheim L. i in. 2016, s. 1-8; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

Podwyższony poziom androgenów może zaburzyć normalne mechanizmy sprzężenia zwrotnego osi podwzgórze-przysadka-jajniki, prowadząc do braku owulacji i dalszego zaostrenia hiperandrogenizmu (Si M. i in. 2023, s. 1-7; Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284). To błędne koło może przyczyniać się do długoterminowych powikłań zdrowotnych związanych z PCOS, w tym zespołu

metabolicznego, cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych (Kshetrimayum C. i in. 2019, s. 255-263). Ponadto obecność przewlekłej anowulacji może prowadzić do hiperplazji endometrium z powodu ekspozycji na estrogen, zwiększając ryzyko raka endometrium (Palomba S. i in. 2015, s. 1-12; Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284).

Leczenie hiperandrogenizmu i dysfunkcji owulacji ma kluczowe znaczenie dla poprawy zdrowia reprodukcyjnego i zmniejszenia długoterminowych zagrożeń dla zdrowia. Opcje leczenia mogą obejmować zmiany stylu życia, takie jak utrata wagi i ćwiczenia, które, jak wykazano, poprawiają wrażliwość na insulinę i obniżają poziom androgenów (Hegde P. i in. 2022, s. 461-468). Można również stosować interwencje farmakologiczne, w tym hormonalne środki antykoncepcyjne w celu regulacji cykli menstruacyjnych i zmniejszenia objawów hiperandrogenizacji, a także środki uwrażliwiające na insulinę, takie jak metformina (Lê M. i in. 2019, s. 579-585; Escobar-Morreale H. 2018, s. 270-284). W przypadkach, gdy pożądana jest płodność, można stosować środki indukujące owulację, takie jak cytrynian klomifenu lub letrozol (Lindheim L. i in. 2016, s. 1-8; Palomba S. i in. 2015, s. 1-12).

WNIOSKI

PCOS charakteryzuje się znacznymi różnicami rasowymi i etnicznymi, które wpływają na częstość występowania, obraz kliniczny i efekty leczenia tego zaburzenia. Należy dostosowywać strategie leczenia, które odpowiadają na potrzeby kobiet z PCOS z różnych środowisk. Badania nad czynnikami genetycznymi, hormonalnymi i środowiskowymi przyczyniającymi się do tych dysproporcji będą niezbędne do poprawy diagnostyki i leczenia wszystkich kobiet dotkniętych PCOS. Różnorodność objawów, takich jak hiperandrogenizm, insulinooporność i zaburzenia owulacji, wymaga zindywidualizowanego podejścia diagnostycznego i terapeutycznego. Kluczowe znaczenie mają tutaj nie tylko czynniki genetyczne, ale także środowiskowe i metaboliczne. Zrozumienie tej złożoności i różnorodności fenotypowej PCOS jest istotne dla opracowania skuteczniejszych strategii leczenia, dostosowanych do specyficznych potrzeb pacjentek.

Różnorodność fenotypowa PCOS wymaga kompleksowego podejścia do diagnostyki i leczenia. Obecne kryteria diagnostyczne, takie jak kryteria rotterdamkie, podkreślają potrzebę wieloaspektowej oceny, która uwzględni wyniki badań klinicznych, biochemicznych i obrazowych. Ponadto identyfikacja określonych podfenotypów może pomóc w opracowaniu strategii leczenia, ponieważ

kobiety z insulinoopornym PCOS mogą skorzystać z interwencji w zakresie stylu życia i leków, takich jak metformina, podczas gdy kobiety z innymi fenotypami mogą wymagać alternatywnych strategii terapeutycznych.

PODSUMOWANIE

Zespół policystycznych jajników (PCOS) to złożone zaburzenie endokrynologiczne dotykające kobiety w wieku rozrodczym, charakteryzujące się różnorodnością fenotypową i objawami klinicznymi, takimi jak hiperandrogenizm, insulinooporność i zaburzenia owulacji. Różne fenotypy PCOS, w tym te związane z otyłością i insulinoopornością, wymagają zindywidualizowanego podejścia terapeutycznego. Oprócz zaburzeń hormonalnych i metabolicznych, PCOS wiąże się z szeregiem powikłań rozrodczych. Kobiety z PCOS są narażone na zwiększone ryzyko niepłodności z powodu braku owulacji, co jest bezpośrednią konsekwencją zaburzeń hormonalnych charakterystycznych dla tego zespołu. Co więcej, długoterminowe implikacje zdrowotne PCOS wykraczają poza zdrowie rozrodcze, a dotknięte nim kobiety są narażone na zwiększone ryzyko chorób sercowo-naczyniowych, zespołu metabolicznego i raka endometrium. Rozpoznanie tych zagrożeń podkreśla znaczenie wczesnej diagnozy i leczenia PCOS w celu złagodzenia potencjalnych powikłań. W miarę rozwoju badań konieczne jest zintegrowanie ustaleń z różnych dyscyplin, w tym endokrynologii i genetyki, aby pogłębić wiedzę na temat PCOS opracować nowe strategie terapeutyczne.

BIBLIOGRAFIA

- Batra M., Bhatnager R., Kumar A., Suneja P., Dang A.
2022 Interplay between pcos and microbiome: the road less travelled. *American Journal of Reproductive Immunology*, 88(2).
- Bindal D.
2018 Clinical and hormonal profile in non obese women of polycystic ovarian syndrome. *Journal of Medical Science and Clinical Research*, 6(8).
- Bozkirli E., Bakiner O., Ertorer M., Anaforoğlu İ., Tütüncü N., Demirağ N.
2015 Insulin resistance in non-obese polycystic ovary syndrome subjects and relation with family history of diabetes mellitus. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*, 19(2).

Escobar-Morreale H.

2018 Polycystic ovary syndrome: definition, aetiology, diagnosis and treatment. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(5).

Giampaolino P., Foreste V., Filippo C., Gallo A., Mercurio A., Serafino P., Corte L.

2021 Microbiome and pcos: state-of-art and future aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4).

Giannouli A., Efthymiou V., Konidari M., Mani I., Aravantinos L., Dourakis S., Bacopoulou F.

2023 The burden of non-alcoholic fatty liver disease in adolescents with polycystic ovary syndrome: a case–control study. *Journal of Clinical Medicine*, 12(2).

Goyal M. and Dawood A.

2017 Debates regarding lean patients with polycystic ovary syndrome: a narrative review. *Journal of Human Reproductive Sciences*, 10(3).

Hegde P., Shetty P., Shetty S., Manjeera L., Shetty D. N S.

2022 A study on changes in hormonal disruption in polycystic ovary syndrome with advancing age and body mass index. *Biomedicine*, 42(3).

Kim M.

2014 Does polycystic ovarian syndrome increase insulin resistance above and beyond obesity?. *Endocrinology & Metabolic Syndrome*, 03(04).

Kshetrimayum C., Sharma A., Mishra V., Kumar S.

2019 Polycystic ovarian syndrome: environmental/occupational, lifestyle factors; an overview. *Journal of the Turkish-German Gynecological Association*, 20(4).

Lindheim L., Bashir M., Münzker J., Trummer C., Zachhuber V., Pieber T., Obermayer Pietsch B.

2016 The salivary microbiome in polycystic ovary syndrome (pcos) and its association with disease-related parameters: a pilot study. *Frontiers in Microbiology*, 7.

Lee H., Oh J., Sung Y., Chung H.

2013 Is insulin resistance an intrinsic defect in asian polycystic ovary syndrome?. *Yonsei Medical Journal*, 54(3).

- Lê M., Le V., Le D., Nguyen V., Chen C., Cao N.
2019 Exploration of the role of anti-mullerian hormone and lh/fsh ratio in diagnosis of polycystic ovary syndrome. *Clinical Endocrinology*, 90(4).
- Neelaveni K. and Sahay R.
2016 Insulin resistance and secretory capacity in young women with polycystic ovary syndrome. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 5(82).
- Moghetti P., Tosi F., Bonin C., Sarra D., Fiers T., Kaufman J., Bonora E.
2013 Divergences in insulin resistance between the different phenotypes of the polycystic ovary syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 98(4).
- Palomba S., Santagni S., Falbo A., Sala G.
2015 Complications and challenges associated with polycystic ovary syndrome: current perspectives. *International Journal of Women S Health*, 745.
- Rutkowska A. and Diamanti-Kandarakis E.
2016 Polycystic ovary syndrome and environmental toxins. *Fertility and Sterility*, 106(4).
- Shirazi F., Khodamoradi Z., Jeddi M.
2021 Insulin resistance and high molecular weight adiponectin in obese and non-obese patients with polycystic ovarian syndrome (pcos). *BMC Endocrine Disorders*, 21(1).
- Shehzad M., Sattar N., Ishaq N.
2022 Insulin resistance in young obese females with and without polycystic ovary syndrome.. *International Journal of Endorsing Health Science Research (Ijehsr)*, 10(1).
- Si M., Xu W., Qi X., Jiang H., Zhao Y., Li R., Qiao J.
2023 Metabolic syndrome rather than other phenotypes in pcos as a predictive indicator for clinical outcomes in ivf: comprehensive phenotypic assessment across all pcos classifications. *Journal of Clinical Medicine*, 12(15).

Saxena P., Prakash A., Nigam A., Mishra A.

2012 Polycystic ovary syndrome: is obesity a sine qua non? a clinical, hormonal, and metabolic assessment in relation to body mass index. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 16(6).

Wang Q., Wang Q., Zhao L., Bin Y., Wang L., Wang L., Li Q.

2022 Blood bacterial 16s rRNA gene alterations in women with polycystic ovary syndrome. *Frontiers in Endocrinology*, 13.

Wang R., Gu Z., Wang Y., Yin X., Liu W., Chen W., Qian K.

2022 A “one-stop shop” decision tree for diagnosing and phenotyping polycystic ovarian syndrome on serum metabolic fingerprints. *Advanced Functional Materials*, 32(45).

PHENOTYPE DIVERSITY OF POLYCYSTIC OVARY SYNDROME

Abstract: This review aims to analyze the phenotypic diversity of polycystic ovary syndrome (PCOS). It is a complex endocrine disorder affecting women of reproductive age. PCOS is characterized by a wide range of clinical manifestations, including hyperandrogenism, ovulatory dysfunction, and polycystic ovarian morphology, leading to diverse disease phenotypes. Understanding these phenotypes, especially in terms of insulin resistance and obesity, is crucial for personalizing treatment. The article also analyzes genetic, hormonal, and environmental risk factors for the development of PCOS. The aim of this study is to evaluate these factors and indicate directions for future research that may contribute to a better understanding and management of PCOS.

