

*Joanna Zajkowska, Maciej Kondrusik, Olga Zajkowska\*, Justyna Kuśmierczyk, Piotr Czupryna, Sławomir Pancewicz*

STATYSTYCZNA ANALIZA WPŁYWU CZYNNIKÓW  
METEOROLOGICZNYCH NA ZAPADALNOŚĆ NA KLESZCZOWE  
ZAPALENIE MÓZGU W BIAŁYMSTOKU<sup>1</sup>

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, Klinika Chorób Zakaźnych i Neuroinfekcji  
Kierownik: Sławomir Pancewicz

\*Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki,  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

*W pracy przedstawiono oszacowanie modeli regresji liniowej objaśniającej zapadalność na kleszczowe zapalenie mózgu danymi meteorologicznymi z terenu Białegostoku.*

*Słowa kluczowe: kleszczowe zapalenie mózgu, kzm, regresja liniowa*  
*Key words: tick borne encephalitis, linear regression*

WSTĘP

Światowe tendencje efektu środowiskowych zmian klimatycznych, mają odzwierciedlenie we wzroście zachorowań na choroby przenoszone przez kleszcze. Wśród nich najbardziej spektakularne jest zwiększenie zasięgu występowania i wzrost zapadalności na kleszczowe zapalenie mózgu (kzm), obserwowane w krajach nadbałtyckich i Europie Środkowej, w tym w Polsce (1,2,3). Zmian tych nie można wytłumaczyć jedynie lepszą wykrywalnością i diagnostyką, co zmusza do wzięcia pod uwagę innych czynników, które mogą mieć wpływ na zaistniałą sytuację (4).

Pomimo, że wpływ temperatury i opadów na ilość przypadków kzm nie jest bezpośredni oraz że mogą oddziaływać inne czynniki, należy rozważyć wpływ globalnego ocieplenia klimatu na rozprzestrzenianie się wirusa kzm w Europie Centralnej. Czasowe, na określonych obszarach zmiany temperatury, opadów i wilgotności powietrza prawdopodobnie wpływają

<sup>1</sup> Praca wykonana w ramach projektu EDEN.

EDEN jest europejskim projektem naukowym, którego celem jest identyfikacja, ocena i katalogowanie europejskich warunków panujących w ekosystemie i środowisku, powiązanych z globalnymi zmianami, mogącymi wpływać na przestrzenną i czasową dystrybucję i dynamikę czynników chorobotwórczych dla człowieka.

na biologię i ekologię wektorów i rezerwuarów, zatem pośrednio i na wzrost ryzyka rozprzestrzeniania się choroby (5). Jak dotychczas, dowody na to, że zmiany klimatu powodują wzrost ryzyka zachorowania na choroby odkleszczowe są dość słabe, ponieważ są one stosunkowo niewielkie w porównaniu z głównymi zmianami środowiska powodowanymi przez człowieka(4). W ogniskach utrzymywania się kzm nimfy i larwy charakteryzują się zsynchronizowanym czasem żerowania. Wpływ gorących suchych lat (czerwiec-lipiec) może powodować w przyszłości zaniki niektórych europejskich ognisk kzm. Szacuje się, że już w roku 2020 zjawisko to będzie miało miejsce na Węgrzech i Słowenii (6). Skala i dynamika rozwoju kleszczy zależą przede wszystkim od wahań sezonowych, a nie od średniorocznych różnic temperatur (7). Zaobserwowano, że ciepłe wiosny sprzyjają wcześniejszemu rozwojowi kleszczy. Wysokie temperatury w okresie marzec-maj przekładają się na szybsze rozpoczęcie żerowania w danym sezonie, wysokie temperatury w okresie marzec-wrzesień mają wpływ na intensywniejszy rozwój interstadialny. Temperatury występujące w okresie grudzień-luty nie wykazują dużego wpływu na życie kleszczy, ale na liczebność ich żywicieli. Ponadprzeciętna wilgotność w okresie kwiecień-czerwiec obniża aktywność żerowania kleszczy i zwiększa ryzyko ich śmierci z wyczerpania i niedoboru pożywienia(8). Średnie miesięczne pomiary wilgotności w oderwaniu od innych czynników mają niską wartość badawczą, gdyż nie określają ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak silne opady deszczu, które mogą mieć skrajnie różny wpływ na kleszcze i ich żywicieli. Stosunkowo niewiele wiadomo o wpływie opadów atmosferycznych na życie kleszczy, z jednej strony zbyt niski poziom opadów powoduje spowolnienie aktywności kleszczy, z drugiej- ich zbyt wysoki poziom powoduje dużą śmiertelność kleszczy (8).

