INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 63-76
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2025.004

ANALIZA PROFILU LEKOOPORNOŚCI BAKTERII *ESCHERICHIA COLI* IZOLOWANYCH Z ODPADÓW KOMUNALNYCH

ANALYSIS OF THE DRUG RESISTANCE PROFILE OF *ESCHERICHIA COLI* ISOLATED FROM MUNICIPAL WASTE

Patrycja SZCZECHURA [1], Jowita CAŁA [1], Katarzyna WOLNY-KOŁADKA [1]

STRESZCZENIE

Celem pracy była ocena profilu lekooporności bakterii *E. coli*, które zostały wyizolowane z odpadów komunalnych. Określono, czy wśród zgromadzonych izolatów są szczepy posiadające mechanizm ESBL (extended-spectrum β-lactamase) oraz czy są one oporne na antybiotyki β-laktamowe. Analizę wykonano z zastosowaniem metody dyfuzyjno-krążkowej, przy użyciu 7 antybiotyków należących do β-laktamów (w tym 2 penicyliny, 5 cefalosporyn). Uzyskane wyniki porównano z normami KORLD (Krajowy Ośrodek Referencyjny ds. Lekowrażliwości Drobnoustrojów) oraz EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing). Analiza wykazała, że u 70% badanych izolatów nie odnotowano oporności na żaden z testowanych antybiotyków. Natomiast 30% szczepów była oporna na więcej niż 1 antybiotyk. Średniowrażliwość na działanie cefazoliny zaobserwowano u 80% szczepów *E. coli*. Najwięcej, bo aż 20% szczepów było opornych na ten antybiotyk. Natomiast 100% wrażliwość stwierdzono w stosunku do amoksycyliny z kwasem klawulanowym, która należy do penicylin. Mechanizmu ESBL nie zaobserwowano. Stwierdzono, że odpady komunalne są miejscem bytowania bakterii *E. coli* opornych na antybiotyki. Dlatego niezwykle ważnym jest prowadzenie dalszych badań mających na celu monitorowanie tego źródła lekooporności.

Słowa kluczowe: *Escherichia coli, lekooporność, antybiotyki, odpady komunalne*

[1] *Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Polska*

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the drug resistance profile of E. coli bacteria isolated from municipal waste. It was visible whether among the collected isolates there are strains resistant to ESBL mechanisms (extended spectrum β-lactamase) and whether they are resistant to β-lactam antibiotics. Analysis of the use of disk diffusion methods, using 7 final results for β-lactams (including 2 penicillins, 5 cephalosporins). The obtained comparative results with the KORLD (National Reference Center for Antimicrobial Susceptibility) and EUCAST (European Committee for Antimicrobial Susceptibility Testing) standards. The analysis distinguished that among 70% of isolates there is no resistance marking to unconfirmed from the tested antibiotics. On the contrary, 30% of strains were resistant to more than 1 antibiotic. Intermediate susceptibility to cefazolin is characteristic of 80% of E. coli strains. The largest number, as many as 20% of strains, were resistant to this antibiotic. In contrast to 100% susceptibility compared to amoxicillin with clavulanic acid, which should be used for penicillin. The ESBL mechanism is not a habitat. It has been found that municipal waste is a place of residence of E. coli bacteria resistant to antibiotics. It is very important to continue research on this source of drug resistance.

Keywords*: Escherichia coli, drug resistance, antibiotics, municipal waste*

WSTĘP

Odpady komunalne to „odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych; zmieszane odpady komunalne pozostają zmieszanymi odpadami komunalnymi, nawet jeżeli zostały poddane czynności przetwarzania odpadów, która nie zmieniła w sposób znaczący ich właściwości" (Ustawa o odpadach, 2012). Zasadniczo odpady dzielimy na dwie kategorie: odpady niebezpieczne oraz odpady inne niż niebezpieczne. Do odpadów niebezpiecznych zaliczamy głównie odpady medyczne powstałe w czasie udzielania świadczeń zdrowotnych czy też podczas medycznych badań naukowych oraz odpady weterynaryjne. Do grupy odpadów niebezpiecznych zaliczamy również zużyte akumulatory, baterie, sprzęt elektroniczny, oleje oraz środki ochrony roślin. Natomiast odpady komunalne produkowane w gospodarstwach domowych zaliczane są do odpadów innych niż niebezpieczne, kwalifikują się tutaj m.in. opakowania szklane i plastikowe, papier, puszki metalowe oraz odpady biodegradowalne (Krupnik, 2015).

