

# Badanie czystości ekologicznej powiatów w województwie Podkarpackim

## 1. Wstęp

Województwo podkarpackie to region położony w południowo-wschodniej Polsce. Pod względem administracyjnym województwo dzieli się na 25 powiatów, w tym 21 ziemskich i 4 grodzkie (miasta: Rzeszów, Przemyśl, Krosno i Tarnobrzeg). Stolicą województwa jest Rzeszów - centralny ośrodek akademicki, gospodarczy i kulturalny. Podkarpacie zajmuje obszar o powierzchni 17 845,76 km<sup>2</sup>, przez co zajmuje 11. miejsce w kraju pod względem powierzchni oraz 9. miejsce pod względem liczby ludności, ponieważ podkarpacie zamieszkuje około 2 129,9 tys. mieszkańców. Jest to obszar najmniej zurbanizowany w kraju oraz jest naczystszy ekologicznie regionem. Region czysty ekologicznie to region, który spełnia szereg przepisów prawnych. Przykładowym wyznacznikiem jest stan zanieczyszczenia powietrza czy wód podziemnych. Takowe regiony posiadają na swoim terenie powierzchnie prawnie chronione takie, jak parki narodowe, parki krajobrazowe, obszary Natura 2000, rezerваты czy posiadają liczne pomniki przyrody. Regiony czyste ekologicznie odznaczają się żyzną glebą, a co za tym idzie, sprzyjają rolnictwu ekologicznemu. Województwo Podkarpackie jest charakterystyczne ze względu na swoje zielone tereny. Prawie 45 % powierzchni województwa zajmują obszary prawnie chronione. Są wśród nich m.in. 2 parki narodowe Magurski i Bieszczadzki, 94 rezerваты przyrody oraz wiele innych. Znajduje się tutaj również 8 obszarów specjalnej ochrony ptaków oraz 17 obszarów ochrony siedlisk. Ogólna lesistość województwa wynosi 37,8 % i jest wyższa od średniej krajowej o 8,5 %. Lasy w regionie zajmują powierzchnię ponad 680 tys. ha. Ze względu na wszystkie wymienione statystyki uznano, że właśnie to województwo jest dobrym obszarem do badania pod względem czystości ekologicznej. W niniejszym opracowaniu badane są tereny na poziomie NUTS 2 - czyli powiatów w województwie. Celem badania jest próba identyfikacji i oceny czystości ekologicznej powiatów. Do badania zostaną wykorzystane metody porządkowania liniowego, dzięki którym możliwe jest porównanie wielowymiarowych danych i uporządkowanie ich od najlepszego do najgorszego według wcześniej wyznaczonego kryterium.

## 2. Opis metody porządkowania liniowego

Metody porządkowania liniowego dzielą się na wzorcowe oraz bezwzorcowe. Metody bezwzorcowe bazują na funkcji, której argumentami są cechy opisujące obiekty, natomiast metody wzorcowe polegają na wyznaczeniu odległości obiektu od wcześniej ustalonego "idealnego" wzorca. W tym opracowaniu użyto jednej z metod wzorcowych - metody TOPSIS. TOPSIS to skrót od *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*. Algorytm ten w roku 1981 zaprezentowali Hwang i Yoon i jest bardzo zbliżony do metody Hellwiga, która powstała prawie 20 lat wcześniej. TOPSIS polega na wyznaczeniu macierzy ze znormalizowanymi wartościami, a następnie na wyznaczeniu wzorca oraz antywzorca:

$$a^+ = (a_{+1}, \dots, a_{+n}) \quad a^- = (a_{-1}, \dots, a_{-n})$$

oraz

$$a^- = (a_{-1}, \dots, a_{-n}) \quad a^+ = (a_{+1}, \dots, a_{+n})$$

Kolejnym krokiem jest wyliczenie odległości obiektów  $d_i$  od  $a^+$  i  $a^-$ :

$$d_{+i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_{+j})^2} \quad \text{oraz} \quad d_{-i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_{-j})^2}$$