## CEL PRACY

Celem pracy była statystyczna analiza wpływu czynników meteorologicznych na zapadalność na kleszczowe zapalenie mózgu w Białymstoku, poprzez oszacowanie modeli regresji liniowej z zastosowaniem dwóch modeli.

## MATERIAŁ I METODY

Wykorzystano informacje uzyskane z Urzędu Statystycznego w Białymstoku, Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku oraz Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Białymstoku. Dane obejmują: średnie dekadowe (z 10 dni) temperatury powietrza w latach 1970-2004, średnie miesięczne temperatury powietrza w latach 1994-2004, średnie miesięczne opady atmosferyczne w latach 1994-2004, średnie miesięczne wilgotności powietrza w latach 1994-2004, średnie miesięczne amplitudy (różnica między min a max) temperatur powietrza w latach 1994-2004, miesięczną i roczną zapadalność na kleszczowe zapalenie mózgu w latach 1994-2004 obliczono z liczby zanotowanych w miesiącu lub roku przypadków zachorowań w stosunku do 100 000 mieszkańców. Temp podawano w °C, wilgotność w % .

Ze względu na reformę administracyjną z roku 1998 oraz częste migracje ludności zamiast liczby zanotowanych przypadków kzm, w modelach wykorzystana została zapadalność obliczona na 100 tysięcy ludności. Umożliwia to tym samym analizę dłuższych

szeregów czasowych, a co za tym idzie również uzyskanie dokładniejszych estymatorów. Wadą przyjętego sposobu agregacji danych jest to, iż determinuje w pewnym stopniu metodę estymacji.

Obliczenia zostały wykonane przy pomocy programów Gretl i MS Excel

W analizie zastosowano modele regresji liniowej, metodę najmniejszych kwadratów (MNK). Zmienne dobierane były do modelu metodą regresji krokowej wstecznej. Przydatność zmiennych do modelu oceniana była za pomocą testu istotności opartego na teście t-Studenta. Do weryfikacji statystycznej modeli wykorzystano: test White'a, test Breuscha-Godfrey'a, test Jarque'a-Bery, test serii, test RESET (Regression Specification Error Test), test Chowa.

### Model dla danych rocznych z lat 1972-2004

$$\hat{Y}_t = 1,564 - 0,568 * X_{t_{4\_1}} + 0,436 * X_{t_{5\_2}} - 0,507 * X_{t_{5\_3}} + 0,475 * X_{t_{6\_1}} - 0,276 * X_{t_{6\_2}} - 9,366 * Z_{t_{\phi\_9}}$$

gdzie:

$\hat{Y}_t$  - szacowana miesięczna zapadalność na KZM w roku t',

$X_{t_{4\_1}}$  - średnia temperatura powietrza atmosferycznego w pierwszej dekadzie kwietnia w roku t,

$X_{t_{5\_2}}$  - średnia temperatura powietrza atmosferycznego w drugiej dekadzie maja w roku t,

$X_{t_{5\_3}}$  - średnia temperatura powietrza atmosferycznego w trzeciej dekadzie maja w roku t,

$X_{t_{6\_1}}$  - średnia temperatura powietrza atmosferycznego w pierwszej dekadzie czerwca w roku t,

$X_{t_{6\_2}}$  - średnia temperatura powietrza atmosferycznego w drugiej dekadzie czerwca w roku t,

$Z_{t_{\phi\_9}}$  - zmienna binarna przyjmująca wartość 1 dla obserwacji dokonanych w latach 1972-1992 lub wartość 0 dla obserwacji dokonanych w latach 1993-2004.