Racjonalna gospodarka odpadami komunalnymi uwzględniająca bezpieczne dla środowiska składowanie oraz utylizację odpadów, ma bezpośrednie znaczenie w zapobieganiu rozprzestrzeniania się chorobotwórczych mikroorganizmów na obszarach składowisk i poza nimi. W przeszłości składowiska odpadów lokalizowane były na obrzeżach miast, jednak intensywny proces urbanizacji i ciągłe poszerzanie granic aglomeracji miejskich korelujące z postępującą zabudową spowodowały, iż składowiska znajdują się na terenie miast. Taka sytuacja nie jest korzystna dla mieszkańców oraz turystów (Barabasz i in., 2005). Składowiska odpadów

w sąsiedztwie zabudowań wpływają negatywnie na otoczenie, zarówno na powietrze atmosferyczne, jak i na jakość gleb oraz wód. Procesy, które zachodzą wewnątrz składowanych odpadów powodują np. powstawanie bioaerozolu (niewielkie cząsteczki stałe lub kropelki cieczy związane z czynnikami biologicznymi). W skład bioaerozolu wchodzą także chorobotwórcze mikroorganizmy, pyłki roślin, alergeny, endotoksyny oraz fragmenty zwierząt (Hawrot-Paw i Domżał, 2016). Mają one toksyczny wpływ na organizm człowieka – powodują reakcje alergiczne, a niekiedy także groźne choroby zakaźne (Chmiel i in., 2015). W odpadach komunalnych występują resztki produktów spożywczych pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego, fekalia oraz inne składniki. Tworzą one idealne warunki do rozmnażania się różnych gatunków bakterii, grzybów pleśniowych oraz innych organizmów (Makles i Domański, 2010; Chmiel i in., 2015). W tego rodzaju odpadach wykrywa się wielolekooporne szczepy bakterii stanowiące duże zagrożenie epidemiologiczne dla osób pracujących podczas przetwarzania i składowania odpadów (Ibrahim i in., 2012).

Odpady komunalne, szczególnie te zawierające resztki leków, żywności oraz fekalia, stanowią nie tylko środowisko sprzyjające namnażaniu bakterii, ale także miejsce do rozwoju mechanizmów oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe. Tym samym niewłaściwe zarządzanie odpadami staje się nie tylko problemem środowiska, ale również poważnym zagrożeniem dla zdrowia publicznego, przyczyniając się do utrwalania i rozprzestrzeniania się patogenów trudnych do zwalczenia (Ibrahim i in., 2012).

Wynalezienie i upowszechnienie antybiotyków było jednym z największych osiągnięć medycyny, jednak ich masowe stosowanie przyczyniło się do szybkiego rozwoju i rozprzestrzeniania się lekooporności w środowisku naturalnym. Jednym z kluczowych czynników przyspieszających rozwój bakterii opornych na antybiotyki jest ich nadmierne i niewłaściwe stosowanie. Nieracjonalna antybiotykoterapia prowadzi do spadku skuteczności leczenia oraz sprzyja rozprzestrzenianiu się drobnoustrojów opornych na leki. Jednym z przykładów bakterii, która niezwykle łatwo pozyskuje nowe geny oporności jest *Escherichia coli*, czyli bakteria Gram-ujemna naturalnie występująca w przewodzie pokarmowym ludzi i zwierząt. Szczególnie niebezpieczne są szczepy *E. coli* wykazujące mechanizm oporności typu ESBL (extended-spectrum β-lactamases), czyli enzymy o rozszerzonym spektrum działania. Bakterie te potrafią unieszkodliwiać wiele powszechnie stosowanych antybiotyków β-laktamowych, takich jak penicyliny, monobaktamy oraz większość cefalosporyn (z wyjątkiem cefamycyny oraz kabapenemów). Obecność takich szczepów utrudnia leczenie infekcji, a w niektórych przypadkach sprawia, że dostępne opcje terapeutyczne są mocno ograniczone (Davies i Davies, 2010; Ibrahim i in., 2012; Threedeach i in., 2012; Kumar i in., 2015; Lewańska i in., 2016; Mazińska i Hryniewicz, 2020).

Celem niniejszej pracy była analiza profilu lekooporności bakterii *E. coli* izolowanych z odpadów komunalnych. Ponadto planowano ocenić, czy wśród zgromadzonych izolatów są szczepy posiadające mechanizm ESBL.

MATERIAŁ I METODY

W celu izolacji szczepów *E. coli* wykorzystano zmieszane odpady komunalne (frakcję podsitową) pobrane z jednego z zakładów przetwarzającego odpady komunalne w Małopolsce (MIKI Recykling Sp. z o. o. w Krakowie). Odpady, które znajdowały się w pryzmach pobrano do 3 jałowych pojemników o pojemności 500 ml (traktowane jako 3 powtórzenia/3 punkty izolacji). Pobór próbek odbywał się wiosną roku 2024r. Materiał nie podlegał wstępnej obróbce, nie wykonano także dodatkowych rozcieńczeń pobranych próbek. Izolacja bakterii *E. coli* prowadzona była z zastosowaniem metody seryjnych rozcieńczeń wg Kocha i przy pomocy podłoża TBX agar. Hodowle inkubowane były w cieplarce w temperaturze 44°C przez 24h. *E. coli* na podłożu TBX rośnie w postaci zielono-niebieskich drobnych kolonii.

