

ANALIZA PRZESTRZENNEGO UKŁADU SIECI DRÓG I CIEKÓW W GMINIE WIEJSKIEJ

Michał Fiedler¹, Magdalena Antkowiak¹, Mariusz Sojka¹

¹ Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94E, 60-693 Poznań, e-mail: fiedler@up.poznan.pl

STRESZCZENIE

Drogi i związana z nimi infrastruktura mogą znacząco oddziaływać na stan środowiska. Sieć drogowa wpływa na wielkość spływów powierzchniowych i może prowadzić do zmian w obiegu wody w środowisku. Zwiększenie wielkości terenów nieprzepuszczalnych wpływa na zmniejszenie infiltracji i zdolności retencyjnych, co powoduje, że w okresach roztopów oraz opadów burzowych punkty łączne sieci dróg i cieków stanowią dodatkowe źródło wody dopływającej do cieków. Prowadzi to do zwiększenia fal wezbraniowych oraz przyspiesza czas ich wystąpienia. W pracy przedstawiono metodę pozwalającą na określenie obszarów szczególnie narażonych na zwiększony dopływ wód powierzchniowych do cieków. Do analizy wykorzystano takie parametry jak: gęstość sieci cieków, gęstość sieci drogowej, rozkład punktów łącznych obu sieci oraz długość cieków w odległości mniejszej niż 100 m od dróg. Wyniki badań wykazały liczne występowanie punktów łącznych wynikające z dość dużej gęstości zarówno sieci drogowej, jak i sieci cieków. Analizowany obszar wykazuje równocześnie dużą zmienność możliwości wpływu dróg na przepływy w ciekach. Tereny o najwyższym zagrożeniu zajmują prawie 25% powierzchni całkowitej i powinny podlegać szczegółowej analizie w kontekście zagospodarowania przestrzeni.

Słowa kluczowe: sieć drogowa, sieć rzeczna, spływ powierzchniowy.

ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF ROAD AND STREAM NETWORKS IN THE RURAL COMMUNITY

ABSTRACT

Roads and infrastructure strongly influenced on the environment. Therefore an effect of road network on hydrological conditions of watershed should be taken into account. Road networks have an effect on surface water flow and lead to direct and indirect changes of water circulation in the environment. Road networks appear to have increased contribution of impermeable areas and decreased infiltration and retention capabilities. This effect in increasing of flood waves peak and also expedite time to their occurrence. During storms or snow melting junctions of road and stream networks could be additional sources of water flowing directly from road surface or from ditch to the stream. In the paper we describe method which could help to find areas with high interaction between road networks and stream networks. Examined area of Kleszczewo community was divided into grid which consist of 92 square cells of 1 km side size. For each cell we described the interaction of road

and stream networks. The generalized factor take into account density of stream network, density of road network, number of junctions of both networks and length of roads closer than 100 m from streams in each cell. Calculated values of the factor allow to distinct three classes of interaction possibilities. Results of investigation showed that the community area has big density of stream network, as well as road network what effect in numerous junction points. The majority of junctions occur between streams and field roads. Analyzed area show great variability in possibility of interaction between road network and stream network occurrence. Areas with highest possibility of such interaction took almost 25% of total area. Such places could effect in higher direct storm water flow into streams, and in consequence higher flood peaks.

Keywords: road network, stream network, surface outflow.

WSTĘP

Drogi i związana z nimi infrastruktura silnie oddziałują na środowisko. Badania prowadzone w tym zakresie skupiają się przede wszystkim na określeniu zagrożeń dotyczących fauny i flory, skażenia powietrza, wody i gleby, jak również skutków hałasu i drgań. Zadaniem planisty jest kompleksowe ujęcie wpływu dróg na przestrzeń przyrodniczą, także w aspekcie hydrologicznym [Kupiec i in. 2005].