Keywords: polycystic ovary syndrome, PCOS phenotypes, hyperandrogenism, insulin resistance

ZESPÓŁ POLICYSTYCZNYCH JAJNIKÓW A TECHNOLOGIA CYFROWA I TELEMEDYCYNA

Streszczenie: Technologie cyfrowe i telemedycyna odgrywają coraz większą rolę w opiece nad pacjentkami z zespołem policystycznych jajników (PCOS). Zaburzenie to dotyka znaczną część kobiet w wieku rozrodczym. Wykorzystanie sztucznej inteligencji (AI) może zrewolucjonizować diagnozowanie i leczenie PCOS poprzez precyzyjne profilowanie hormonalne. Umożliwi to wczesne interwencje i spersonalizowane terapie. Telemedycyna zwiększa dostęp do opieki zdrowotnej, zwłaszcza w regionach o ograniczonym dostępie do specjalistów, umożliwiając zdalne konsultacje i stałe monitorowanie stanu pacjentek. Technologie te wspierają również zdrowie psychiczne i zdrowy styl życia, oferując aplikacje do monitorowania cyklu menstruacyjnego, nawyków żywieniowych oraz aktywności fizycznej. Integracja tych rozwiązań w opiece nad PCOS nie tylko poprawia jakość życia pacjentek, ale także przyczynia się do lepszych wyników zdrowotnych, uwzględniając zarówno aspekty reprodukcyjne, jak i metaboliczne.

Słowa kluczowe: zespół policystycznych jajników, telemedycyna, technologie cyfrowe

WPROWADZENIE

Opieka nad pacjentkami z zespołem policystycznych jajników (PCOS) coraz częściej obejmuje korzystanie z technologii cyfrowych i telemedycyny. Okazały się one przełomem w zakresie poprawy opieki nad pacjentkami i wyników leczenia. PCOS to wieloaspektowe zaburzenie endokrynologiczne charakteryzujące się szeregiem objawów, w tym nieregularnymi cyklami menstruacyjnymi, hiperandrogenizmem i policystycznymi jajnikami. Mogą one prowadzić do różnych długofalowych powikłań zdrowotnych, takich jak niepłodność, zespół

metaboliczny i choroby układu krążenia (Azziz R. i in. 2016, s. 1-7). Diagnozowane jest na podstawie szeregu objawów, w tym hiperandrogenizmu, dysfunkcji owulacji i morfologii policystycznych jajników (Azziz R. i in. 2016, s. 1-7). Złożoność PCOS wymaga wieloaspektowego podejścia do leczenia. Technologie cyfrowe i telemedycyna wspierają ten model opieki poprzez poprawę dostępu do specjalistów, zwiększenie zaangażowania pacjenta i zapewnienie dostosowanych strategii leczenia.

Rola technologii cyfrowych w leczeniu PCOS obejmuje również badania i gromadzenie danych, które mogą stanowić podstawę przyszłych strategii leczenia. Wykorzystanie telemedycyny umożliwia gromadzenie dużych zestawów danych na temat wyników leczenia pacjentek, skuteczności leczenia i zarządzania objawami, co może przyczynić się do lepszego zrozumienia PCOS i jego wpływu na zdrowie kobiet.

Celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania technologii cyfrowych i telemedycyny w opiece nad pacjentkami z zespołem policystycznych jajników. W niniejszej pracy podjęto się próby weryfikacji następującej hipotezy: integracja tych technologii z systemami opieki zdrowotnej może ułatwić wczesną diagnozę, umożliwić ciągłe monitorowanie stanu zdrowia i przygotowywanie spersonalizowanych strategii leczenia. Pracę przygotowano z wykorzystaniem metody przeglądu literatury, korzystając z internetowej bazy danych PubMed.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W DIAGNOSTYCE, LECZENIU, PROFILAKTYCE POWIKŁAŃ PCOS

AI może zostać wykorzystywane jako narzędzie ułatwiające proces diagnostyczny PCOS. Tradycyjne metody diagnostyczne często opierają się na kryteriach klinicznych i badaniach obrazowych, które mogą być subiektywne (Maamoun M. 2022, s. 1-10). Algorytmy AI, w szczególności te oparte na uczeniu maszynowym, mogą analizować dane kliniczne, wyniki badań laboratoryjnych i wyniki obrazowania, aby pomóc w diagnozie PCOS z większą precyzją. Badania wykazały, że modele AI mogą skutecznie odróżniać kobiety z PCOS od kobiet z innymi schorzeniami wykazującymi podobne objawy, oceniając profile hormonalne i obrazy ultrasonograficzne jajników (Aversa A. i in. 2020, s. 1-8). Umożliwiają w ten sposób wdrożenie wczesnych interwencji, które mogą łagodzić długofalowe powikłania zdrowotne związane z zespołem (Tsaliki K. 2024, s. 364-371).

W dobie pandemii COVID-19, zastosowanie sztucznej inteligencji w opiece zdrowotnej zyskało na znaczeniu, co doprowadziło do opracowania modeli predykcyjnych wspierających samodzielną diagnozę PCOS. Na podstawie danych zebranych od 541 kobiet z Kerali w Indiach, wykorzystano techniki uczenia maszynowego, takie jak CatBoost, aby stworzyć dwa modele diagnostyczne: dla pacjentek (opierający się wyłącznie na nieinwazyjnych danych, takich jak objawy i czynniki stylu życia) oraz dla klinicystów (z uwzględnieniem wyników badań laboratoryjnych). Modele te osiągnęły wysoką skuteczność diagnostyczną – od 81% do 90,1%, w zależności od zakresu wykorzystanych danych. Kluczowe dla diagnozy okazały się objawy takie jak trądzik, hirsutyzm, nieregularne cykle menstruacyjne oraz wyniki badań medycznych, w tym liczba pęcherzyków jajnikowych. Proponowane narzędzie może zrewolucjonizować proces diagnozowania PCOS, umożliwiając zarówno pacjentkom, jak i klinicystom dostęp do wygodnej, cyfrowej platformy diagnostycznej bez konieczności natychmiastowej wizyty w placówce medycznej (Zigarelli A. i in. 2022, s. 1-12).

Ponadto aplikacje AI mogą pomóc pracownikom służby zdrowia w dostosowywaniu planów leczenia na podstawie indywidualnych profili pacjentek. Dzięki temu można zwiększyć skuteczność interwencji mających na celu kontrolę objawów PCOS, takich jak hiperandrogenizm i nieregularne cykle menstruacyjne (Aversa A. i in. 2020, s. 1-8). Możliwość wykorzystania AI do profilowania hormonalnego stanowi znaczący postęp w proaktywnym leczeniu PCOS, ponieważ pozwala na bardziej zniuansowane zrozumienie fenotypowego zróżnicowania tego zaburzenia (Tsaliki K. 2024, s. 364-371). Analizując dane pacjentki, w tym historię medyczną, czynniki związane ze stylem życia i reakcje na leczenie, systemy AI mogą określić, które interwencje prawdopodobnie będą najskuteczniejsze dla poszczególnych pacjentek (Joham A. i in. 2016, s. 93-101). AI może również pomóc przewidzieć prawdopodobieństwo owulacji u kobiet poddawanych leczeniu niepłodności, umożliwiając lekarzom dostosowanie strategii na podstawie unikalnego profilu pacjentki (Jiskoot G. i in. 2017, s. 1-6).

Oprócz diagnostyki i leczenia, technologie AI są coraz częściej wykorzystywane w samodzielnym monitorowaniu objawów PCOS. Aplikacje cyfrowe w zakresie zdrowia oparte na AI mogą pomóc pacjentkom w śledzeniu objawów, cykli menstruacyjnych i wyborów dotyczących stylu życia, zapewniając informacje zwrotne w czasie rzeczywistym i zalecenia dotyczące zmian w stylu życia (Witchel S. i in. 2019, s. 1545-1573). Aplikacje te mogą analizować dane użytkowników, aby oferować spersonalizowane porady dotyczące diety, ćwiczeń i przestrzegania zaleceń dotyczących leków, które są kluczowymi elementami skutecznego

leczenia PCOS (Zhong P. i in. 2022, s. 45-50). Na przykład platformy oparte na AI mogą sugerować zmiany w diecie na podstawie indywidualnych reakcji metabolicznych, pomagając kobietom w zarządzaniu wagą i wrażliwością na insulinę, które często występują w PCOS (Alshdaifat E. i in. 2021, s. 1-8).

AI może również ułatwić opracowywanie nowych strategii terapeutycznych w PCOS. Wykorzystując duże zbiory danych z badań klinicznych i rejestrów pacjentów, sztuczna inteligencja może identyfikować potencjalne nowe cele leków i optymalizować istniejące protokoły leczenia (Jahan N. i in. 2015, s. 94-96). Na przykład algorytmy uczenia maszynowego mogą analizować skuteczność różnych leków w różnych podgrupach pacjentek, co prowadzi do skuteczniejszych i ukierunkowanych terapii w celu radzenia sobie z objawami, takimi jak insulinooporność i hiperandrogenizm (Rosenfield R. i Ehrmann D. 2016, s. 467-520).

Rola sztucznej inteligencji w leczeniu PCOS odzwierciedla się również w jej potencjale do poprawy zaangażowania i edukacji pacjentek. Chatboty oparte na sztucznej inteligencji i wirtualni asystenci zdrowia mogą dostarczać pacjentkom informacji o ich stanie, opcjach leczenia i strategiach samoleczenia. Narzędzia te mogą odpowiadać na typowe pytania, przypominać o lekach i wizytach, a nawet ułatwiać komunikację z pracownikami służby zdrowia, poprawiając tym samym ogólne wrażenia pacjentek. Zwiększone zaangażowanie pacjenta ma kluczowe znaczenie w leczeniu przewlekłych schorzeń, takich jak PCOS, w których zmiany stylu życia odgrywają znaczącą rolę w powodzeniu leczenia.