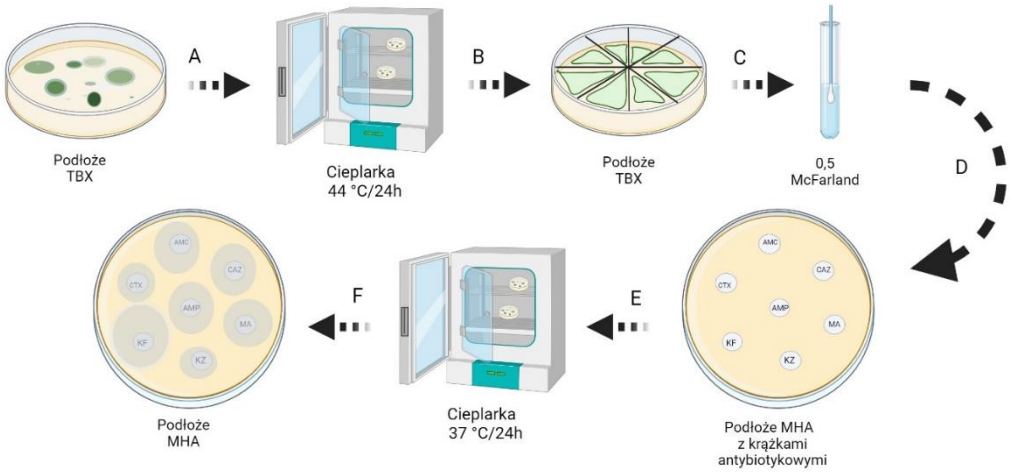
Badania lekooporności wybranych szczepów przeprowadzono za pomocą metody dyfuzyjno-krążkowej (Ryc.1). Analizę wykonano zgodnie z rekomendacjami KORLD (Krajowy Ośrodek Referencyjny ds. Lekowrażliwości Drobnoustrojów) oraz EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing). Natomiast wartości graniczne strefy zahamowania wzrostu dla antybiotyków nie ujętych w wykazie EUCAST tj. cefalotyna (Kronvall i in., 1984) oraz cefamandol (Barry i in., 1983) zaczerpnięto z publikacji. Profil lekooporności określono przy pomocy 7 antybiotyków z grupy β-laktamów, w tym 2 antybiotyki należały do penicylin i 5 do cefalosporyn (Tab. 1). Jako kontrolę zastosowano szczep wzorcowy *Escherichia coli* ATCC 25922, służący do kontroli jakości lekowrażliwości oraz do kontroli jakości oznaczenia mechanizmu ESBL.

Tabela 1. Antybiotyki wykorzystane do analizy profilu lekooporności
Table 1. Antibiotics used to analyze the drug resistance profile.

Antybiotyk	Skrót	Wartość graniczna strefy zahamowania wzrostu (mm)		Grupa
		S ≥ wrażliwe	R< oporne	
Amoksycylina z kwasem klawulanowym	AMC	19	19	β-laktamy (penicyliny o poszerzonym zakresie działania)
Ampicylina	AMP	14	14	β-laktamy (penicyliny o poszerzonym zakresie działania)
Cefalotyna	KF	13	13	β-laktamy (cefalosporyny I generacji)
Cefamandol	MA	18	14	β-laktamy (cefalosporyny II generacji)
Cefotaksym	CTX	20	17	β-laktamy (cefalosporyny III generacji)
Cefazolina	KZ	50	20	β-laktamy (cefalosporyny I generacji)
Ceftazydym	CAZ	22	19	β-laktamy (cefalosporyny III generacji)

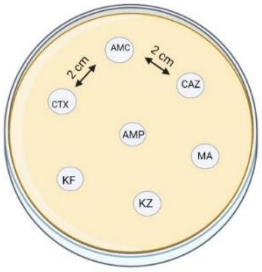
Do przeprowadzenia analizy wykorzystano 20 szczepów *Escherichia coli*, które zostały wybrane w sposób reprezentatywny z 3 próbek odpadów komunalnych (A) – po 7 z pierwszej i drugiej próbki oraz 6 z trzeciej. Podczas izolacji szczepów, pojedyncze kolonie przeszczepiono na osiem sektorów na podłożu TBX i inkubowano przez 24h w temperaturze 44 °C (B). Następnie

za pośrednictwem jałowej wymazówki przeniesiono kolonie bakterii do przygotowanych próbówek zawierających 9 ml 0,9% NaCl. Kolejno wykorzystano densytometr do określenia gęstości optycznej zawiesiny, która powinna wynosić 0,5 McFarlanda (C). W dalszej kolejności na szalki Petriego z rozlanym ilościowo (15 cm^3) podłożem MHA (Mueller Hinton agar) szczepiono zawiesinę *E. coli* przy pomocy jałowej wymazówki. Na tak przygotowane hodowle nakładano po 7 różnych krążków antybiotykowych (Oxoid, Irlandia) (D), przy pomocy dyspensera, a następnie inkubowano je przez 24h w temperaturze 37°C (E). Po tym czasie odczytywano strefy zahamowania wzrostu wokół nałożonych krążków [mm] (F) i wyniki porównywano z wartościami granicznymi rekomendowanymi przez EUCAST.



Rycina 1. Etapy analizy profilu lekooporności bakterii *Escherichia coli* pobranych z odpadów komunalnych (wykonanie własne, Created with BioRender.com)
Figure 1. Stages of analysis of the drug resistance profile of Escherichia coli bacteria collected from municipal waste (own work, Created with BioRender.com).