Drogi, jako jeden z przejawów urbanizacji, wpływają na kształtowanie się odpływu wód opadowych. Prowadzą zatem do zmiany obiegu wody zarówno w sposób pośredni, jak i bezpośredni. Wzrost ich zagęszczenia powoduje wzrost powierzchni nieprzepuszczalnych w zlewni, a co za tym idzie ogranicza możliwości infiltracji i zmniejsza retencję [Dynowska 1993]. Uszczelnienie powierzchni skutkuje zwiększeniem i przyspieszeniem odpływu wody ze zlewni [Forman 2009, Jones i in. 2000].

Ponadto drogi, jako obiekty liniowe przecinają się z siecią hydrograficzną. W miejscach styku tych układów pojawia się konieczność budowy obiektów inżynierskich, jak mosty i przepusty. Wymagają one zdrenowania, co powoduje lokalne odwodnienie terenu oraz wzrost odpływu powierzchniowego. Podobnie oddziałują związane z drogami nasypy, wykopy i skarpy [Dynowska 1993].

CEL I METODYKA BADAŃ

W pracy podjęto próbę wskazania tych części gminy, w których mogą występować najsilniejsze interakcje między siecią drogową i siecią rzeczną. Ze względu na fakt, iż jest to cecha zależna od wielu czynników, które nie są ze sobą porównywalne, do analizy wykorzystano miernik syntetyczny opracowany na podstawie omówionych poniżej czterech zakresów diagnostycznych.

Pierwszym etapem pracy było sporządzenie tematycznych map wektorowych analizowanego obszaru na podstawie podkładów kartograficznych (topograficzna mapa gminy Kleszczewo 1 : 25 000 WODGiK, Rastrowa Mapa Podziału Hydrograficznego

Polski 1:50 000, internetowe serwery WMS – GEOPORTAL oraz Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Poznaniu). W tym celu wykorzystano oprogramowanie Quantum GIS 1.7.1. Analizy przestrzenne i obliczenia statystyczne prowadzone były przy wykorzystaniu siatki wektorowej, której pola miały kształt kwadratu o boku 1 km. Analizie poddane zostały te pola jednostkowe, w których obszar gminy był nie mniejszy niż 0,1 km². Pozwoliło to wyróżnić 92 pola jednostkowe obejmujące łącznie 99,7% powierzchni gminy. Dla zobrazowania przestrzennego zróżnicowania uzyskanych wyników wykonano mapy przy zastosowaniu interpolacji metodą odwrotnych odległości (IDW).

Dla realizacji celu wykorzystano miernik syntetyczny, pozwalający uwzględnić szereg czynników uwzględniających zmienność przestrzenną wybranych do analizy parametrów opisujących drogi i cieki wodne oraz ich wzajemne powiązanie. Jego konstrukcję, zgodnie z zaleceniami Wysockiego i Liry [2005], przeprowadzono w trzech etapach. Po pierwsze, ustalono cechy diagnostyczne i określono ich wartość liczbową. Wybrano mianowicie cztery zakresy zmiennych diagnostycznych, z czego trzy ukazane zostały za pomocą wskaźników syntetycznych i jeden w postaci wskaźnika prostego.

Ze względu na fakt, iż wszystkie cechy uznano za stymulanty, do normalizacji wskazanych wielkości wykorzystano wzór [Wysocki i Lira 2005]:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i \{x_{ij}\}}, \text{ dla } \max_i \{x_{ij}\} > 0,$$

gdzie: z_{ij} – znormalizowana wielkość j-tej cechy prostej w i-tym polu jednostkowym,
 x_{ij} – wielkość j-tej cechy prostej w i-tym polu jednostkowym,
 $\max_i \{x_{ij}\}$ – maksymalna wielkość j-tej cechy prostej.

Jako analizowane cechy diagnostyczne wybrano jako wskaźniki syntetyczne: gęstość dróg (km/km²), liczbę punktów łącznych sieci dróg i sieci cieków (szt.), długość dróg w odległości poniżej 100 m od cieków (m) oraz gęstość cieków (km/km²) jako wskaźnik prosty. Wielkości wskaźników syntetycznych wyznaczone zostały na podstawie wartości cech prostych obliczonych dla klas dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych, gminnych i polnych. W tym celu posłużono się metodą bezwzorcową, opierającą się na następującej formule [Wysocki i Lira 2005]:

$$\bar{q}_i = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij}}{m}, \text{ dla } (i = 1, 2, \dots, m).$$

gdzie: \bar{q}_i – wartość miernika syntetycznego w i-tym polu jednostkowym,
 m – liczba cech prostych.