TELEMEDYCYNĄ JAKO NARZĘDZIE ZWIĘKSZAJĄCE DOSTĘPNOŚĆ OPIEKI ZDROWOTNEJ W PCOS

Telemedycyna odegrała również kluczową rolę w poprawie dostępu do usług opieki zdrowotnej dla kobiet z PCOS, szczególnie w regionach niedostatecznie skomunikowanych. Możliwość przeprowadzania zdalnych konsultacji odegrała zasadniczą rolę w przezwyciężaniu barier geograficznych, które często utrudniają terminową diagnozę i leczenie (Holbrey S. i Coulson N. 2013, s. 1-9). Kobiety mogą teraz kontaktować się z pracownikami służby zdrowia za pośrednictwem platform wirtualnych, co umożliwi regularne monitorowanie ich stanu i dostosowywanie schematów leczenia bez konieczności osobistych wizyt. Jest to szczególnie korzystne w przypadku leczenia przewlekłych schorzeń, takich jak PCOS, gdzie stałe wsparcie i monitorowanie są niezbędne do skutecznego leczenia. Ponadto telemedycyna ułatwia dostarczanie zasobów edukacyjnych i sieci

wsparcia, umożliwiając kobietom odgrywanie aktywnej roli w zarządzaniu swoim zdrowiem (Holbrey S. i Coulson N. 2013, s. 1-9).

Kobiety poszukujące leczenia niepłodności mogą skorzystać ze zdalnych konsultacji ze specjalistami, którzy mogą udzielić wskazówek dotyczących indukcji owulacji i wspomaganych technologii rozrodu (Jahan N. i in. 2015, s. 94-96). Możliwość przeprowadzania badań podstawowych i oceny ultrasonograficznej zdalnie została również zwiększona dzięki telemedycynie, co pozwala na terminową ocenę odpowiedzi jajników i rezerwy jajnikowej (Nagori C. 2012, s. 290-299). Jest to szczególnie ważne w kontekście PCOS, gdzie terminowa interwencja może znacząco wpłynąć na zdrowie reprodukcyjne (Jahan N. i in. 2015, s. 94-96).

Telemedycyna odgrywa również znaczącą rolę w rozwiązywaniu problemu niepłodności związanego z PCOS. Kobiety z tym schorzeniem często doświadczają oligoowulacji lub anowulacji, co może komplikować starania o poczęcie (Säll J. 2023, s. 1-13). Poprzez konsultacje telemedyczne endokrynolodzy rozrodu mogą udzielić wskazówek dotyczących terapii indukujących owulację, takich jak stosowanie cytrynianu kłomifenu lub letrozolu, i monitorować reakcje pacjentek na leczenie. To usprawnione podejście nie tylko zmniejsza obciążenie emocjonalne i finansowe związane z częstymi wizytami w klinice, ale także ułatwia terminowe skierowania do specjalistów ds. płodności, gdy jest to konieczne.

ZASTOSOWANIE APLIKACJI MOBILNYCH W MONITOROWANIU ZDROWIA PACJENEK Z PCOS

Technologie cyfrowe i telemedycyna odgrywają coraz większą rolę w monitorowaniu zdrowia reprodukcyjnego, szczególnie w kontekście zespołu policystycznych jajników (PCOS) i innych zaburzeń hormonalnych. Kobiety coraz częściej korzystają z narzędzi do śledzenia cyklu menstruacyjnego, takich jak aplikacje mobilne, testy hormonalne wykonywane w domu oraz urządzenia monitorujące temperaturę ciała (Stujenske T. i in. 2023, s. 1-8). Badania pokazują, że technologie te nie tylko pomagają w planowaniu rodziny, ale także wspierają diagnozowanie schorzeń, takich jak PCOS. Wśród najczęściej wykorzystywanych metod znajdują się testy hormonalne z moczu oraz aplikacje na smartfony, które pozwalają na bardziej precyzyjne monitorowanie cyklu i owulacji. Kobiety z PCOS, endometriozą czy problemami z płodnością zgłaszały, że technologie te były pomocne w diagnozie ich zaburzeń, co podkreśla znaczenie ich dalszej walidacji w kontekście wspierania zdrowia reprodukcyjnego. Większość użytkowników raportowała wysokie zadowolenie z korzystania z tych narzędzi,

co wskazuje na rosnący potencjał telemedycyny w obszarze zdrowia hormonalnego i reprodukcyjnego.

Aplikacje dotyczące zdrowia cyfrowego odgrywają kluczową rolę w umożliwieniu pacjentkom przejścia kontroli nad swoim zdrowiem. Zapewniając platformę do samokontroli, narzędzia te umożliwiają kobietom identyfikację wzorców i czynników wyzwalających związanych z ich objawami (Witchel S. i in. 2019, s. 1545-1573). Aplikacje mobilne mogą zapewniać również spersonalizowane informacje zwrotne i przypomnienia o przestrzeganiu zaleceń dotyczących przyjmowania leków, co usprawnia ogólne leczenie PCOS (Zhong P. i in., 2022, s. 45-50). Ponadto dane zebrane za pomocą tych aplikacji mogą być nieocenione dla lekarzy, ponieważ umożliwiają bardziej spersonalizowane podejście do leczenia w oparciu o indywidualny profil pacjentki (Zhong P. i in. 2022, s. 45-50).

WSPIERANIE ZDROWIA PSYCHICZNEGO PACJENTEK Z PCOS POPRZEZ TECHNOLOGIE CYFROWE

Psychologiczny wpływ PCOS jest głęboki, a wiele kobiet doświadcza lęku, depresji i izolacji społecznej z powodu objawów choroby (Teede H. i in. 2010, s. 3-8). Technologie cyfrowe, w tym internetowe grupy wsparcia i fora, stały się niezbędnymi zasobami dla kobiet poszukujących społeczności i zrozumienia. Platformy te zapewniają przestrzeń do dzielenia się doświadczeniami, strategiami radzenia sobie i wsparciem emocjonalnym, co może znacznie poprawić jakość życia osób dotkniętych PCOS (Holbrey S. i Coulson N. 2013, s. 1-9). Jakościowe badanie wsparcia online typu podkreśla pozytywne doświadczenia, jakie kobiety czerpią z uczestnictwa w takich społecznościach, podkreślając znaczenie wsparcia społecznego w radzeniu sobie z przewlekłymi schorzeniami (Holbrey S. i Coulson N. 2013, s. 1-9).

Wykazano, że integracja terapii poznawczo-behawioralnej (CBT) na platformach cyfrowych jest skuteczna w promowaniu utraty wagi i poprawie parametrów metabolicznych u kobiet z PCOS (Jahan N. i in. 2015, s. 94-96). Biorąc pod uwagę silny związek między otyłością a zaostrzeniem objawów PCOS, takie interwencje są kluczowe dla poprawy zarówno wyników fizycznych, jak i psychicznych (Rosenfield R. i Ehrmann D. 2016, s. 467-520). Zdalne dostarczanie tych programów zapewnia, że więcej kobiet może uzyskać dostęp do niezbędnego wsparcia i zasobów, niezależnie od ich lokalizacji geograficznej, tym samym rozwiązując dysproporcje w opiece.

Inicjatywy edukacyjne realizowane za pośrednictwem platform cyfrowych odgrywają również kluczową rolę w zwiększaniu świadomości i zrozumienia PCOS wśród pacjentek i pracowników służby zdrowia. Zasoby internetowe, webinaria i wirtualne grupy wsparcia mogą pomóc zdemistyfikować tę chorobę i zapewnić kobietom potrzebną wiedzę. Większa świadomość może prowadzić do wcześniejszej diagnozy i interwencji, co jest kluczowe dla złagodzenia długofalowych zagrożeń dla zdrowia związanych z PCOS, takich jak cukrzyca typu 2 i choroby układu krążenia. Poprzez wspieranie społeczności, technologie cyfrowe mogą również pomóc w zwalczaniu izolacji, której doświadcza wiele kobiet z PCOS.

Międzynarodowe wytyczne zalecają stosowanie kompleksowych interwencji behawioralnych, które wspierają samodzielne zarządzanie zdrowiem oraz poprawiają wyniki leczenia u pacjentek z PCOS. Technologia cyfrowa i telemedycyna oferują nowatorskie podejście w postaci interwencji internetowych, które mogą zaspokoić te potrzeby w sposób dostępny i skalowalny. Przykładem takiego rozwiązania jest program HOPE PCOS, który został dostosowany do potrzeb kobiet z PCOS poprzez analizę barier w samodzielnym zarządzaniu chorobą oraz dobrostanie psychicznym. Na podstawie wywiadów z pacjentkami oraz specjalistami, zidentyfikowano 32 modyfikowalne czynniki, które mogą wspierać lepsze zarządzanie PCOS. W rezultacie stworzono modułowy program obejmujący tematy takie jak zarządzanie stresem, obraz ciała, relacje interpersonalne oraz zdrowe nawyki żywieniowe. Program ten, integrujący elementy wsparcia psychologicznego oraz edukacji, ma na celu wzmocnienie samodzielności pacjentek, nie zastępując tradycyjnej opieki medycznej, lecz stanowiąc uzupełniające narzędzie wspierające proces leczenia (Percy C. i in. 2024, s. 1-6).

INTEGRACJA ROZWIĄZAŃ CYFROWYCH W DŁUGOTERMINOWEJ OPIECE NAD PACJENTKAMI Z PCOS

Wdrożenie technologii cyfrowych w praktyce klinicznej może poprawić ogólną jakość opieki nad kobietami z PCOS. Technologie cyfrowe ułatwiają prowadzenie inicjatyw edukacyjnych mających na celu zwiększenie świadomości i zrozumienia PCOS wśród pacjentek i pracowników służby zdrowia. Zasoby internetowe, webinaria i wirtualne grupy wsparcia mogą pomóc zrozumieć tą chorobę. Większa świadomość może prowadzić do wcześniejszej diagnozy i interwencji, co jest kluczowe dla złagodzenia długoterminowych zagrożeń dla zdrowia związanych

z PCOS, takich jak cukrzyca typu 2 i choroby układu krążenia. Kompleksowe wytyczne oparte na dowodach są niezbędne do wczesnej diagnozy i leczenia PCOS, a platformy cyfrowe mogą ułatwić rozpowszechnianie tych wytycznych wśród lekarzy i innych osób zaangażowanych w opiekę nad pacjentkami z PCOS (Teede H. i in. 2010, s. 3-8). Wykorzystując telemedycynę do edukowania lekarzy, psychoterapeutów i dietetyków na temat złożoności PCOS, w tym jego objawów psychologicznych i metabolicznych, można znacznie poprawić standard opieki (Teede H. i in. 2010, s. 3-8). To podejście oparte na współpracy zapewnia kobietom holistyczną opiekę, która uwzględnia wieloaspektową naturę PCOS.