Mechanizm ESBL (Ryc. 2), oznaczono stosując tzw. test dwóch krążków. W tym celu ułożono krążki z ceftazydymem (CAZ) i cefotaksymem (CTX) w odległości 2 cm od krążka z amoksycyliną z kwasem klawulanowym (AMC). Powiększenie strefy zahamowania wzrostu wokół krążka z ceftazydymem lub cefotaksymem od strony krążka z amoksycyliną z kwasem klawulanowym świadczy o pozytywnym wyniku testu.



Rycina 2. Schemat wykrywania mechanizmu ESBL (wykonanie własne, Created with BioRender.com)
Figure 2. ESBL detection scheme (own work, Created with BioRender.com).

Przy użyciu programu Statistica v. 12.5 (StatSoft) wykonano test $\chi 2$ w celu potwierdzenia istotności różnic w oporności na poszczególne antybiotyki bakterii *E. coli* izolowanych z trzech punktów.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zgodnie z wytycznymi EUCAST szczepy podzielono na wrażliwe (S), średniowrażliwe (I) oraz oporne (R). W Tabelach (Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4) zostały zestawione wyniki z trzech punktów poboru odpadów dla poszczególnych antybiotyków. Mechanizmu ESBL nie zaobserwowano.

Tabela 2. Wyniki otrzymane z pierwszego punktu poboru
Table 2. Results obtained from the first collection point.

Antybiotyk	Skrót	Wartość graniczna strefy zahamowania wzrostu (mm)		Punkt poboru I Szczep						
		S ≥	R<	1	2	3	4	5	6	7
Amoksycylina z kwasem klawulanowym	AMC	19	19	21	22	22	24	22	22	20
Ampicylina	AMP	14	14	18	24	19	26	22	22	14
Cefalotyna	KF	13	13	19	19	15	17	17	16	20
Cefamandol	MA	18	14	25	24	22	19	27	26	27
Cefotaksym	CTX	20	17	28	30	29	23	32	32	30
Cefazolina	KZ	50	20	23*	23*	21*	14**	22*	23*	24*
Ceftazydym	CAZ	22	19	26	28	27	25	30	30	30

* - szczepy średniowrażliwe
** - szczepy oporne

Tabela 3. Wyniki otrzymane z drugiego punktu poboru.
Table 3. Results obtained from the second collection point.

Antybiotyk	Skrót	Wartość graniczna strefy zahamowania wzrostu (mm)		Punkt poboru II Szczep						
		S ≥	R<	8	9	10	11	12	13	14
Amoksycylina z kwasem klawulanowym	AMC	19	19	23	20	25	20	20	20	22
Ampicylina	AMP	14	14	22	24	6**	24	26	26	35
Cefalotyna	KF	13	13	18	14	20	20	21	20	15
Cefamandol	MA	18	14	26	24	20	25	30	24	6**
Cefotaksym	CTX	20	17	30	30	35	35	35	36	22
Cefazolina	KZ	50	20	23*	20*	25*	25*	20*	18**	6**
Ceftazydym	CAZ	22	19	27	26	33	34	32	28	6**

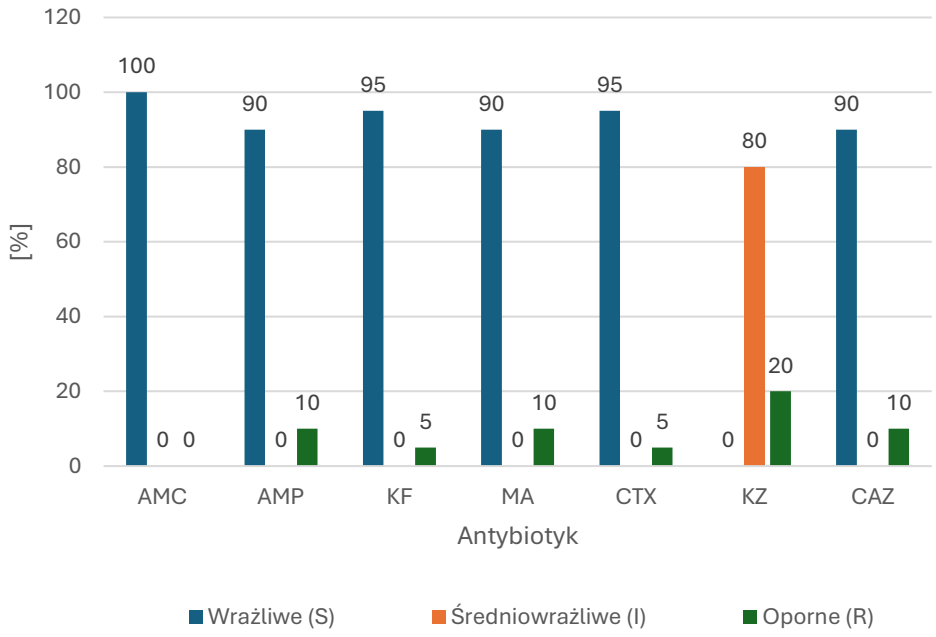
* - szczepy średniowrażliwe
** - szczepy oporne

Tabela 4. Wyniki otrzymane z trzeciego punktu poboru.
Table 4. Results obtained from the third collection point.