Tak wyznaczone wartości dały możliwość podziału badanej gminy na trzy klasy. Klasyfikację tę wykonano na podstawie poniższych zależności:

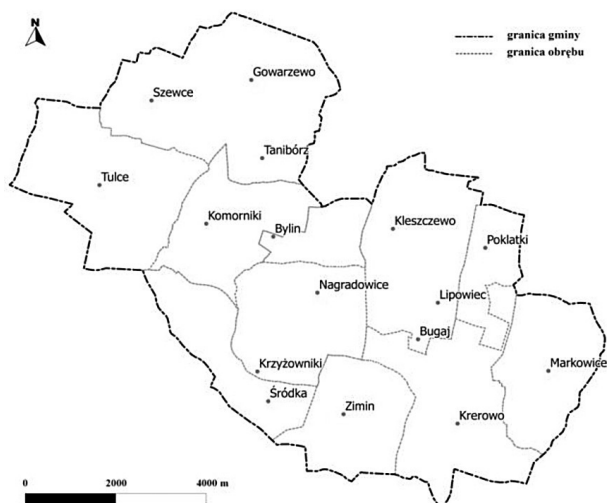
- dla klasy I: $q_i \geq \bar{q} + 0,5 \cdot s_q,$

- dla klasy II: $\bar{q} + 0,5 \cdot s_q > q_i \geq \bar{q} - 0,5 \cdot s_q$,
- dla klasy III: $q_i < \bar{q} - 0,5 \cdot s_q$.

gdzie: s_q – odchylenie standardowe.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Gmina Kleszczewo zlokalizowana jest w województwie wielkopolskim, w południowo-wschodniej części powiatu poznańskiego. Jest to gmina wiejska obejmująca obszar 74,46 km², w skład której wchodzi 12 sołectw (rys. 1).



Rys. 1. Gmina Kleszczewo

Położenie gminy Kleszczewo wyznaczają następujące współrzędne: 52°16' do 52°22' N i 17°2' do 17°14' E. Zgodnie z podziałem fizycznogeograficznym Polski znajduje się na obszarze mezoregionu Równiny Wrzesińskiej (315.56), makroregionu Pojezierza Wielkopolskiego (315.5) [Kondracki 2009]. Zgodnie z podziałem hydrograficznym Polski analizowana jednostka administracyjna zlokalizowana jest na terenie dwóch zlewni III rzędu. Zlewnia rzeki Kopel oznaczona kodem 18574, obejmuje 99,2% obszaru gminy Kleszczewo. Pozostała, południowo-wschodnia część gminy stanowi zlewnię Średzkiej Strugi oznaczonej kodem 185744 [Czarnecka 2005].

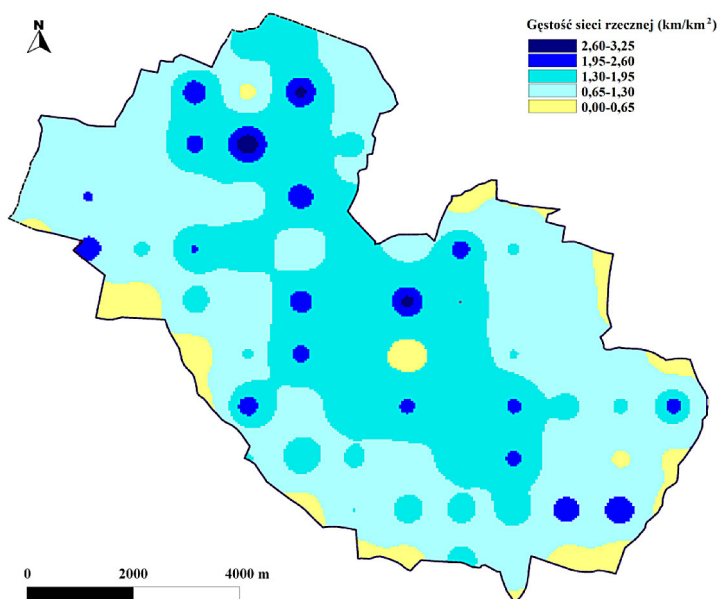
Zgodnie z wydzielonymi przez Wosia [1999] regionami klimatycznymi Polski gmina Kleszczewo leży w granicach Regionu Środkowowielkopolskiego (Region XV). W regionie tym występuje średnio 60 dni w ciągu roku, które charakteryzują się pogodą bardzo ciepłą i jednocześnie pochmurną, 39 spośród nich, to dni bez opadów (typ pogody 310). Z kolei według podziału Gumińskiego obszar ten należy do