Rola telemedycyny wykracza poza zdrowie reprodukcyjne, obejmując leczenie powikłań metabolicznych jony związane z PCOS. Kobiety z PCOS są bardziej narażone na rozwój insulinooporności, cukrzycy typu 2 i chorób sercowo-naczyniowych (Barthelmess E. i Naz R. 2014, s. 104-119). Cyfrowe interwencje zdrowotne, w tym zdalne monitorowanie parametrów metabolicznych i telekonsultacje z endokrynologami, mogą ułatwić wczesne wykrywanie i leczenie tych powikłań (Rojas J. i in. 2014, s. 1-17). Poprzez integrację telemedycyny z rutynową opieką, dostawcy opieki zdrowotnej mogą zapewnić, że kobiety z PCOS otrzymają terminowe interwencje, które zajmą się zarówno ich potrzebami w zakresie zdrowia reprodukcyjnego, jak i metabolicznego.

Badania wykazały, że usługi telemedyczne mogą prowadzić do poprawy satysfakcji pacjentów i przestrzegania planów leczenia, co jest niezbędne do radzenia sobie z przewlekłymi schorzeniami, takimi jak PCOS (Joham A. i in. 2016, s. 93-101). Telemedycyna i technologie zdrowia cyfrowego usprawnia również dostarczanie informacji i psychoterapii. Zapewnia to wsparcie, którego pacjentki potrzebują, aby wprowadzić trwałe zmiany (Alshdaifat E. i in., 2021, s. 1-8). Badania wskazują, że takie interwencje mogą prowadzić do znacznej poprawy w zakresie kontroli masy ciała, *parametrów metabolicznych* i dobrego samopoczucia psychicznego u kobiet z PCOS (Jahan N. i in. 2015, s. 94-96). Elastyczność platform cyfrowych umożliwia ciągłe zaangażowanie i wsparcie, których często brakuje w tradycyjnych placówkach opieki zdrowotnej (Rosenfield R. i Ehrmann D. 2016, s. 467-520).

Integracja opartego na sztucznej inteligencji profilowania hormonalnego, telekonsultacji i aplikacji cyfrowych w zakresie zdrowia pozwala kobietom wziąć odpowiedzialność za swoje zdrowie i sprzyja podejściu opartemu na współpracy w radzeniu sobie z tym złożonym schorzeniem. Ciągły rozwój i wdrażanie tych technologii będzie miał kluczowe znaczenie dla poprawy stanu zdrowia u kobiet z PCOS.

WNIOSKI

Technologie cyfrowe i telemedycyna zmieniły podejście do leczenia zespołu policystycznych jajników (PCOS), ułatwiając diagnozowanie, monitorowanie oraz personalizację leczenia. Wykorzystanie sztucznej inteligencji (AI) do profilowania hormonalnego pozwala na wczesną interwencję i lepsze dostosowanie terapii, co poprawia skuteczność leczenia. Telemedycyna z kolei zwiększa dostęp do opieki zdrowotnej, szczególnie w regionach o ograniczonym dostępie do specjalistów, umożliwiając zdalne konsultacje, monitorowanie stanu pacjentek oraz dostarczanie edukacyjnych zasobów

Cyfrowe narzędzia wspierają nie tylko zdrowie fizyczne, ale również psychiczne, zapewniając dostęp do grup wsparcia online, co ma pozytywny wpływ na samopoczucie kobiet z PCOS. Aplikacje mobilne pomagają monitorować cykle menstruacyjne, nawyki żywieniowe i aktywność fizyczną, wspierając zmiany stylu życia niezbędne w leczeniu PCOS. Telemedycyna wspiera także zdrowie reprodukcyjne, oferując zdalne konsultacje dotyczące problemów z płodnością i zaburzeń metabolicznych, które często towarzyszą PCOS. W przyszłości dalszy rozwój i integracja tych technologii będą kluczowe dla poprawy opieki nad kobietami z PCOS, zapewniając spersonalizowane, kompleksowe wsparcie.

PODSUMOWANIE

Technologie cyfrowe i telemedycyna znacząco zmieniają podejście do leczenia zespołu policystycznych jajników (PCOS), przynosząc korzyści w wielu aspektach zarządzania tym schorzeniem. Integracja sztucznej inteligencji pozwala na bardziej precyzyjną diagnozę i personalizację terapii, co jest kluczowe w leczeniu złożonych zaburzeń hormonalnych charakterystycznych dla PCOS. Telemedycyna z kolei poprawia dostęp do opieki zdrowotnej, zwłaszcza w regionach o ograniczonym dostępie do specjalistów, umożliwiając regularne monitorowanie stanu pacjentek bez konieczności wizyt osobistych. Ponadto technologie te wspierają zarówno zdrowie psychiczne, jak i zarządzanie stylem życia, oferując narzędzia, które pomagają pacjentkom w codziennym monitorowaniu swojego stanu zdrowia. Wprowadzenie tych rozwiązań do praktyki klinicznej znacząco poprawia jakość opieki nad kobietami z PCOS, oferując bardziej zintegrowane i skuteczne podejście do leczenia.

BIBLIOGRAFIA

- Alshdaifat E., Sindiani A., Amarin Z., Absy N., AlOsta N., Abuhayyeh H., Alwani M.
2021 Awareness of polycystic ovary syndrome: a university students' perspective. *Annals of Medicine and Surgery*, 72.
- Aversa A., Vignera S., Rago R., Gambineri A., Nappi R., Calogero Ferlin A.
2020 Fundamental concepts and novel aspects of polycystic ovarian syndrome: expert consensus resolutions. *Frontiers in Endocrinology*, 11.
- Azziz R., Carmina E., Chen Z., Dunaif A., Laven J., Legro R., Yildiz B.
2016 Polycystic ovary syndrome. *Nature Reviews Disease Primers*, 2(1).
- Barthelmess E. and Naz R.
2014 Polycystic ovary syndrome current status and future perspective. *Frontiers in Bioscience-Elite*, E6(1).
- Holbrey S. and Coulson N.
2013 A qualitative investigation of the impact of peer to peer online support for women living with polycystic ovary syndrome. *BMC Women S Health*, 13(1).
- Jahan N., Yasmeen B., Parvin M., Akhter S. & Yeasmin S.
2015 Use of clomiphene for infertility in the polycystic ovary syndrome. *Northern International Medical College Journal*, 7(1).
- Jiskoot G., Benneheij S., Beerthuisen A., Niet J., Klerk C., Timman R., Laven J.
2017 A three-component cognitive behavioural lifestyle program for pre-conceptional weight-loss in women with polycystic ovary syndrome (pcos): a protocol for a randomized controlled trial. *Reproductive Health*, 14(1).
- Joham A., Palomba S., Hart R.
2016 Polycystic ovary syndrome, obesity, and pregnancy. *Seminars in Reproductive Medicine*, 34(02).
- Maamoun M.
2022 Therapeutic effect of quercetin in letrozole induced polycystic ovary syndrome in rat model. *The Medical Journal of Cairo University*, 90(12).

Nagori C.

2012 Baseline scan and ultrasound diagnosis of pcos. *Donald School Journal of Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 6(3).

Rojas J., Chávez-Castillo M., Olivar L., Rojas M., Morillo J., Mejías J, Bermúdez V.

2014 Polycystic ovary syndrome, insulin resistance, and obesity: navigating the pathophysiologic labyrinth. *International Journal of Reproductive Medicine*.

Rosenfield R. L. and Ehrmann D. A.

2016 The pathogenesis of polycystic ovary syndrome (pcos): the hypothesis of pcos as functional ovarian hyperandrogenism revisited. *Endocrine Reviews*, 37(5).

Teede H., Deeks A. & Moran L.

2010 Polycystic ovary syndrome: a complex condition with psychological, reproductive and metabolic manifestations that impacts on health across the lifespan. *BMC Medicine*, 8(1).

Tsaliki K.

2024 Ai-driven hormonal profiling: a game-changer in polycystic ovary syndrome prevention. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(5).

Percy C., Turner A., Orr C.

2024 Developing a Novel Web-Based Self-Management Support Intervention for Polycystic Ovary Syndrome: Mixed Methods Study With Patients and Health Care Professionals. *JMIR Form Res*.

Säll J.

2023 Salt-inducible kinases are required for glucose uptake and insulin signaling in human adipocytes. *Obesity*, 31(10).

Stujenske T., Mu Q., Pérez Capotosto M., Bouchard T. P.

2023 Survey Analysis of Quantitative and Qualitative Menstrual Cycle Tracking Technologies. *Medicina (Kaunas)*.

Witchel S., Oberfield S. & Peña A.

2019 Polycystic ovary syndrome: pathophysiology, presentation, and treatment with emphasis on adolescent girls. *Journal of the Endocrine Society*, 3(8).

Zhong P., Guan B., Lin Y., Zhang S.

2022 Changes in inflammatory factors, oxidative stress, glucose and lipid metabolism, and insulin resistance in patients with polycystic ovary syndrome. *Cellular and Molecular Biology*, 67(5).

Zigarelli A., Jia Z., Lee H.

2022 Machine-Aided Self-diagnostic Prediction Models for Polycystic Ovary Syndrome: Observational Study. *JMIR Form Res*.

THE ROLE OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND TELEMEDICINE IN MANAGING POLYCYSTIC OVARY SYNDROME

Abstract: Digital technologies and telemedicine increasingly control in the management of PCOS policies, a universal endocrine system that affects women of reproductive age. Artificial intelligence (AI) has revolutionized the diagnosis and treatment of PCOS through hormonal profiling, which allows early application and single therapies. Telemedicine additional access to the motherboard, main in regions with low access to specialists, connected to remote checks and constant access to the patient's condition. These technologies also support mental health and lifestyle, applications for monitoring the menstrual cycle, related to nutrition and physical activity. Integration of these devices in the care of PCOS not only ensures the quality of life of the patient, but also provides access to results that are common reproductive aspects, as well as metabolic.