Antybiotyk	Skrót	Wartość graniczna strefy zahamowania wzrostu (mm)		Punkt poboru III Szczep					
		S ≥	R<	15	16	17	18	19	20
Amoksycylina z kwasem klawulanowym	AMC	19	19	20	22	20	20	30	22
Ampicylina	AMP	14	14	30	20	23	6**	30	40
Cefalotyna	KF	13	13	24	16	21	19	10**	16
Cefamandol	MA	18	14	30	27	28	25	6**	32
Cefotaksym	CTX	20	17	32	30	30	34	6**	44
Cefazolina	KZ	50	20	20*	23*	25*	22*	6**	22*
Ceftazydym	CAZ	22	19	32	30	26	30	6**	32

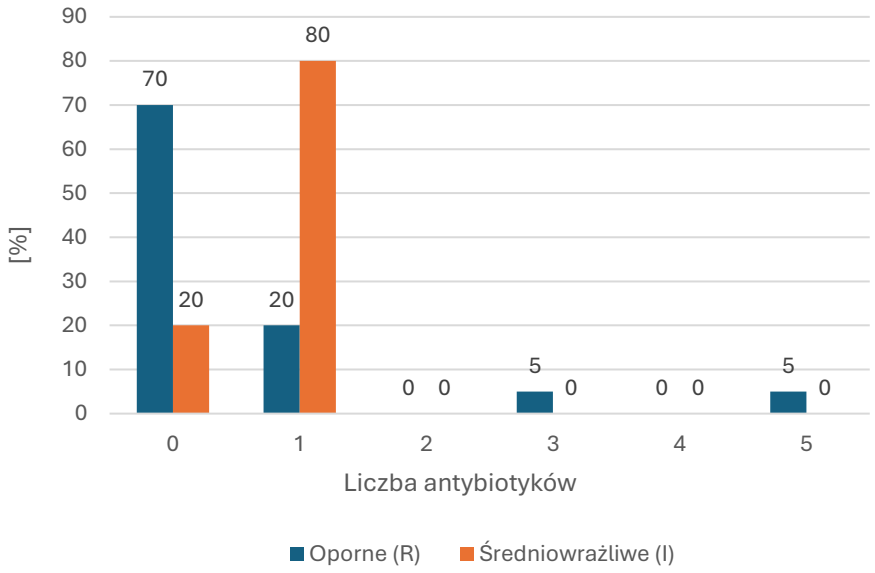
* - szczepy średniowrażliwe
** - szczepy oporne

Szczepy *E. coli* izolowane z 3 próbek odpadów komunalnych odznaczały się podobnym profilem lekooporności. Na podstawie analizy danych zamieszczonych w tabeli 2, 3, 4 nie wykryto znaczących różnic w tym zakresie. Potwierdziła to także przeprowadzona analiza statystyczna, sporządzona w celu oceny różnic w oporności na poszczególne antybiotyki szczepów *E. coli* izolowanych z trzech punktów poboru odpadów komunalnych. Test $\chi 2$ nie potwierdził statystycznie istotnych różnic w częstotliwości występowania izolatów opornych.



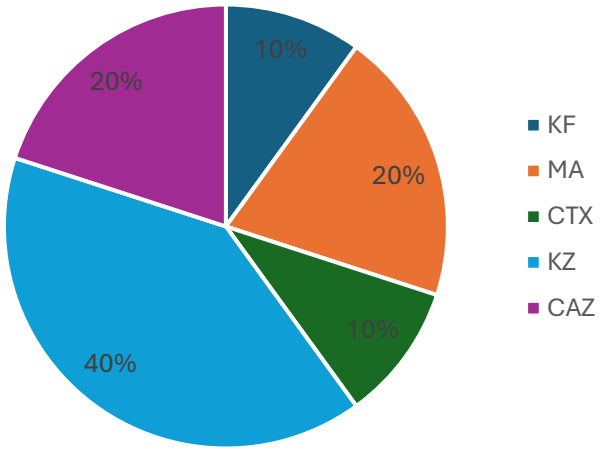
Rycina 3. Procentowe zestawienie szczepów wrażliwych, średniowrażliwych oraz opornych na antybiotyki
Figure 3. Percentage of strains sensitive, intermediately sensitive and resistant to antibiotics.

Na podstawie uzyskanych wyników (Ryc. 3) można stwierdzić, że zdecydowana większość analizowanych antybiotyków skutecznie hamowała rozwój bakterii *E. coli* wyizolowanych z odpadów komunalnych. Spośród siedmiu testowanych antybiotyków jedynie cefazolina wyróżniała się niższą skutecznością, ponieważ wszystkie badane szczepy były wobec niej średniowrażliwe lub oporne. W przypadku pozostałych antybiotyków ponad 90% szczepów *E. coli* cechowało się wrażliwością. Średniowrażliwość (80%) odnotowano wyłącznie w przypadku działania cefazoliny, która jednocześnie była jedynym antybiotykiem, wobec którego zaobserwowano najwyższy, 20% odsetek szczepów opornych. Najlepszy wynik uzyskano dla amoksycyliny z kwasem klawulanowym, ponieważ wszystkie szczepy były na ten antybiotyk w pełni wrażliwe (100%).



Rycina 4. Wielolekooporność bakterii *E. coli*
Figure 4. Multi-drug resistance of *E. coli* bacteria.