Dzielnicy Środkowej, dla której charakterystyczna długość okresu wegetacyjnego to 220 dni. Obszar ten wyróżnia się najniższymi opadami rocznymi w kraju, o średniej sumie niższej niż 550 mm [Rychling i Ostaszewska 2005].

WYNIKI

Jednym z czynników wpływających na odpływ wody jest rozkład sieci cieków na terenie gminy. Sieć rzeczną na terenie gminy Kleszczewo tworzą cieki Kopel, Męcina, Dopływ spod Czerlejna i Dopływ spod Krerowa, których łączna długość wynosi 32,95 km oraz 77,57 km drobniejszych cieków.

Średnia gęstość cieków obliczona dla całego analizowanego obszaru wyniosła 1,48 km/km². Zaznaczyć jednak należy, iż w skali gminy wartości wskaźnika gęstości cieków są zróżnicowane (rys. 2). Największym zagęszczeniem wód płynących charakteryzują się obręby wsi Gowarzewo oraz Kleszczewo, gdzie wartość obliczonego wskaźnika wynosi odpowiednio 3,08 km/km² i 2,68 km/km². Przeważająca część gminy (55,5% jej powierzchni) charakteryzuje się gęstością cieków na poziomie 1–2 km/km². Obszary o najniższej gęstości cieków, bo wynoszącej poniżej 0,6 km/km², to zalesione tereny północno-zachodniej części gminy oraz obręb sołectwa Markowice (rys. 1 i 2).

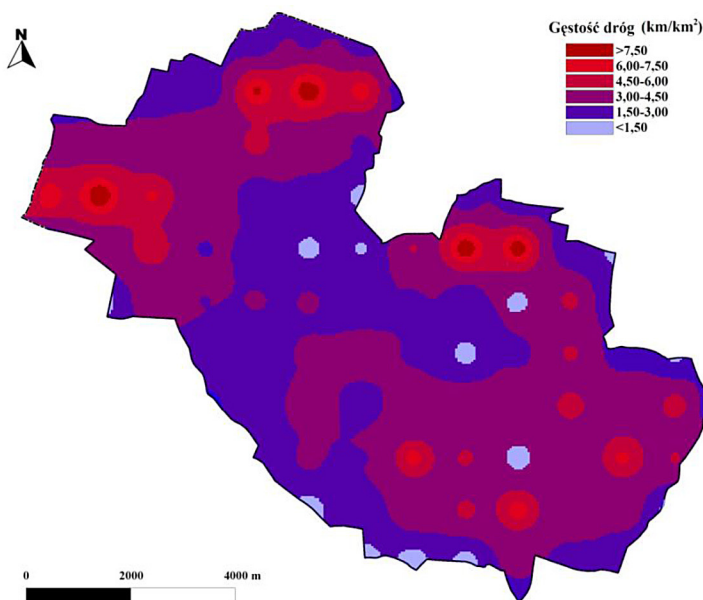


Rys. 2. Gęstość sieci rzecznej na obszarze gminy Kleszczewo

Następnym czynnikiem koniecznym do uwzględnienia w analizie jest przestrzenny układ sieci dróg. Układ drogowy gminy Kleszczewo tworzy droga krajowa A2 (11,95

km), drogi wojewódzkie (9,81 km), powiatowe (41,29 km), gminne (98,86 km) oraz drogi polne (101,37 km), których łączna długość jest równa 263,8 km.