Keywords: polycystic ovary syndrome, telemedicine, digital technologies

ROZWÓJ SEKTORA ATOMOWEGO W POLSCE – SZANSE I ZAGROŻENIA. WYBRANE ZAGADNIENIA

Streszczenie: Celem niniejszego tekstu jest przedstawienie najważniejszych aspektów legislacyjnego oraz gospodarczego i społecznego rozwoju sektora atomowego w Polsce. W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie politycznymi, gospodarczymi oraz prawnymi implikacjami prawa atomowego. Na uczelniach pojawiają się kierunki kształcące w powiązanych dziedzinach, a sama idea powstania elektrowni atomowej w Polsce cieszy się dużym poparciem osób o różnych światopoglądach. Należy zauważyć, że przyspieszenie inwestycji stanie się możliwe po wprowadzeniu nowych rozwiązań w zakresie legislacji, a także kształcenia oraz polityki państwa. W tym aspekcie Polska powinna wzorować się na licznych dostępnych przykładach organizacyjnych czy prawnych od wielu lat stosowanych na zachodzie Europy. Warto zwrócić także uwagę na liczne, niewiążące wprowadzić, ale powszechnie stosowane, standardy czy dobre praktyki w zakresie m.in. bezpieczeństwa atomowego.

Słowa kluczowe: prawo atomowe, bezpieczeństwo, softlaw

WPROWADZENIE

Prawo Atomowe weszło w życie już w I połowie lat 80 XX wieku, porządkując nieuregulowany dotąd w dostatecznym zakresie i rozproszony w kilkudziesięciu aktach prawnych wycinek działalności człowieka¹. W kolejnych latach ustawa była wielokrotnie nowelizowana. Do momentu powstania niniejszego artykułu Prawo Atomowe nie stało się jednak przedmiotem poważniejszych dyskusji

¹ Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 r. - Prawo atomowe (Dz.U. 1986 nr 12 poz. 70).

w doktrynie, co udowadnia chociażby brak aktualnego komentarza do tej ustawy. W związku z niewielką dotychczasową użytecznością gospodarczą zjawiska przemian jądrowych i innych objętych przedmiotowym zakresem Prawa Atomowego zjawisk, regulacja ta nie doczekała się dotychczas omówienia w judykaturze². Należy jednak zauważyć, że samo zagadnienie przemysłowego lub innego niż przemysłowe wykorzystywania energii jądrowej zaczyna cieszyć się coraz większą popularnością, nie tylko w naukach ścisłych i matematycznych, ale także w naukach socjologicznych, historycznych lub prawnych. W przestrzeni publicznej pojawia się coraz więcej treści zarówno naukowych, jak i popularno-naukowych opisujących tę tematykę³. W środkach masowego przekazu oraz mediach społecznościowych odnaleźć można liczne reportaże, blogi lub inne formy informacji. Na polskich uczelniach, jak na przykład na Politechnice Poznańskiej lub w Szkole Głównej Handlowej, powstają kierunki mające wykształcić specjalistów w tej dziedzinie⁴. Wzrasta również społeczne poparcie dla inwestycji w tym obszarze, nawet gdyby oznaczały one ponoszenie przez obywateli dużych kosztów, zarówno w wymiarze finansowania inwestycji, jak i ryzyka katastrof naturalnych⁵. W raportach organizacji o charakterze międzynarodowym oraz krajowym przewiduje się skokowy wzrost zastosowań energetyki jądrowej w życiu codziennym⁶. Podobnie jest w wielu innych krajach Europy. W polskim krajobrazie gospodarczym pojawia się coraz więcej inicjatyw prywatnych mających na celu wspieranie przedsięwzięć związanych z rozwojem energetyki jądrowej w Polsce. Zainteresowanie zjawiskami o charakterze jądrowym wzrosło również w sektorze obronnym oraz Siłach Zbrojnych RP. Przyczyniło się do tego niewątpliwie rozpoczęcie przez Federację Rosyjską w lutym 2022 r. wojny z Ukrainą, a także stosowanie przez rosyjskich urzędników różnej rangi na czele z prezydentem Władimirem Putinem gróźb użycia taktycznej broni jądrowej⁷. Nie bez znaczenia jest zdaniem autora również wciąż wzrastające ryzyko proliferacji broni jądrowej. Oznacza ono zdobycie takiego rodzaju broni przez kraje do tej pory go nie posiadające⁸.

² zob. orzecznictwo do Prawa Atomowego Lex i Legalis.

³ zob. np. <https://www.youtube.com/watch?v=7LktMG6rw34> [dostęp: 19.09.2024 r.].

⁴ <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/9395507,boom-na-energetyce-jadrowa-na-polskich-uczelniach-potrzebujemy-tysiec.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

⁵ <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuly/8602827,poparcie-spoeczne-elektrownia-atomowa-w-polsce-cbos.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

⁶ <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2003/07/MITEI-The-Future-of-Nuclear-Power.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].

⁷ <https://polskieradio24.pl/artykul/3347340,rosja-grozby-uzycia-broni-jadrowej-na-ile-sa-realne-analiza-isw> [dostęp: 19.09.2024 r.].

⁸ https://www.bbn.gov.pl/download/1/8600/2149_stanislaw_koziej.pdf, s. 40 [dostęp: 19.09.2024 r.].

W niniejszym przedstawione zostaną najważniejsze determinanty rozwoju sektora atomowego w Polsce oraz największe zagrożenia dla jego rozwoju. W dalszej części autor opíše najważniejsze postulaty zmian prawnych, będące przedmiotem rozważania przez doktrynę. Omówi także wybrane standardy międzynarodowe w tym zakresie, które pomimo, że nie wiążą żadnych podmiotów, są powszechnie przestrzegane i stanowią punkt odniesienia dla prowadzących taką działalność.

NAJWAŻNIEJSZE DETERMINANTY ROZWOJU PRAWA ATOMOWEGO W POLSCE

Rozwój energetyki atomowej w Polsce już od kilku dekad był przedmiotem ożywionej debaty publicznej⁹. Spory udział miały w niej, niestety, stereotypy, mity czy strach. Wiele osób znało z własnych wspomnień lub z opowiadań bliskich katastrofę w Czarnobylu. W związku z tym często opowiadano się przeciwko wykorzystywaniu energetyki atomowej w Polsce, przywołując jako argument skutki awarii mających dotychczas miejsce w tego typu obiektach w różnych krajach¹⁰. Pogląd ten na przestrzeni lat znacznie ewoluował. Należy zauważyć, że obecnie zdecydowanie większa liczba osób opowiada się za budową elektrowni atomowej, powstają wręcz ruchy społeczne, których celem jest popieranie budowy dużych projektów infrastrukturalnych, w tym elektrowni atomowych. W sondażu Centrum Badania Opinii Społecznej z grudnia 2022 roku budowę elektrowni atomowej w Polsce popierało 75 % ankietowanych. Wśród pozostałych ankietowanych 13 % sprzeciwiało się, a 12% nie miało w tej kwestii zdania. Dla porównania, nieco ponad rok wcześniej, bo w maju 2021 roku, budowę elektrowni atomowej w Polsce popierało tylko 39% badanych. Zdaniem przeprowadzających sondaż głównym powodem tak znacznego wzrostu poparcia dla powstawania tego rodzaju infrastruktury w Polsce był wzrost cen energii oraz paliw, spowodowany rozpoczęciem pełnoskalowego konfliktu zbrojnego w Ukrainie¹¹. W opinii autora jednym z najważniejszych zadań władz publicznych jest utrzymywanie wysokiego poparcia dla rozwoju tego rodzaju projektów. Państwo polskie, w tym funkcjonujące w ramach niego jednostki organizacyjne, posiadają

⁹ <https://www.euractiv.pl/section/energia-i-srodowisko/news/atom-energetyka-jadrowa-polska-niemcy-unia-europejska-taksonomia-francja-macron-klimat-emisje-oze/> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹⁰ <https://historia.dorzeczy.pl/historia-wspolczesna/432520/czarnobyl-technologie-jadrowe-wczoraj-i-dzis-jak-postrzega-sie-atom.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹¹ <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/elektrownia-atomowa-w-polsce-sondaz-poparcia-dla-inwestycji/hktbhel> [dostęp: 19.09.2024 r.].

szereg możliwości promowania poszczególnych postaw i zachowań społecznych. W poszczególnych ministerstwach, w szczególności w Ministerstwie Klimatu oraz Ministerstwie Rozwoju i Technologii, z myślą o takich właśnie działaniach zostały nawet zabezpieczone odpowiednie środki finansowe¹².

Spore wątpliwości wśród sceptyków budzą już duże pierwotne koszty budowy elektrowni atomowych. Należy bowiem zauważyć, że często w przypadku tego rodzaju projektów dość szybkiej dezaktualizacji ulegają założenia wykonawcy dotyczące czasu, w którym dana infrastruktura zostanie oddana do użytku, a także kosztów wykonania obiektu. Wysokie nakłady na budowę elektrowni atomowych wynikają z bardzo restrykcyjnych wymagań w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w państwach Unii Europejskiej. Do tego dochodzą także koszty finansowania i ryzyka inwestycyjnego¹³. Aktualnie toczą się prace badawcze mające na celu zmniejszenie pierwotnych kosztów budowy tego typu obiektów¹⁴. Warto jednak zauważyć, iż zdaniem badaczy omawiane tu inwestycje są opłacalne. Oznaczają one bowiem daleko niższe niż w przypadku elektrowni węglowych czy gazowych koszty pozyskiwania energii, a także eksploatacji. Do potencjalnego zysku w przypadku budowy takiej infrastruktury w Polsce bez wątplenia należy również znacząco niższe ryzyko przerw w dostawie energii elektrycznej do gospodarstw domowych oraz przedsiębiorców - straty w przypadku takiej przerwy, trwającej nawet kilkadziesiąt godzin, mogłyby sięgać nawet kilkadziesiąt milionów złotych^{15 16}.

Pozyskiwanie energii z atomu może być także sposobem na sprostanie wymaganiom Unii Europejskiej (dalej: UE) w zakresie dążenia do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery przy jednoczesnym zapewnieniu obywatelom bezpieczeństwa energetycznego. Należy bowiem zauważyć, że wstępując do UE Polska zobowiązała się do przestrzegania jej prawa, także w zakresie regulacji mających na celu doprowadzenie do neutralności klimatycznej. Dla przykładu, rozporządzenie UE 2021/1119 (tj. tzw. Europejskie Prawo o Klimacie) ustala ramy służące osiągnięciu neutralności klimatycznej w Unii Europejskiej do 2050 roku. Już w 2003 roku zaczęła obowiązywać Dyrektywa 2003/87/WE, ustanawiająca

¹² <https://www.gov.pl/web/klimat/departament-edukacji-i-komunikacji> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹³ <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/energy-and-resources/articles/atom-in-action/Wyzwania-i-potencjal-reaktorow-SMR-w-transformacji-energetycznej.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹⁴ zob. np. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243512030458X> [dostęp 19.09.2024 r.].