### Model dla danych miesięcznych z lat 1994-2004

poziom istotności  $\alpha=0,1$

$$\hat{Y}_t = -1,4785 + 0,0072 * X_{t_{o-2}} + 0,0075 * X_{t_{o-3}} + 0,024 * X_{t_{t-1}} + 0,0519 * X_{t_{t-3}} + 1,3933 * X_{t_w}$$

gdzie:

$\hat{Y}_t$  - szacowana miesięczna zapadalność na KZM w Białymstoku w t-tym miesiącu,

$X_{t_{o-2}}$  - miesięczna suma opadów, jaka wystąpiła 2 miesiące przed wystąpieniem analizowanej zapadalności w t-tym miesiącu,

$X_{t_{o-3}}$  - miesięczna suma opadów, jaka wystąpiła 3 miesiące przed wystąpieniem analizowanej zapadalności w t-tym miesiącu,

$X_{t-1}$  -średnia miesięczna temperatura powietrza w miesiącu poprzedzającym wystąpienie badanej zapadalności w t-tym miesiącu,

$X_{t-3}$  -średnia miesięczna temperatura powietrza poprzedzająca o 3 miesiące badaną zapadalność w t-tym miesiącu,

$X_{t_w}$  -średni miesięczny poziom wilgotności w miesiącu analizowanej zapadalności na KZM w t-tym miesiącu.

## WYNIKI

### Model 1, dla danych rocznych z lat 1972-2004

Przedstawiono wyniki modelu oszacowanego na podstawie danych rocznych z lat 1972-2004. Za zmienną objaśnianą przyjęto tu roczną zapadalność na kzm zanotowaną przez białostockie jednostki służby zdrowia. Zmiennymi objaśniającymi są średnie dekadowe temperatury powietrza atmosferycznego zanotowane w Białymstoku oraz zmienna binarna, której celem było rozgraniczenie dwóch podokresów w próbie- do roku 1992 oraz od roku 1993. W procesie budowy i weryfikacji modelu przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,1$ . Zmienne objaśniające dobrano metodą regresji krokowej wstecznej.

Na podstawie otrzymanego modelu można, przy założeniu *ceteris paribus*, interpretować oceny parametrów strukturalnych:

- Wzrost średniej temperatury w pierwszej dekadzie kwietnia i 1°C spowoduje spadek wskaźnika zapadalności na kzm średnio o 0,567692 w ciągu roku.
- Wzrost średniej temperatury w drugiej dekadzie maja o 1°C spowoduje wzrost wskaźnika zapadalności na kzm średnio o 0,436015 w ciągu roku.
- Wzrost średniej temperatury w trzeciej dekadzie maja i 1°C spowoduje spadek wskaźnika zapadalności na kzm średnio o 0,50729 w ciągu roku.
- Wzrost średniej temperatury w pierwszej dekadzie czerwca i 1°C spowoduje wzrost wskaźnika zapadalności na kzm średnio o 0,475041 w ciągu roku.
- Wzrost średniej temperatury w drugiej dekadzie lipca i 1°C spowoduje spadek wskaźnika zapadalności na kzm średnio o 0,275593 w ciągu roku.
- Wskaźnik zapadalności na kzm był przed rokiem 1993 średnio o 9,36575 niższy niż po roku 1993.

Zmienne, które weszły do modelu potwierdzają przypuszczenia o wpływie czynników meteorologicznych w okresie wiosennym na aktywność kleszczy.

Ujemne zależności między zmiennymi objaśniającymi a zmienną objaśnianą sugerują większą złożoność problemu, niż zostało to uwzględnione w modelu. Problem zapadalności na kzm jest stosunkowo nowy i nie został jeszcze dokładnie zbadany, dlatego też trudno o dokładną merytoryczną interpretację. Jednak otrzymane wyniki sugerują, iż jest to poprawny kierunek poszukiwań.