Dla gminy Kleszczewo gęstość sieci dróg utwardzonych wynosi 2,18 km/km², a z uwzględnieniem długości dróg polnych jest równa 3,54 km/km². Są to wartości dość wysokie w porównaniu do innych regionów kraju, np. według Salamona [2008] średnia wartość gęstości sieci drogowej dla 97 gmin wiejskich województwa świętokrzyskiego wynosi 0,68 km/km². Równocześnie zaobserwowano znaczne zróżnicowanie gęstości dróg w skali gminy, a obliczony wskaźnik gęstości sieci drogowej wynosi od 0,36 do 8,78 km/km². Największym zagęszczeniem dróg charakteryzują się obręby Tulce i Gowarzewo oraz Kleszczewo (rys. 1 i 3). Przy czym w przypadku pierwszych dwóch wsi, o wysokiej wartości wskaźnika zadecydowała długość dróg gminnych, zaś w przypadku Kleszczewa długość dróg polnych.

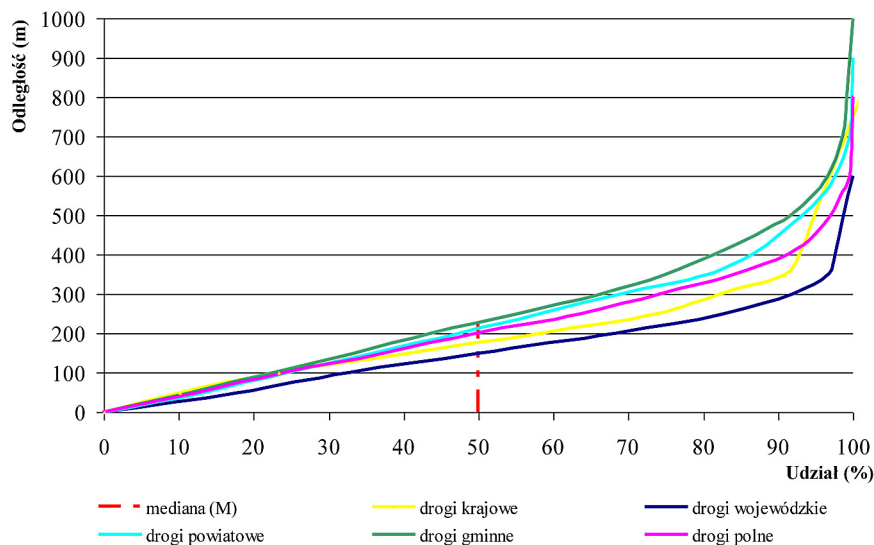


Rys. 3. Gęstość dróg na terenie gminy Kleszczewo

Czynnikiem wpływającym na możliwość wpływu sieci drogowej na odpływy jest odległość cieków od sieci drogowej. Przeprowadzona analiza wykazała, iż 25% (64,32 km) łącznej długości dróg przebiegających przez obszar gminy znajduje się w odległości nie większej niż 100 m od cieków (rys. 4). Kolejne 24% dróg znajduje się w przedziale odległości 100–200 m od wód płynących. W strefach położonych do 400 m od cieków dominują drogi polne, gdzie stanowią od 38,8% (w przedziale 0–100 m) do 41,9% (w przedziale 300–400 m) łącznej długości dróg. Wraz ze wzrostem odległości od cieków udział dróg tej kategorii maleje na rzecz dróg gminnych. Udział dróg gminnych jest najwyższy w odległościach powyżej 500 m od wody, gdzie stanowią

one od 52,3 % (w przedziale 400–500 m) do 100% długości sieci drogowej. Średnia odległość dróg od sieci rzecznej wynosi 224,8 m, a 50% sieci drogowej zlokalizowane jest w odległości nie przekraczającej 208 m od cieków (rys. 4).