¹⁵ <https://finanse-w-energetyce.cire.pl/pliki/2/analizaoplacalnoscibudowyelektrownijadrowejwpolsce.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹⁶ <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/energy-and-resources/articles/atom-in-action/koszty-wdrozenia-energetyki-jadrowej.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych w UE. Mające na celu przeciwdziałanie zmianie klimatu i zmierzające do ograniczania emisji gazów cieplarnianych rozporządzenie wprowadza mechanizm de facto opłat za nadmiarową emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Początkowo tzw. system ETS dotyczył elektrowni, a także niektórych sektorów przemysłu. Kolejne etapy systemu stopniowo obejmowały i będą obejmować inne branże. Dla przykładu, w czwartym etapie przewidzianym na lata 2021-2030 system ETS obejmie także budynki, transport drogowy i paliwa. Należy zauważyć, że uprawnienia do handlu emisjami są sprzedawane na aukcji i podlegają, co najmniej częściowo, prawom rynkowym. Co za tym idzie, koszt pozyskiwania energii ze źródeł nieodnawialnych będzie sukcesywnie wzrastał¹⁷. Zdaniem autora informowanie społeczeństwa o powyższych uwarunkowaniach w znaczny sposób przyczyniło się zarówno do wzrostu zainteresowania tematem, jak i poparcia dla wprowadzenia energii jądrowej do gospodarki.

Należy zauważyć, że tak zwane odnawialne źródła energii cechują się niestałą dostępnością. Po eliminacji z polskiego mixu energetycznego elektrowni węglowych z systemu znikną tak zwane stabilizatory systemu. Jednym ze wskazywanych przez ekspertów rozwiązań tego problemu jest zastąpienie elektrowni węglowych przez elektrownie atomowe¹⁸.

Oczywistą zarówno dla prawników, jak i dla ogółu społeczeństwa jest potrzeba reglamentowania pewnych rodzajów działalności gospodarczej, chociażby ze względu na potrzebę specjalistycznych umiejętności czy zasobów u osoby, która prowadzi dany rodzaj działalności. Jeden ze szczególnie reglamentowanych sektorów to energetyka atomowa (Hauser, Niewiadomski i Wróbel 2003, s. 378). Sam proces uzyskania pozwolenia na budowę elektrowni atomowej w Polsce jest niezwykle skomplikowany oraz - co ważniejsze dla inwestora - czasochłonny¹⁹. W związku z tym autor niniejszego artykułu poruszy jedynie wybrane aspekty procesu inwestycyjnego.

Jedną z pierwszych decyzji, o którą powinien wnioskować inwestor, jest „decyzja zasadnicza”. Wnioskodawca zwraca się o nią, po uiszczeniu 200 000 zł opłaty, do ministra właściwego do spraw gospodarki surowcami energetycznymi.

¹⁷ <https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/summary/european-climate-law.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹⁸ <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/9338707,henning-kloska-atom-powinien-byc-stabilizatorem-polskiego-systemu-energetycznego-obok-wiatru-i-slonca.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

¹⁹ <https://spidersweb.pl/2024/09/ponad-60-mld-zl-na-polska-elektrownie-atomowa.html#:~:text=Nie%20tak%20szybko.%20Budowa%20elektrowni%20j%C4%85drowej%20to%20bardzo,mogli%20odczu%C4%87%20dopiero%20za%20kilka%20lub%20kilka%20na%C5%9Bcie%20lat> [dostęp: 19.09.2024 r.].

Minister wydaje decyzję po zasięgnięciu opinii Szefa Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego w zakresie wpływu inwestycji na bezpieczeństwo państwa, ministra właściwego do spraw środowiska w zakresie wpływu inwestycji na politykę surowcową państwa, ministra właściwego do spraw aktywów państwowych w zakresie wpływu inwestycji na aktywa państwowe oraz ministra właściwego do spraw energii w zakresie wpływu inwestycji na politykę energetyczną państwa²⁰. Jak pokazują już pierwsze postępowania w tej sprawie, nie jest to jedynie formalność. W postępowaniu z udziałem spółki Orlen Synthos Green Energy Szef ABW wydał opinię negatywną, powołując się w niej na niewłaściwe zabezpieczenie interesów państwa. Zdaniem jedyne, obok koncernu Orlen udziałowca w spółce, Michała Sołowowa, o wydaniu w tym przypadku decyzji negatywnej przesądziły motywy natury politycznej, nie merytorycznej. Opinia wymienionych wyżej podmiotów (m. in. ABW) ma charakter doradczy. W związku z tym nie przeszkodziła ona w uzyskaniu pozytywnej decyzji zasadniczej dla spółki Orlen Synthos Green Energy. Wydłużyło natomiast czas oczekiwania na jej wydanie^{21 22}.

Następnie konieczne jest wydanie przez właściwego miejscowo wojewodę decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji w zakresie budowy obiektu energetyki jądrowej. Sam wniosek zawiera aż 17 opinii różnych organów, a rozpatrywany jest dopiero po wniesieniu na rachunek bankowy właściwej miejscowo gminy opłaty 100 000 zł^{23 24}.

Powyżej opisane zostały w niezwykle lakoniczny sposób jedynie dwa, zdaniem autora najciekawsze, etapy procesu inwestycyjnego. Miało to na celu uzmysłowić czytelnikowi złożoność procesu inwestycyjnego, a także ilość problemów natury prawnej oraz administracyjnej, które potencjalny inwestor musi pokonać. Otrzymanie wszystkich niezbędnych do rozpoczęcia budowy pozwoleń, decyzji czy opinii trwa średnio ponad 3 lata. Należy zauważyć, że do ryzyk natury prawnej w obszarze prawa atomowego należy dodać generalną niestabilność prawa oraz długi czas realizacji prawa do sądu w Polsce²⁵.

²⁰ Ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2011 nr 135 poz. 789).

²¹ <https://www.money.pl/gospodarka/tu-chodzi-o-jednego-czlowieka-michal-solowow-o-decyzji-abw-7000907543153184a.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

²² <https://www.forbes.pl/gospodarka/najbogatszy-polak-nie-odpuszcza-atomu-michal-solowow-komentuje-decyzje-abw-o-smr/4ytm4m9> [dostęp: 19.09.2024 r.].

²³ Ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2011 nr 135 poz. 789).

²⁴ <https://ruj.uj.edu.pl/server/api/core/bitstreams/bdd88c7a-a625-4ffd-a02c-8017824bff5d/content> [dostęp: 19.09.2024 r.].

²⁵ zob. file:///C:/Users/jakub/Downloads/02_Metrak.pdf [dostęp: 19.09.2024 r.].

Trzeba w tym miejscu poczynić generalną uwagę, że w wielu jurysdykcjach poza Unią Europejską proces pozyskiwania niezbędnych pozwoleń trwa o ponad połowę krócej i jest wolny od tak wysokich, w stosunku do innych opłat administracyjnych w danym kraju, należności. Autor ma tu na myśli, nie tylko charakteryzujące się inną aksjologią kraje azjatyckie, ale również bliższe kulturowo państwa, takie jak Stany Zjednoczone Ameryki Północnej²⁶.

Należy również zauważyć, że ryzyka o charakterze prawnym czy administracyjnym nie są jedynymi ryzykami, na które narażony jest inwestor, jednocześnie będąc jednym z nielicznych, na które państwo, w którym powstaje tego typu infrastruktura, ma wpływ.

Niezwykle ważne w obszarze energetyki jądrowej jest również pozyskiwanie kadr. Infrastruktura tego typu musi być bowiem obsługiwana przez specjalistycznie wykształcony personel. Kształcenie na kierunku „Energetyka Jądrowa” prowadzi obecnie ponad 8 uczelni, w tym m.in. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Politechnika Warszawska, Politechnika Wrocławska. Do eksploatacji elektrowni atomowych, jak zauważa Paweł Gajda z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, potrzebni są nie tylko inżynierowie, ale wielu różnych specjalistów, chociażby w dziedzinach budownictwa, energetyki, mechaniki czy automatyki. Specjalistów tych należy wykształcić jeszcze przed etapem eksploatacji²⁷. Trzeba również dodać, że wyzwaniem może być nie tylko samo pozyskanie specjalistów, ale również utrzymanie ich w sektorze publicznym, czy w ogóle na polskim rynku pracy. Doświadczenia z podobnych sektorów pokazują, że aktywna polityka państwa w tym aspekcie jest w stanie przyczynić się do rozwiązania tego problemu. Autor ma tu na myśli chociażby stworzenie rynkowego wskaźnika wynagrodzeń dla kluczowych pracowników, wynikającego z przepisu, nie z arbitralnej oceny decydentów. Ponadto zdaniem autora należałoby stworzyć jasną ścieżkę rozwoju oraz awansu dla pracowników.

Dobrym przykładem tego rodzaju działania państwa jest polityka w zakresie zwiększania liczebności Sił Zbrojnych RP, także jeśli chodzi o nabór deficytowych na wolnym rynku specjalistów: w całym kraju przeprowadzono szeroką promocję służby wojskowej, wskazując korzyści płynące ze służby wojskowej nie tylko dla samego żołnierza, ale także dla jego rodziny; podniesiono również

²⁶ <https://web.mit.edu/12.000/www/m2018/pdfs/japan/small.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].

²⁷ <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/9395507,boom-na-energetyke-jadrowa-na-pol-skich-uczelniach-potrzebujemy-tysiec.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

wynagrodzenia oraz dodatki dla specjalistów. Działania te przyniosły efekt w postaci przekroczenia przewidywanych limitów rekrutacji do wojska²⁸.