Na podstawie wyników przedstawionych na Ryc. 4 można stwierdzić, że wśród analizowanych izolatów, aż 70% nie wykazywało oporności na żaden z zastosowanych antybiotyków. Pozostałe 30% szczepów charakteryzowało się opornością na więcej niż jeden antybiotyk. U 20% izolatów stwierdzono oporność na jeden antybiotyk, natomiast po 5% szczepów wykazywało oporność odpowiednio na trzy oraz pięć antybiotyków. Nie odnotowano przypadków oporności na dokładnie dwa lub cztery antybiotyki. Ponadto, wysoki odsetek szczepów (80%) wykazywał średniowrażliwość na jeden antybiotyk, natomiast pozostałe 20% stanowiły szczepy w pełni oporne.



Rycina 5. Oporność szczepów *E. coli* na cefalosporyny
Figure 5. Resistance of *E. coli* strains to cephalosporins.

W przeprowadzonym badaniu zastosowano dwa antybiotyki z grupy penicylin oraz pięć z grupy cefalosporyn. Na podstawie Ryc. 5, można stwierdzić, że cefotaksym i cefalotyna wydają się najskuteczniejszymi spośród analizowanych antybiotyków, podczas gdy cefazolina cechuje się najwyższym poziomem oporności, co czyni ją najmniej efektywną w leczeniu zakażeń wywołanych przez badane szczep,y *E. coli*.

Na podstawie wyników badań własnych ustalono, że największy odsetek stanowiły szczepy oporne na cefazolinę (20%), natomiast najmniejszy na cefotaksym i cefalotynę (po 5%). Threedeach i in. (2012) przedstawili profil lekooporności szczepów *E. coli* wyizolowanych z odcieków ze składowisk odpadów komunalnych. W ich badaniu największą skutecznością charakteryzowały się meropenem (100% i 98,8% szczepów wrażliwych) oraz cefepim (100% i 97,5% szczepów wrażliwych). Największy odsetek opornych szczepów odnotowano wobec cefalotyny (61,3% i 57,5%). W niniejszej pracy meropenem i cefepim nie były analizowane, natomiast odsetek szczepów opornych na cefalotyne wyniósł zaledwie 5%. Threedeach i in. (2012) stwierdzili także oporność na amoksycylinę z kwasem klawulanowym (6,3% i 7,5%), podczas gdy w prezentowanych badaniach własnych wszystkie szczepy wykazywały wrażliwość na ten antybiotyk. Rozbieżności w wynikach mogą wynikać m.in. z różnic w pochodzeniu materiału badawczego, położenia geograficznego oraz stosowanych systemów gospodarowania odpadami. Podobne badania przeprowadzili Wolny-Koładka i in. (2018) analizując lekooporność szczepów *Escherichia coli* izolowanych z odpadów komunalnych przy zastosowaniu 20 antybiotyków. Wszystkie testowane antybiotyki hamowały wzrost co najmniej 20 szczepów bakterii. Największą skuteczność wykazała amikacyna (22% zahamowania wzrostu), natomiast najwięcej izolatów było opornych na tikarcylinę (53%). Wysoki odsetek oporności odnotowano także wobec ampicyliny (49%), cefazoliny (45%), cefatolyny (45%) oraz amoksycyliny z kwasem klawulanowym (35%). W niniejszym badaniu nie analizowano działania amikacyny oraz tikarcyliny, natomiast odsetek szczepów opornych na cefazolinę (20%) był zbliżony do wartości podanych przez Wolny-Koładka i in. (2018). W obu wspomnianych badaniach – Threedeach i in. (2012) oraz Wolny Koładka i in. (2018) – potwierdzono skuteczność amoksycyliny z kwasem klawulanowum, mimo że w ich wynikach pojawiały się również szczepy oporne, czego nie zaobserwowano w badaniach własnych. Z kolei Reinthaler i in. (2003) zbadali wpływ antybiotyków na szczepy *E. coli* pochodzące z oczyszczalni ścieków znajdującej się w południowej Austrii, analizując oporność na 24 antybiotyki. Najwyższy wskaźnik oporności stwierdzono w przypadku ścieków oczyszczanych wspólnie ze ściekami szpitalnymi. Ustalono tam oporność m.in. na ampicylinę (do 18%), piperacylinę (do 12%), cefalotynę (do 35%) i tetracyklinę (57%). W niniejszym badaniu oporność na ampicylinę była porównywalna, a oporność na cefalotynę została również potwierdzona – podobnie jak w pracy Wolny-Koładka i in. (2018).