Rozpatrując koncentrację dróg w okolicach cieków odrębnie dla każdej kategorii stwierdzić można, iż najbliżej sieci rzecznej przebiegają drogi wojewódzkie, ponieważ 25% z nich skoncentrowanych jest w odległości nie większej niż 75 m, a 50% w odległości nie większej niż 150 m od wody (rys. 4). Drogi tej kategorii charakteryzują się również najniższą średnią odległością od cieków wynoszącą 158 m. Wynika to z faktu, iż znajdująca się w północnej części gminy droga nr 433 biegnie wzdłuż rzeki Kopel, w odległości wahającej się od 100 do 280 m (rys. 5).

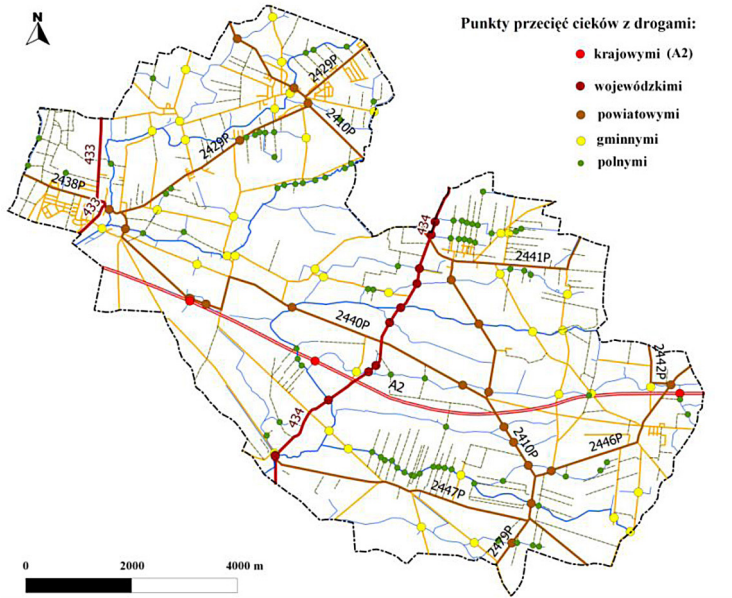


Rys. 4. Udział długości dróg (wg kategorii) w strefach odległości od cieków

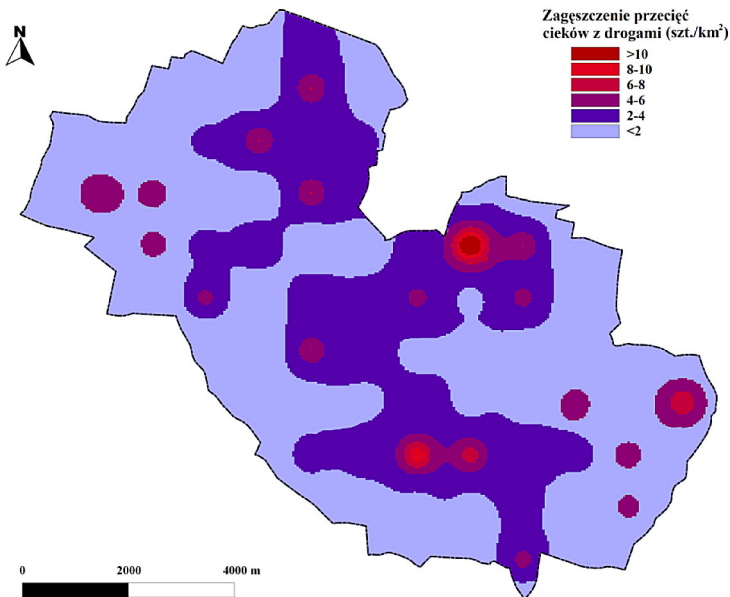
Najmniejszą koncentracją w okolicach sieci rzecznej charakteryzują się drogi gminne, ponieważ 25% ich łącznej długości znajduje się w strefie 110 m, a 50% w strefie 230 m od wód płynących. Ich średnia odległość od cieków wynosi 249 m, jest tym samym najwyższa spośród średnich wyznaczonych dla wszystkich kategorii dróg (rys. 4).