### Model 2, dla danych miesięcznych z lat 1994-2004

Model drugi ma za zadanie wyznaczenie ilościowych zależności opisujących miesięczną zapadalność na kzm oraz czynników meteorologicznych takich jak opady, temperatura i wilgotność powietrza. Model powstał na podstawie danych miesięcznych z lat 1994-2004. Zmienną objaśnianą jest tu miesięczna zapadalność na kzm zanotowana w Białymstoku. Potencjalnymi zmiennymi objaśniającymi były zanotowane w Białymstoku średnie miesięczne temperatury oraz średnie miesięczne amplitudy temperatur powietrza atmosferycznego, ilość opadów atmosferycznych oraz średnia wilgotność powietrza. Ze względu na specyfikę zjawiska uwzględnione zostały zmienne opóźnione. Maksymalne rozważane opóźnienie jest opóźnieniem kwartalnym  $t=3$ .

Na podstawie otrzymanego modelu można, przy założeniu *ceteris paribus*, interpretować oceny parametrów strukturalnych. Jednak do wyników należy podchodzić bardzo ostrożnie:

- Wzrost sumy opadów o 1mm na 2 miesiące przed wystąpieniem badanego zjawiska zapadalności na kzm powodował wzrost wskaźnika zapadalności o 0,00721909.
- Wzrost sumy opadów o 1mm na 3 miesiące przed wystąpieniem badanego zjawiska zapadalności na kzm powodował wzrost o wskaźnika zapadalności 0,00750485.
- Wzrost średniej temperatury o 1°C na 1 miesiąc przed wystąpieniem badanego zjawiska zapadalności na kzm powodował wzrost wskaźnika zapadalności 0,024039.
- Wzrost średniej temperatury o 1°C na 3 miesiące przed wystąpieniem badanego zjawiska zapadalności na kzm powodował wzrost o wskaźnika zapadalności 0,0519364.
- Wzrost średniego poziomu wilgotności powietrza o 1 w miesiącu, w którym badane jest zjawisko zapadalności na kzm powodował wzrost wskaźnika zapadalności o 1,39325.

Utworzony model opisujący zapadalność w latach 1994-2004 nie spełnia większości założeń regresji liniowej dotyczących reszt losowych w modelu. Nie można wskaźnika zapadalności uważać za dokładne źródło informacji o wpływie badanych czynników na zapadalność na kleszczowe zapalenie mózgu.

Model ten uwzględnia wpływ zarówno temperatury, opadów jak i wilgotności powietrza na zapadalność na kzm. Potwierdza też, iż stan środowiska zewnętrznego jest kluczowy w procesach życiowych kleszczy powodujących kzm. Wilgotność powietrza jest ważnym czynnikiem, ponieważ kleszcze pobierają wodę z atmosfery. Jej wzrost powoduje również wzrost aktywności nimf kleszczy. Poziom opadów ma duży wpływ na ich przeżywalność, temperatura natomiast - na ich aktywność rozwojową. Istotność opóźnień świadczy o tym, że model uwzględnia okres rozwoju kleszczy zainicjowany zjawiskami meteorologicznymi, okres wiremii kzm w organizmach ludzi oraz to, że chorzy zgłaszają się do szpitali mniej więcej w drugim tygodniu choroby. Jednak użyteczność modelu sprowadza się jedynie do potwierdzenia hipotezy o złożoności zjawiska i wskazania kierunku przyszłych badań.

### PODSUMOWANIE

Choroby odkleszczowe stanowią istotny problem epidemiologiczny w Polsce północno-wschodniej (9,10). Jest to zagadnienie bardzo złożone i jego analiza wymaga wzięcia pod uwagę wielu powiązań przyczynowo-skutkowych między różnymi zjawiskami (11). Kleszcze wywołują na świecie szereg chorób zakaźnych takich jak: borelioza, kleszczowe