NAJWAŻNIEJSZE POSTULATY ZMIAN PRAWNYCH W DOKTRYNIE

Ustawa Prawo Atomowe weszła w życie 29 listopada 2000 roku. Pomimo jedenastu nowelizacji jest ona zdaniem autora dość mocno przestarzała. Sama technologia, której zakres przedmiotowy reguluje niniejszy akt prawny nie zmieniła się w dużym stopniu. Zmieniło się natomiast znacznie otoczenie gospodarcze, a także regulacyjne. Polityka Unii Europejskiej w zakresie klimatu, w szczególności system handlu emisjami (ETS), a także przyjęcie o wiele bardziej ambitnych założeń w zakresie dążenia do neutralności klimatycznej sprawiło, że poszczególne państwa są zmuszone do rewizji dotychczasowych założeń.

Jednym z proponowanych przez ekspertów rozwiązań jest budowa tzw. małych reaktorów modułowych (Small Modular Reactor – SMR). Ich specyficzna konstrukcja (modularność) umożliwia szybszą budowę i ułatwia eksploatację. Niestety, w polskim systemie prawnym nie wyróżnia się w żaden sposób SMR. Podlegają one temu samemu co duże elektrownie atomowe reżimowi prawnemu w procesie inwestycyjnym oraz uzyskiwania zgód i pozwoleń. Jak słusznie zauważa się w doktrynie, dla przyspieszenia rozwoju SMR w Polsce potrzebne jest spójne opracowanie wytycznych dotyczących procesu inwestycyjnego oraz uzyskiwania zgód i pozwoleń, najlepiej na poziomie ponadnarodowym²⁹.

Należy zauważyć, że w przeszłości państwo kreowało wytwarzanie energii w morskich farmach wiatrowych czy pozyskiwanie jej z odnawialnych źródeł energii. Przykładem tego typu działań jest chociażby pomoc inwestycyjna, o której mowa w ustawie o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych, udzielana inwestorom chcącym inwestować w morskie farmy wiatrowe³⁰. Zdaniem autora należałoby rozważyć wprowadzenie podobnych przepisów w przypadku podmiotów chcących inwestować w tradycyjne elektrownie atomowe lub SMR. Jak zauważono już we wcześniejszej części artykułu inwestycja ta wiąże się nie tylko z dużymi kosztami, co najczęściej oznacza

²⁸ <https://i.pl/limit-powolan-do-wojska-w-gore-rzad-nowelizuje-przepisy-co-zrobic-by-zostac-zolnierzem-i-jak-wyglada-rekrutacja-do-wojska/ar/c1-18575621> [dostęp: 19.09.2024 r.].

²⁹ <https://kpmg.com/pl/pl/home/media/press-releases/2023/05/media-press-czy-male-modulowe-reaktory-jadrowe-sa-przyszloscia-energetyki.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

³⁰ Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych (Dz.U. 2021 poz. 234).

potrzebę pozyskania finansowania dłużnego, ale również dużym ryzykiem, które może znacznie utrudnić pozyskanie takiego finansowania. Jednocześnie państwo posiada narzędzia, by ułatwić finansowanie tego rodzaju projektów, chociażby za pomocą należących do państwa osób prawnych, takich jak Bank Gospodarstwa Krajowego czy państwowe zakłady budżetowe.

Obecnie istniejące przepisy Prawa Atomowego stosowane były do tej pory jedynie w medycynie lub w stosunku do obiektów o charakterze naukowo-badawczym. W samym akcie prawnym brakuje jednak nawet definicji legalnej elektrowni atomowej. W polskim porządku prawnym istnieje wiele luk na styku prawa atomowego, prawa ochrony środowiska, prawa budowlanego i prawa energetycznego. W publicystyce zwraca się również uwagę na brak uporządkowanych i jasnych procedur dotyczących zdarzeń radiacyjnych, mogących mieć wpływ na ludność i środowisko³¹. Zmianie powinny ulec również przepisy dotyczące zarządzania kryzysowego w przypadku wystąpienia tego rodzaju zdarzeń. Charakterystyczną cechą polskiego systemu zarządzania kryzysowego, co widać szczególnie na przykładzie tragicznej w skutkach powodzi we wrześniu 2024 roku, jest brak spójnego systemu ostrzegania, alarmowania ludności, a także ewakuacji w przypadku wystąpienia poszczególnych zdarzeń³². Należy zauważyć, że w tym przypadku do cywilnego systemu, dochodzi system wojskowy, funkcjonujący na podstawie odrębnych i częściowo objętych klauzulą tajności przepisów. W doktrynie podkreśla się, że istnieje kilka częściowo od siebie niezależnych ośrodków decyzyjnych w kwestii zarówno normalnej, „codziennej” eksploatacji elektrowni atomowych, jak i występowania zjawisk o charakterze nadzwyczajnym. Podział kompetencji pomiędzy ministra właściwego do spraw gospodarki oraz Prezesa Polskiej Agencji Atomistyki jest klarowny tylko w przypadku stosowania go do wykorzystania energii do celów naukowych. Podział obowiązków staje się mniej jasny w odniesieniu do przemysłowego wykorzystywania energii jądrowej. Podkreśla się, że istotne jest rozdzielenie funkcji dozoru jądrowego od promocji energetyki atomowej i stanowienia przepisów prawa w zakresie atomistyki³³.

W momencie pisania tego artykułu w Polsce nadal brakuje prawnych ram działania Obrony Cywilnej. Przepisy dotychczas regulujące tę tematykę zostały uchylone wraz z wejściem w życie ustawy o Obronie Ojczyzny uchylającej

³¹ <https://www.chwp.pl/nasze-publicacje/prawo-atomowe-do-zmiany/> [dostęp: 19.09.2024 r.].

³² <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/nik-o-zarzadzaniu-kryzysowym.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

³³ [file:///C:/Users/jakub/Downloads/ek_prj2012no4_1_Latek%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/jakub/Downloads/ek_prj2012no4_1_Latek%20(2).pdf) [dostęp: 19.09.2024 r.].

przeszło 14 innych ustaw. Pomimo zapowiedzi uchwalenia niezwłocznie aktu prawnego regulującego tę tematykę, nic takiego nie miało miejsca³⁴.

Zdaniem autora należałoby rozważyć ponadto związanie podmiotów zobowiązanych do wydawania opinii na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego terminem przypominającym znany z prawa cywilnego termin zawity. Po upływie tego terminu organ traciłby prawo do zaopiniowania danego wniosku o wydanie decyzji. Z pewnością dyscyplinowałyby to poszczególne organy. Z dotychczasowego doświadczenia podmiotów starających się o pozwolenia na poszczególnych etapach wynika bowiem praktyka długiego oczekiwania na opinie części organów, co opóźnia i tak już długi proces inwestycyjny. Należałoby również rozważyć, czy wszystkie opinie (w całej ustawie jest ich ponad 30) są niezbędne dla ochrony interesów państwa lub lokalnych społeczności.

Przy opracowaniu wskazanych powyżej zmian należałoby skorzystać z doświadczeń organizacji międzynarodowych takich jak Międzynarodowa Agencja Atomowa, European Utility Requirements (EUR), Western European Nuclear Regulator's Association (WENRA) oraz państw mających bogate doświadczenie i rozbudowaną sieć elektrowni atomowych, np. Francji. Wybrane zagadnienia tzw. Soft Law zostaną omówione w dalszej części artykułu.

NAJWAŻNIEJSZE SOFTLAW

W przypadku dopiero rozwijających się sektorów gospodarki, w szczególności tych obciążonych dużym ryzykiem, zarówno inwestycyjnym jak i eksploatacyjnym, doniosłą rolę odgrywają prawnie niewiążące, ale powszechnie uznawane akty prawne, wydawane często przez organizacje międzynarodowe lub zrzeczenia ekspertów z danych sektorów gospodarki. Są one uważane za szczególnie przydatne w jurysdykcjach posiadających nieaktualne pod względem wdrażanej technologii rozwiązania prawne lub takich, których krajowe regulacje nie spełniają standardów powszechnie uznawanych przez przedsiębiorstwa i inwestorów działających w danej branży.

Jedną z najważniejszych organizacji sektorowych jest Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, powstała 29 czerwca 1957 roku, po ogłoszeniu przez prezydenta USA Dwighta Eisenhowera programu „Atomu dla pokoju”. Organizacja ta zrzeszała w 2023 roku 177 państw. W 2005 roku otrzymała pokojową Nagrodę Nobla. Organizacja wydała do chwili pisania artykułu ponad 9000

³⁴ <https://demagog.org.pl/wypowiedzi/luka-w-polskim-prawie-nie-mamy-ustawy-o-obronie-cywilnej/> [dostęp: 19.09.2024 r.].

publikacji mających charakter naukowy, techniczny, a także dotyczących bezpieczeństwa jądrowego oraz prawa atomowego³⁵. Autor skupi się jedynie na wybranych z nich.

W „Handbook on Nuclear Law” organizacja zwraca uwagę na potrzebę szczegółowej i kompleksowej regulacji w tym obszarze z uwagi na potencjalne zagrożenia na zdrowia publicznego oraz środowiska naturalnego. Podkreśla się tu konieczność wypracowania kompromisu pomiędzy szczegółowością i opisaniem ogólnych zasad, pasujących do różnych sposobów wykorzystywania energii jądrowej w nowoczesnej gospodarce. Zauważa się, że ramy prawne powinny być na tyle ogólne, by pozwalały kompetentnym, krajowym organom nadzorczym na zgodne z prawem działanie, które bez zmiany przepisów miałyby dostosować się do nowej technologii. Zauważa się, że poszczególne jurysdykcje mogą wdrażać pewne reguły czy standardy nie tylko za pomocą bezwzględnie wiążących aktów prawnych, ale także niewiążących i niezobowiązujących wytycznych czy rekomendacji. Dostrzega się również, iż regulacje na polu energetyki atomowej powinny uwzględniać w miarę możliwości interesy wszystkich interesariuszy systemu. Wskazuje się, że potencjalni interesariusze, w zależności od kultury oraz ram prawnych, mogą być już od początku zaangażowani w proces legislacyjny. Słusznie, zdaniem autora, porusza się w raporcie zagadnienie komplementarności różnych aktów prawnych oraz różnych dziedzin prawa wpływających na ostateczne ramy prawne eksploatacji poszczególnych instalacji. Zauważa się ponadto, że legislacja w obszarze prawa atomowego powinna być transparentna i zrozumiała, nie tylko dla potencjalnych interesariuszy, ale również ogółu opinii publicznej³⁶.