Czynnikiem, który wskazuje na możliwość bezpośredniego oddziaływania sieci dróg na przepływy w sieci rzecznej są punkty łączne tych układów. Na obszarze gminy Kleszczewo wyznaczono 157 punktów łączących sieć drogową i sieć rzeczną, a średnia odległość między nimi wynosi 293 m (rys. 5). Zaznaczyć należy, iż 52% z nich (82 przecięcia) to przecięcia między ciekami i drogami polnymi, kolejne 24% stanowią przecięcia z drogami gminnymi.

Największe zagęszczenie liczby przecięć występuje w okolicy miejscowości Kleszczewo – 12 przecięć/km² oraz w obrębie miejscowości Zimin – 8 przecięć/

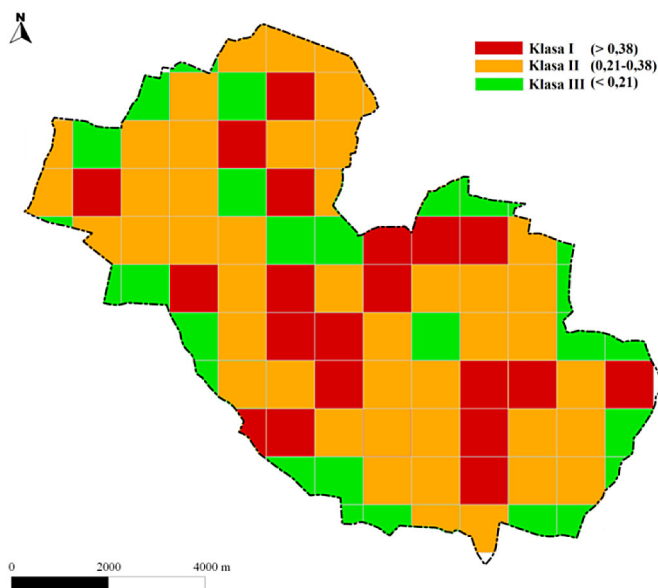


Rys. 5. Punkty łączne sieci rzecznej i sieci drogowej



Rys. 6. Przestrzenne zróżnicowanie zagęszczenia punktów łącznych sieci rzecznej i sieci drogowej

km² (rys. 1 i 6). W obu przypadkach są to głównie przecięcia z drogami polnymi. Połączenie omówionych wcześniej czynników jako wskaźnika syntetycznego pozwala stwierdzić, że badany obszar charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem pod względem możliwości wzajemnych oddziaływań sieci drogowej i sieci rzecznej (rys. 7).



Rys. 7. Mapa podziału obszaru gminy na klasy

W pierwszej klasie znalazły się obszary, na których mogą zachodzić najsilniejsze interakcje między siecią rzeczną i siecią drogową. Zaliczonych zostało tu 20 spośród analizowanych pól jednostkowych, a łączna powierzchnia obszaru mieszczącego się w tej klasie stanowi 23,8% powierzchni gminy (rys. 1 i 7). Miernik syntetyczny osiągał najwyższe wartości w obszarze miejscowości Gowarzewo, gdzie wyniósł 0,82 oraz w obrębie wsi Kleszczewo, gdzie zawierał się w przedziale 0,42–0,78. W pierwszym przypadku o tak wysokiej wartości miernika syntetycznego zdecydowały wskaźniki gęstości cieków i gęstości dróg (jedne z najwyższych w gminie). Zaś w drugim przypadku uzyskane wartości wynikają z najwyższego na badanym terenie zagęszczenia liczby przecięć. Warto dodać, że obszar miejscowości Gowarzewo rozdzielony został pośród wszystkie klasy. Centrum miejscowości zaliczono do klasy I, z kolei północno-wschodnia część, która również wyróżnia się wysoką wartością wskaźnika gęstości dróg zaliczona została do klasy III. Wynika to z faktu, iż pole jednostkowe obejmujące ten fragment miejscowości nie zawiera przecięć między drogami i ciekami, a odległości między analizowanymi układami przekraczają 100 m. W grupie tej znalazły się również tereny wzdłuż całej długości drogi wojewódzkiej nr 434.