zapalenie mózgu, erlichioza, babesioza, gorączka Q i inne. W polskich warunkach istotne znaczenie mają tylko dwie pierwsze z nich przenoszone przez gatunek *Ixodes ricinus*. Kzm w przeciwieństwie do boreliozy występuje jedynie w obszarach swoich ognisk endemicznych oraz charakteryzuje się szybszym i mniej złożonym przebiegiem, zatem lepiej nadaje się do opracowania modeli za pomocą zjawisk meteorologicznych (5). Zjawiska te warunkują zachowanie zarówno kleszczy jak i ludzi, co z kolei ma istotny wpływ na krążenie wirusa kzm w przyrodzie oraz w konsekwencji na zachorowania na choroby odkleszczowe (4). W literaturze przedmiotu wskazywana jest również zależność między występowaniem chorób przenoszonych przez kleszcze a zmianami środowiska naturalnego, różnorodnością biologiczną, strukturą lasu, jak również obowiązkowymi programami szczepień (12,13).

W pracy starano się określić ilościowe zależności pomiędzy zapadalnością na kleszczowe zapalenie mózgu a czynnikami meteorologicznymi w okolicach Białegostoku. W tym celu wykorzystano dwa modele matematyczne. Na podstawie danych rocznych z okresu 1972-2004 oszacowano parametry modelu opisujące wpływ temperatur w poszczególnych miesiącach na roczną zapadalność na kzm. Ponadto pokazany został wyraźny wzrost liczby zachorowań na kleszczowe zapalenie mózgu zapoczątkowany w roku 1993. Związek między progami temperatur powietrza, w których kleszcze zwiększają swoją aktywność, a zapadalnością na kzm, jest ewidentny. Model ten dowodzi również, że temperatury nie są jedynym czynnikiem pogodowym warunkującym aktywność kleszczy. Pokazuje on ogólną tendencję zjawiska w długim okresie. Dokładniejsza analiza nie była jednak możliwa ze względu na stosunkowo niewielką ilość dostępnych danych na temat liczby zachorowań na kzm w Polsce. Rozpatrywane oddzielnie zależności między zapadalnością na kzm a temperaturą powietrza atmosferycznego, amplitudami miesięcznymi temperatur, ilością opadów czy wilgotnością powietrza są istotne. Jednak rozpatrywane łącznie niektóre tracą na znaczeniu, co zostało wykazane z drugim modelem. Istotną kwestią jest uwzględnienie czasu rozprzestrzeniania się wirusa w środowisku oraz okresu wylegania choroby, zatem ważne jest uwzględnienie zmiennych opóźnionych przy próbach wyjaśniania przyczyn zapadalności na kzm w poszczególnych miesiącach. Na podstawie danych miesięcznych z lat 1994-2004 został utworzony drugi model, objaśniający miesięczną zapadalność na kzm, uwzględniający więcej potencjalnych czynników meteorologicznych (14). Jednak ze względu na niespełnienie części założeń regresji liniowej dotyczących właściwości reszt losowych, służy on głównie omówieniu problemów napotykanym w czasie prowadzenia badań w ramach projektu EDEN. Uświadamia on również, że przyczyny wzrostów i spadków zapadalności na kzm jeszcze przez długi czas pozostaną nieznanne. Modele przedstawione w pracy pokazują zagadnienie kleszczowego zapalenia mózgu z dwóch perspektyw. Jednak oba dowodzą, że kluczową rolę wśród przyczyn wpływających na liczbę zachorowań ma pogoda w okresie wiosennym od kwietnia do lipca. Z pierwszego modelu wynika to bezpośrednio. Te same wnioski można wysnuć na podstawie drugiego modelu uwzględniając fakt, że szczyt zachorowań na kzm przypada latem i wczesną jesienią. Warunki klimatyczne i zakres występowania kzm nie dają uniwersalnych wzorców zapadalności na tę chorobę. Wyznaczają natomiast obszary, w których na przestrzeni najbliższych kilku lat prowadzone będą badania mające na celu bardziej precyzyjne opisanie problemu.

#### **Od Redakcji:**

Pracę publikujemy pomimo zastrzeżenia jednego z recenzentów, że regresja liniowa jest

nieodpowiednią metodą do analiz, w których jako zmienna występuje zapadalność. „Zapadalność jako zdarzenie stosunkowo rzadkie, zarówno w czasie i przestrzeni, znacznie lepiej odwzorowywana jest przez rozkład Poissona niż przez rozkład normalny”.