Oporność bakterii na antybiotyki uważa się za jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla zdrowia człowieka. Duże zapotrzebowanie na leki ma znaczący, negatywny wpływ na środowisko oraz na ludzi. Rozwój przemysłu farmaceutycznego zapewnił dostęp do tańszych medykamentów, bez recepty, które można przyjmować bez wcześniejszej konsultacji z lekarzem. Dlatego też w środowisku stwierdzamy coraz więcej farmaceutyków i innych substancji leczniczych, co znacząco wpływa na występowanie opornych szczepów bakterii. Wzrost liczebności drobnoustrojów opornych na

antybiotyki jest wynikiem m.in. nadużywania i niewłaściwego stosowania antybiotyków w medycynie, ale także weterynarii (Davies i Davies, 2010). Przyczyną rozprzestrzeniania się opornych patogenów, są również złe warunki sanitarne, spotykane głównie w krajach słabo rozwiniętych gospodarczo. Na występowanie opornych szczepów wpływa brak powszechnie dostępnej informacji i programów mających na celu zapobieganie narastaniu zjawiska lekooporności, poprzez promowanie racjonalnych zachowań pacjentów stosujących farmakoterapię. Turystyka, rozbudowana wymiana handlowa, migracja ludności, także należą do czynników, które wpływają na wzrost liczebności opornych patogenów bakteryjnych (Mazińska i Hryniewicz 2020). Konsekwencją narastającej lekooporności drobnoustrojów jest wysoka śmiertelność pacjentów i wysokie koszty ze strony opieki zdrowotnej. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) szacuje, że zakażenia szpitalne są w 75% spowodowane przez bakterie oporne na antybiotyki. Obecnie mamy do czynienia z szybkim rozprzestrzenianiem się klonów bakterii wielolekoopornych. Podróże do krajów, gdzie obecność wielolekoopornych szczepów jest nasilona, prowadzą do zakażenia się nimi, a szczególnie bakteriami *Enterobacterales* wytwarzającymi ESBL. Aby utrzymać jak najdłużej skuteczność antybiotyków oraz spowolnić rozprzestrzenianie się opornych szczepów bakterii, wytypowano kilka działań niezbędnych do podjęcia. Do nich należy zaliczyć: monitorowanie lekooporności oraz konsumpcji antybiotyków, rozwijanie efektywnej diagnostyki mikrobiologicznej, realizacja programów z zakresu przeciwdziałania antybiotykooporności oraz produkcja nowych leków i szczepionek (Mazińska i Hryniewicz, 2020).

Wyniki badań wskazujące na obecność szczepów *Escherichia coli* wykazujących oporność na antybiotyki w odpadach komunalnych mogą mieć istotne znaczenie nie tylko z punktu widzenia ochrony środowiskowa, ale także zdrowia publicznego. Tego typu mikroorganizmy mogą pełnić rolę rezerwuaru genów odpowiedzialnych za oporność na środki przeciwdrobnoustrojowe, co sprzyja ich dalszemu rozprzestrzenianiu się wśród populacji ludzkiej. Dane drobnoustroje mogą przedostawać się do gleby, wód powierzchniowych i gruntowych oraz powietrza, a następnie poprzez różne drogi transmisji mogą trafiać do organizmu człowieka, stwarzając potencjalne zagrożenie epidemiologiczne. Zakażenia powodowane przez szczepy oporne są trudniejsze w leczeniu, często wymagają stosowania antybiotyków o szerokim spektrum działania, które nie zawsze są skuteczne i wiążą się z większym ryzykiem wystąpienia działań niepożądanych. Dana sytuacja może prowadzić do wzrostu liczby przypadków infekcji o ciężkim przebiegu i dłuższej hospitalizacji, a co za tym idzie wyższych kosztów leczenia oraz wyższej śmiertelności. Dlatego obecność w środowisku opornych bakterii powinna być brana pod uwagę w krajowych strategiach walki z antybiotykoopornością. Włączenie monitoringu środowiskowego do polityki zdrowotnej może odegrać kluczową rolę w ograniczaniu skali tego zjawiska i przeciwdziałaniu dalszemu rozprzestrzeniania się lekooporności (Davies i Davies, 2010; Mazińska i Hryniewicz, 2020).

WNIOSKI

1. Odpady komunalne stanowią środowisko bytowania bakterii *E. coli* opornych na antybiotyki, co wskazuje na ich potencjalne znaczenie epidemiologiczne.
2. Amoksycylina z kwasem klawulanowym wykazała najwyższą skuteczność – nie odnotowano oporności wśród analizowanych szczepów, co sugeruje możliwość jej skutecznego zastosowania w terapii zakażeń wywoływanych przez te bakterie.
3. Cefazolina cechowała się najwyższym odsetkiem szczepów opornych (20%), co może ograniczać jej zastosowanie w leczeniu zakażeń wywoływanych przez dane szczepy *E. coli.*
4. Obecność bakterii *Escherichia coli* opornych na wiele antybiotyków w odpadach komunalnych wskazuje, że to środowisko może stanowić istotny rezerwuar genów oporności, potencjalnie przekazywanych do bakterii chorobotwórczych w innych ekosystemach.
5. W celu ograniczenia rozprzestrzeniania się bakterii opornych na antybiotyki, zaleca się wdrożenie stałego monitoringu mikrobiologicznego w zakładach przetwarzania odpadów komunalnych, ze szczególnym uwzględnieniem szczepów z rodziny *Enterobacteriaceae.*
6. Niezbędne jest opracowanie rekomendacji dotyczących bezpiecznego zarządzania odpadami komunalnymi, które uwzględniałyby zarówno aspekty środowiskowe, jak i zagrożenia zdrowotne wynikające z obecności drobnoustrojów lekoopornych.
7. Zaleca się rozszerzenie badań o metody molekularne, które umożliwią wykrywanie genów odpowiedzialnych za oporność, co pozwoli na dokładniejszą ocenę mechanizmów selekcji i przenoszenia oporności w środowisku odpadowym.
8. Dalsze badania powinny koncentrować się na analizie zależności pomiędzy sezonowością, rodzajem odpadów a występowaniem szczepów lekoopornych oraz ocenie wpływu technologii przetwarzania odpadów na przeżywalność i zmienność mikroorganizmów.