Klasa II określająca średni poziom interakcji między siecią drogową, a siecią rzeczną obejmuje 52% powierzchni gminy (45 pól jednostkowych). Są to obszary,

dla których wartość miernika syntetycznego zawierała się w przedziale od 0,21 do 0,38 (rys. 7). Na terenach zaliczonych do tej klasy przebiega 71% długości autostrady. Pozostała jej część przebiega na terenach zaliczonych do I klasy.

Do ostatniej grupy zaklasyfikowano 27 pól jednostkowych, pokrywających 20,7% powierzchni gminy (rys. 7). Najmniejsza możliwość interakcji między układem drogowym a ciekami występuje zatem w części terenu leśnego na północy gminy oraz w okolicach miejscowości Zimin i Bylin. Nie występują tu bowiem przecięcia między ciekami i drogami. Z kolei w przypadku terenów w obrębach miejscowości Tulce i Komorniki położonych po południowej stronie autostrady o niskiej wartości wskaźnika syntetycznego zdecydował brak cieków.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Kształtowanie się odpływu wód deszczowych jest procesem bardzo złożonym, który warunkowany jest przez wiele czynników. W pracy oparto się na czterech parametrach diagnostycznych obrazujących zmienność przestrzenną sieci dróg i cieków, co dało podstawę do wstępnego wskazania obszarów potencjalnie narażonych na silne oddziaływanie między siecią drogową i siecią wód płynących.

Badania przeprowadzone nad określenie interakcji między siecią drogową a siecią cieków na terenie wiejskiej gminy Kleszczewo umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

1. Analizowana gmina charakteryzuje się dużą gęstością sieci cieków i wysoką gęstością sieci dróg, co powoduje wystąpienie licznych punktów łącznych pomiędzy tymi układami. W większości są to przecięcia cieków z drogami polnymi, stanowiącymi 38% łącznej długości dróg na tym obszarze.
2. Zastosowanie miernika syntetycznego pozwala na wyróżnienie obszarów o różnym stopniu związków pomiędzy siecią drogową a siecią cieków. Pozwala on na wskazanie obszarów najbardziej narażonych na zwiększony dopływ wód w okresach opadów lub roztopów.
3. Analizowany teren jest znacznie zróżnicowany pod względem możliwości wzajemnych oddziaływań sieci drogowej i sieci rzecznej, o czym świadczą duże rozpiętości między wartościami wyznaczonego miernika syntetycznego. Obszary, gdzie zachodzić mogą najsilniejsze interakcje pomiędzy drogami i ciekami stanowią 23,8% powierzchni gminy.

LITERATURA

1. Czarnecka A. 2005. Atlas podziału hydrograficznego Polski. Seria Atlasy IMGW, Warszawa.
2. Dynowska I. 1993. Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych. Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

3. Forman R. 2009. Ekologia dróg. http://zielonasiec.pl/wp-content/uploads/ekologia_drog.pdf [11.12.2011].
4. Jones J., Swanson F., Wimple B., Snyder K. 2000. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. http://www.geo.oregonstate.edu/classes/geo582/week_9_1_roads_and_landscape_disturb/jones_et_al_consbio_00.pdf [25.11.2011].
5. Kondracki J. 2009. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
6. Kupiec L., Truskolaski T., Gołębiowska A. 2005. Gospodarka przestrzenna. Tom VII. Infrastruktura techniczna, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
7. Richling A., Ostaszewska K. 2005. Geografia fizyczna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
8. Salamon J. 2008. Efekt opóźnionego oddziaływania wybranych elementów otoczenia obszarów wiejskich na poziom rozwoju wielofunkcyjnego. *Inżynieria Rolnicza* 9(107), 263–270.
9. Woś A. 1999. Klimat Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
10. Wysocki F, Lira J. Poznań 2005. Statystyka opisowa. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.