*J Zajkowska, M Kondrusik, O Zajkowska, J Kuśmierczyk, P Czupryna, S Pancewicz*

STATISTICAL ANALYSIS OF INFLUENCE OF METEOROLOGICAL DATA ON THE  
INCIDENCE RATE OF TICK-BORNE ENCEPHALITIS IN BIALYSTOK

SUMMARY

The paper describes estimating the tick-borne encephalitis incidence rate by meteorological data using linear regression method. The study shows 2 models of TBE incidence. First one describes general dependency between temperatures and TBE incidence (1972-2004). The second one (1994-2004) tries to find out more specific characteristics.

PIŚMIENNICTWO

1. Randolph S E. Evidence that climate change has caused „emergence” of tick-borne diseases in Europe? *Int J Med Microbiol* 2004;293, Suppl. 37: 5-15.
2. Broker M, i in. New foci of tick –borne encephalitis virus in Europe: Consequences for travelers from abroad. *Travel Med Infect Dis* 2003,1(3):181-184.
3. Talleklint L i in. Increasing geographical distribution and density of ixodes ricinus (Acari:Ixodidae) in central and northern Sweden. *J Med Entomol* 1998;35(4):521-526.
4. Zajkowska J, Kondrusik M i in. Zmiany środowiskowe a zachorowania na choroby odkleszczowe. W: Stawonogi. Znaczenie epidemiologiczne. Pod red A Buczek i Cz Błaszak, Lublin, 2006:233-241.
5. Randolph SE. Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. *Parasitology* 2004;129 Suppl:S37-65.
6. Zeman P, Benes C. A tick-borne encephalitis ceiling in Central Europe has moved upwards during the last 30 years: possible impact of global warming? *Int J Med Microbiol* 2004;293, Suppl. 37: 48-54.
7. Šumilo D. Tick-borne encephalitis in the Baltic States: Identifying risk factors in space and time. *Int J Med Microbiol* 2006;296, Suppl 40: 76-79.
8. Siuda K. Kleszcze Polski (ACARI: Ixodida) cz. 2: Systematyka i rozmieszczenie, Warszawa : Polskie Towarzystwo Parazytologiczne 1993.
9. Stefanoff P. Factors influencing tick borne encephalitis endemicity In Poland. Abstract of a thesis presented to the Faculty of the University At Albany, SUNY, 2004.
10. Kondrusik M, Biedzińska T, Pancewicz S.i in. Zachorowania na kleszczowe zapalenie mózgu (kzm) w województwie białostockim/podlaskim w latach 1993-2002. *Przegl Epidemiol* 2004;58(2):273-280.
11. Randolph S. Predicting the risk of tick-borne diseases. *Int J Med Microbiol* 2002. Suppl 33:6-10.
12. Pancewicz S A, Hermanowska-Szpakowicz T, Kondrusik M. Aspekty epidemiologiczno-kliniczne i profilaktyka kleszczowego zapalenia mózgu, *Polski Przegląd Neurologiczny* 2006; 2(1):7-12
13. Pancewicz S A. Epidemiologia kleszczowego zapalenia mózgu. W: Kleszczowe zapalenie mózgu. Pod red prof. T. Hermanowskiej-Szpakowicz. Białystok 1996:5-16.

14. Zajkowska O. Statystyczna analiza wpływu czynników meteorologicznych na zapadalność na kleszczowe zapalenie mózgu w Białymstoku. Praca licencjacka napisana pod kierunkiem dr H. Dudek w Katedrze Ekonometrii i Statystyki SGGW, 2007.

Otrzymano: 17.10.2007

**Adres do korespondencji:**

Dr hab. Joanna Zajkowska,

Klinika Chorob Zakaźnych i Neuroinfekcji Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku

Białystok 15-540,

Ul. Żurawia 14

zajkowsk@neostrada.pl; zajkowsk@umwb.edu.pl