LITERATURA

1. Barabasz W., Albińska D., Vořišek K., Růžek L. 2005. *Emisja i rozprzestrzenianie się mikroorganizmów wokół składowisk odpadów komunalnych*. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, 505:25-39.
2. Barry A.L., Jones R.N., Thornsberry C. 1983. *Evaluation of the cefonicid disk criteria, including disk quality control guidelines.* Journal of Clinical Microbiology. 17, 2: 232–239
3. Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J. 2015. *Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza.* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 1 (49) s. 17–27
4. Davies J., Davies D. 2010. *Origins and evolution of antibiotic resistance.* Microbiology and molecular biology reviews. 74, 3: 417–433
5. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej *Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21)*
6. Hawrot-Paw M., Domżał A. 2016. *Oddziaływanie składowiska odpadów komunalnych na jakość mikrobiologiczną powietrza atmosferycznego*. Archiwium Gospodarski Odpadami i Ochrony Srodowiska. 18, 3: 1-8

7. Ibrahim M.E., Bilal N.E., Hamid M.E. 2012. *Increased multi-drug resistant Escherichia coli from hospitals in Khartoum state, Sudan*. Afr. Health Sci. 12, 3: 368-375
8. Kronvall G., Petersson A.C., Ljunggren K., Soltesz V. 1984. *Single-strain regression analysis for quality control of cephalotin-susceptibility testing and determination of interpretive breakpoints*. Acta Pathologica et Microbiologica Scandinavica. 92, 1: 13–22
9. Krupnik D. 2015. *Wybrane zagadnienia dotyczące systemu gospodarowania odpadami i transgranicznego ich przemieszczania*, Systemy Logistyczne Wojsk 42, 108–121
10. Kumar D., Singh AK., Ali MR., Chander Y. 2014. *Antimicrobial Susceptibility Profile of Extended Spectrum β-Lactamase (ESBL) Producing Escherichia coli from Various Clinical Samples.* Infect Dis (Auckl).7:1-8
11. Lewańska M., Olszewska D., Godela A., Myga-Nowak M., Kuberska M., 2016. *Wybrane aspekty zwalczania bakterii lekoopornych.* Chemistry Environment Biotechnology. 19: 79-85
12. Makles Z., Domański W. 2010. *Zagrożenia chemiczne i biologiczne-sortowanie odpadów komunalnych.* Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka. 3: 22-25
13. Mazińska B., Hryniewicz W. 2020. *Antybiotykooporność: przyczyny i konsekwencje.* Postępy Mikrobiologii. 59, 3: 249-257
14. Reinthaler F.F., Posch J., Feierl G., Wüst G., Haas D., Ruckenbauer G., Mascher F., Marth E. 2003. *Antibiotic resistance of E. coli in sewage and sludge*. Water Res 37: 1685-1690
15. Seil J.T., Webster T.J. 2012. *Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature*. Int. J. Nanomedicine 7: 2767-2781
16. Threedeach S., Chiemchaisri W., Watanabe T., Chiemchaisri C., Honda R., Yamamoto K. 2012. *Antibiotic resistance of Escherichia coli in leachates from municipal solid waste landfills: Comparison between semi-aerobic and anaerobic operations.* Bioresource Technol 113: 253-258
17. Wolny-Koładka K., Sikora A., Malina D. 2018. *Ocena toksyczności nanocząstek srebra w stosunku do lekoopornych szczepów Escherichia coli izolowanych z odpadów komunalnych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich - Infrastructure and Ecology of Rural Areas. 7–23
18. Zalewska J. 2019. *System gospodarowania odpadami w Polsce – stan aktualny i kierunki doskonalenia*. Ekonomika i Organizacja Logistyki. 4, 1: 103–113

Źródła internetowe:

19. EUCAST, 2022. Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters v.12.0. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.
    Protokół dostępu:
    https://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Breakpoint_tables/v_14.0_Breakpoint_Tables.pdf
20. Gniadkowski M, Żabicka D, Hryniewicz W, 2009. Rekomendacje doboru testów do oznaczania wrażliwości bakterii na antybiotyki i chemioterapeutyki. Oznaczanie wrażliwości pałeczek Gram-ujemnych. KORLD.

Protokół dostępu:
https://korld.nil.gov.pl/wp-content/uploads/2021/03/Paleczki-Gram-ujemne-rekomendacjKORLD-2009.pdf

Autor korespondencyjny: Katarzyna Wolny-Koładka
ORCID: 0000-0003-2994-8842
E-mail: katarzyna.wolny@urk.edu.pl
Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Adama Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków

Patrycja Szczechura
Jowita Cała
Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Adama Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków

Otrzymano: 10.06.2025
Zwrócono po recenzji: 24.06.2025
Opublikowano: 29.06.2025