Jednym z fundamentalnych elementów każdego systemu prawnego, w ramach którego funkcjonują regulacje obejmujące problematykę energii jądrowej, jest ustanowienie organu regulacyjnego, którego zadaniem byłaby kontrola użytkowników. Organ taki powinien być niezależny oraz dzięki nadanym uprawnieniom, skuteczny. Zwraca się uwagę na konieczność stosownego finansowania, informowania, a także zapewnienia personelu dla biura obsługującego taki organ³⁷.

Organizacje zrzeszające potencjalnych inwestorów, w tym European Utility Requirements (EUR), koncentrują się na postulatach harmonizacji ram legislacyjnych na jednolitym rynku unijnym. Ich celem jest doprowadzenie

³⁵ <https://www.iaea.org/about/overview/history> [dostęp: 19.09.2024 r.].

³⁶ www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1160_web.pdf, s. 11-26 [dostęp: 19.09.2024 r.].

³⁷ www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1160_web.pdf, s. 27-28 [dostęp: 19.09.2024 r.].

do jak najbardziej zbliżonych standardów w zakresie bezpieczeństwa jądrowego czy podłączenia do sieci³⁸.

Warto zauważyć, iż jednym z celów działalności wielu organizacji międzynarodowych w obszarze prawa atomowego jest również kierowanie zaleceń do poszczególnych aktorów państwowych, w tym tych znajdujących się w stanie wojny. Biorą one udział w nagłaśnianiu potencjalnych lub powstałych incydentów z zakresu bezpieczeństwa atomowego. Działania tego typu zostały podjęte przez bardzo wiele z nich, gdy linia frontu podczas konfliktu rosyjsko-ukraińskiego zbliżyła się do elektrowni atomowej w Czarnobyli. Organizacje te ostrzegały o możliwych konsekwencjach użycia przez strony konfliktu środków walki niedaleko elektrowni. Ostrzeżenia te przyniosły zamierzony skutek. Teren elektrowni oraz jego okolice nie stały się miejscem bezpośredniego starcia i zostały przekazane drugiej stronie bez walki³⁹.

ZAKOŃCZENIE

W domenie publicznej pojawia się sukcesywnie coraz więcej treści poświęconych zagadnieniom rozwoju oraz prawa atomowego dostępnych dla opinii publicznej i napisanych zrozumiałym językiem. Zjawisko to należy ocenić niezwykle pozytywnie. Demokratyczna kontrola nad procesem zarówno stanowienia prawa, jak i jego stosowania, jest niezwykle ważna szczególnie w przypadku regulacji w tak wyraźny sposób wpływających zarówno na państwo, jak i na jego obywateli.

Prawo regulujące wykorzystywanie do celów pokojowych energii jądrowej jest stosunkowo nową regulacją. Do tej pory była wykorzystywana w Polsce do celów głównie medycznych oraz badawczo-rozwojowych. Co za tym idzie istniejące przepisy nie były aplikowane do przemysłowego wykorzystywania energii jądrowej w dużej skali.

Licznym zmianom powinna dziś ulec również polityka państwa w tym zakresie. Od wielu lat obserwujemy brak spójnych, długoterminowych działań inwestorskich i wykonawczych. Widoczne są jedynie działania sektorowe (na przykład kształcenie kadr), które wprawdzie często przyczyniają się do osiągnięcia ostatecznego celu, ale poprzez brak spójności ich rezultaty są gorsze aniżeli mogłyby być.

³⁸ <https://europeanutilityrequirements.eu/fr/frequently-asked-questions> [dostęp: 19.09.2024 r.].

³⁹ <https://www.wenra.eu/sites/default/files/publications/WENRA%20ZNPP%20paper10%20August%202022.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].

Z dużym uznaniem należy spojrzeć na zwykle prowadzoną od podstaw działalność popularyzatorów nauki, a także naukowców w obszarze promocji pokojowego użycia energii jądrowej. Zdaniem autora w znacznym stopniu przyczyniła się ona nie tylko do rozwiania wątpliwości w zakresie bezpieczeństwa jądrowego takich obiektów, ale również do powstania ruchów poparcia dla tego rodzaju inwestycji w Polsce⁴⁰.

Wielce pomocne w procesie zmian, które w ocenie autora powinny zajść w Polsce w zakresie legislacji, promocji, a także zmian natury instytucjonalnej, może być korzystanie ze sprawdzonych rozwiązań państw wykorzystujących energię jądrową do celów przemysłowych co najmniej kilka dekad, jak i części rozwiązań promowanych przez organizacje międzynarodowe.

W procesie tworzenia nowych polskich regulacji w obrębie prawa atomowego, które zdaniem autora powinny powstać w najbliższym czasie, należy jednak pamiętać o odrębności kulturowej oraz własnej tradycji prawnej i legislacji.

BIBLIOGRAFIA

Hauser R., Niewiadomski Z., Wróbel A., (red.)
2003 System Prawa Administracyjnego. Publiczne prawo gospodarcze
Tom 8a, Inowrocław.

Wykaz stron internetowych

[file:///C:/Users/jakub/Downloads/ek_ptj2012no4_1_Latek%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/jakub/Downloads/ek_ptj2012no4_1_Latek%20(2).pdf) [dostęp: 19.09.2024 r.].

<https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/elektrownia-atomowa-w-polsce-sondaz-poparcia-dla-inwestycji/hktbhel> [dostęp: 19.09.2024 r.].

<https://demagog.org.pl/wypowiedzi/luka-w-polskim-prawie-nie-mamy-ustawy-o-obronie-cywilnej/> [dostęp: 19.09.2024 r.].

<https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2003/07/MITEI-The-Future-of-Nuclear-Power.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].

<https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/summary/european-climate-law.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].

<https://europeanutilityrequirements.eu/fr/frequently-asked-questions> [dostęp: 19.09.2024 r.]

⁴⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=zxpEmIrDIU> [dostęp: 19.09.2024 r.]

- <https://finanse-w-energetyce.cire.pl/pliki/2/analizaoplacalnoscibudowyelektrowniadjadrowejwpolsce.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/9338707,henning-kloska-atom-powinien-byc-stabilizatorem-polskiego-systemu-energetycznego-obok-wiatru-i-slonca.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/9395507,boom-na-energetyce-jadrowa-na-polskich-uczelniach-potrzebujemy-tysiec.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://historia.dorzczy.pl/historia-wspolczesna/432520/czarnobyl-tech-nologie-jadrowe-wczoraj-i-dzis-jak-postrzega-sie-atom.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://i.pl/limit-powolan-do-wojska-w-gore-rzad-nowelizuje-przepisy-co-zrobic-by-zostac-zolnierzem-i-jak-wyglada-rekrutacja-do-wojska/ar/c1-18575621> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://kpmg.com/pl/pl/home/media/press-releases/2023/05/media-press-czy-male-modulowe-reaktory-jadrowe-sa-przyszloscia-energetyki.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://polskieradio24.pl/artykul/3347340,rosja-grozby-uzycia-broni-jadrowej-na-ile-sa-realne-analiza-isw> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://ruj.uj.edu.pl/server/api/core/bitstreams/bdd88c7a-a625-4ffd-a02c-8017824bff5d/content> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://spidersweb.pl/2024/09/ponad-60-mld-zl-na-polska-elektrownie-atomowa.html#:~:text=Nie%20tak%20szybko.%20Budowa%20elektrowni%20j%C4%85drowej%20to%20bardzo,mogli%20odczu%C4%87%20dopiero%20za%20kilka%20lub%20kilkana%C5%9Bcie%20lat> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://web.mit.edu/12.000/www/m2018/pdfs/japan/small.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- https://www.bbn.gov.pl/download/1/8600/2149_stanislaw_koziej.pdf [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.chwp.pl/nasze-publikacje/prawo-atomowe-do-zmiany/> [dostęp: 19.09.2024 r.].

- <https://www.euractiv.pl/section/energia-i-srodowisko/news/atom-energetyka-jadrowa-polska-niemcy-unia-europejska-taksonomia-francja-macron-klimat-emisje-oze/> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.forbes.pl/gospodarka/najbogatszy-polak-nie-odpuszcza-atomu-michal-solowow-komentuje-decyzje-abw-o-smr/4ytm4m9> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuly/8602827,poparcie-spoleczne-elektrownia-atomowa-w-polsce-cbos.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.gov.pl/web/klimat/departament-edukacji-i-komunikacji> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.iaea.org/about/overview/history> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.money.pl/gospodarka/tu-chodzi-o-jednego-czlowieka-michal-solowow-o-decyzji-abw-7000907543153184a.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/nik-o-zarzadzaniu-kryzysowym.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243512030458X> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.wenra.eu/sites/default/files/publications/WENRA%20ZNPP%20paper%2010%20August%202022.pdf> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.youtube.com/watch?v=7LktMG6rw34> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www.youtube.com/watch?v=zxpEmIrDIU> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/energy-and-resources/articles/atom-in-action/koszty-wdrozenia-energetyki-jadrowej.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/energy-and-resources/articles/atom-in-action/Wyzwania-i-potencjal-reaktorow-SMR-w-transformacji-energetycznej.html> [dostęp: 19.09.2024 r.].
- https://wydawnictwo.wsb.pl/sites/wydawnictwo.wsb.pl/files/czasopisma-tresc/02_Metrak.pdf [dostęp: 19.09.2024 r.].
- www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1160_web.pdf [dostęp: 19.09.2024 r.].

Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 r. - Prawo atomowe (Dz.U. 1986 nr 12 poz. 70).

Ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2011 nr 135 poz. 789).

Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych (Dz.U. 2021 poz. 234).

DEVELOPMENT OF THE NUCLEAR SECTOR IN POLAND - OPPORTUNITIES AND THREATS. SELECTED ISSUES

Abstract: The purpose of this text is to present the most important aspects of the legislative, economic and social development of the nuclear sector in Poland. In recent years, interest in the political, economic and legal implications of nuclear law has increased significantly. Universities are offering courses in related fields, and the idea of building a nuclear power plant in Poland enjoys great support from people with different worldviews. It should be noted that the acceleration of investment will become possible after the introduction of new solutions in the field of legislation, as well as education and state policy. In this respect, Poland should follow the example of numerous available organizational or legal examples used for many years in Western Europe. It is also worth paying attention to numerous, although non-binding, but commonly used, standards or good practices in the field of, among others, nuclear safety.

Key words: nuclear law, energy security, softlaw

ISBN: 978-83-67959-90-2