Ostatnim etapem jest wyznaczenie współczynnika rankingowego określającego podobieństwo obiektów do rozwiązania idealnego:

$$R_i = d_{-i} / (d_{-i} + d_{+i}) \quad R_i = d_{-i} / (d_{-i} + d_{+i})$$

Jednak zanim przejdzie się do metody TOPSIS należy, które zmienne są stymulantami (pożądane są wysokie wyniki wśród zmiennych) czy destymulantami (pożądane są niskie wyniki wśród zmiennych), w celu przeprowadzenia odpowiedniej normalizacji. W tym badaniu wybrano metodę przekształcenia ilorazowego, której wzór jest następujący:

$$z_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} \quad z_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}$$

gdzie:

$z_{ij}$  - znormalizowana wartość j-tej zmiennej dla i-tego obiektu

$x_{ij}$  - wartość j-tej zmiennej dla i-tego obiektu

### 3. Opis danych

Czystość ekologiczna jest skomplikowanym pojęciem, które nie jest bezpośrednio mierzalne. Na czystość ekologiczną regionu składa się szereg czynników dotyczący czystości powietrza, wód podziemnych i powierzchniowych, żyzność gleb, tereny zielone, ochrona prawna obszarów przyrodniczych oraz licznych gatunków zwierząt. Biorąc pod uwagę te czynniki wyróżniono 11 zmiennych, które mają wpływ na poziom czystości ekologicznej regionu. Dane dotyczą 2018 roku i pochodzą z portalu Głównego Urzędu Statystycznego za pośrednictwem Banku Danych Lokalnych. W badaniu pogrupowano dane według trzech najważniejszych kategorii:

- wpływ ludzi na środowisko;
- tereny zielone i pomniki przyrody;
- tereny prawnie chronione.

Uznano to za kategorie mające istotny wpływ na czystość ekologiczną terenu. Do poszczególnych kategorii przyporządkowano następujące zmienne:

- wpływ ludzi na środowisko
  - **X1** gęstość zaludnienia (os./km<sup>2</sup>)
  - **X2** odsetek oczyszczanych ścieków przemysłowych i komunalnych jako % zanieczyszczeń wymagających oczyszczenia
  - **X3** zanieczyszczenia powietrza zatrzymane w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w zakładach szczególnie uciążliwych jako % zanieczyszczeń wytworzonych ogółem
  - **X4** emisja zanieczyszczeń pyłowych w stosunku do Polski, jako % wszystkich emitowanych zanieczyszczeń w Polsce
  - **X5** powierzchnia dzikich wysypisk (m<sup>2</sup>/ha)
- tereny zielone i pomniki przyrody
  - **X6** liczba pomników przyrody
  - **X7** powierzchnia terenów zielonych (m<sup>2</sup>/ha)
  - **X8** Powierzchnia użytków ekologicznych (m<sup>2</sup>/ha)
- tereny prawnie chronione
  - **X9** powierzchnia Parków Narodowych (m<sup>2</sup>/ha)
  - **X10** Powierzchnia rezerwatów przyrody (m<sup>2</sup>/ha)

○ **X11** Powierzchnia Parków krajobrazowych ogółem (m2/ ha)

W tym zbiorze danych stymulantami są zmienne X2, X3, X6, X7, X8, X9, X10 oraz X11, co oznacza, że w destymulantami są jedynie zmienne X1, X4 oraz X5. Wartości tych zmiennych dla poszczególnych powiatów są następujące:

	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>	<b>X5</b>	<b>X6</b>	<b>X7</b>	<b>X8</b>	<b>X9</b>	<b>X10</b>	<b>X11</b>
Powiat bieszczadzki	19	0.99706	0.40000	0.00001	0.00000	11009	25.505017	70.233616	2028.0676	150.728226	5244.88398
Powiat brzozowski	122	0.97708	0.33003	0.00001	0.00000	6000	74.845181	1.5815627	0.00000	18.591241	318.83413
Powiat debicki	174	0.99404	0.94002	0.00104	0.00643	5610	28.885631	0.0000000	0.00000	6.779596	478.75187
Powiat jarosławski	117	1.00000	0.78007	0.00006	0.00000	13008	167.704587	14.2408570	0.00000	0.000000	0.00000
Powiat jasielski	137	0.91004	0.92009	0.00209	0.17066	3745	108.860592	0.0000000	1969.9604	32.676592	79.07374
Powiat kolbuszowski	81	0.97601	0.99007	0.00003	0.00000	3500	99.715457	25.6541252	0.00000	36.900035	0.00000
Powiat krosniński	113	0.99907	0.95007	0.00003	0.00432	9198	125.874274	7.4805409	117.9326	194.742778	3001.41777
Powiat leżajski	119	0.99109	0.98003	0.00004	0.00424	2587	269.728118	2.8695756	0.00000	35.803738	0.00000
Powiat lubaczowski	43	0.97702	0.20000	0.00001	0.00000	20001	526.463462	41.2903078	0.00000	29.800439	1863.92229
Powiat łancucki	179	0.98800	0.90002	0.00102	0.01881	2320	39.843750	4.8512748	0.00000	3.461402	0.00000
Powiat mielecki	155	0.99707	0.99008	0.00405	0.00340	3272	59.478705	3.8977853	0.00000	14.440659	0.00000
Powiat nizancki	85	1.00000	1.00000	0.00000	0.00000	5100	54.479151	1.7094343	0.00000	0.000000	0.00000
Powiat przemyski	61	1.00000	0.84006	0.00001	0.00000	29003	215.365499	18.860327	0.00000	98.126682	4618.43431
Powiat przeworski	112	1.00000	0.22002	0.00002	0.00000	12005	189.102032	0.7148792	0.00000	10.907997	0.00000

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Powiat ropczycko- sedziszows ki	136	0.8200 6	0.982 2	0.0019 9	0.000000 00	35	5.982018	1.278473 9	0.0000	18.94548 7	128.6680 9
Powiat rzeszowski	148	0.9950 9	0.872 2	0.0009 9	0.00914 74	84	34.49489 7	4.772268 1	0.0000	99.48150 1	392.3942 0
Powiat sanocki	82	0.9940 3	0.964 4	0.0017 7	0.00553 43	73	340.5472 01	1.121555 1	0.0000	106.2001 16	3084.753 94
Powiat stalowowols ki	128	1.0000 0	0.992 2	0.0114 4	0.00180 34	62	144.1856 83	1.504075 8	0.0000	91.63200 0	1134.609 37
Powiat stryszowski	122	1.0000 0	1.000 0	0.0000 0	0.000000 00	31	16.90865 4	0.000000 0	0.0000	77.04530 6	2348.143 88
Powiat tarnobrzski	102	1.0000 0	0.998 8	0.0003 3	0.00046 06	91	224.7207 62	0.000000 0	0.0000	0.000000	0.00000
Powiat leski	32	0.9920 8	0.200 0	0.0000 0	0.00059 88	42	255.6638 80	10.07856 85	729.430 9	131.3615 35	5450.954 56
Powiat m.Krosno	106	0.9850 9	0.808 0	0.0024 4	0.01149 43	7	4.482759	11.19540 23	0.0000	0.000000	0.00000
Powiat m.Przemysl	132	1.0000 7	0.990 0	0.0013 3	0.23824 99	34	223.3051 76	0.000000 0	0.0000	4.570067	207.9272 3
Powiat m.Rzeszow	159	0.9990 1	0.986 6	0.0045 5	0.000000 00	50	7.474462	0.000000 0	0.0000	7.050909	0.00000
Powiat m.Tarnobrz eg	551	1.0000 0	0.998 8	0.0008 8	0.000000 00	34	217.7985 95	0.000000 0	0.0000	0.000000	0.00000

Dla każdej zmiennej X wyznaczono współczynnik zmienności, aby wykluczyć *quasi* stałe zmienne. Użyto następującego kodu:

```
wsp_zmienności<-function(x){
  sd(x)/mean(x)
}

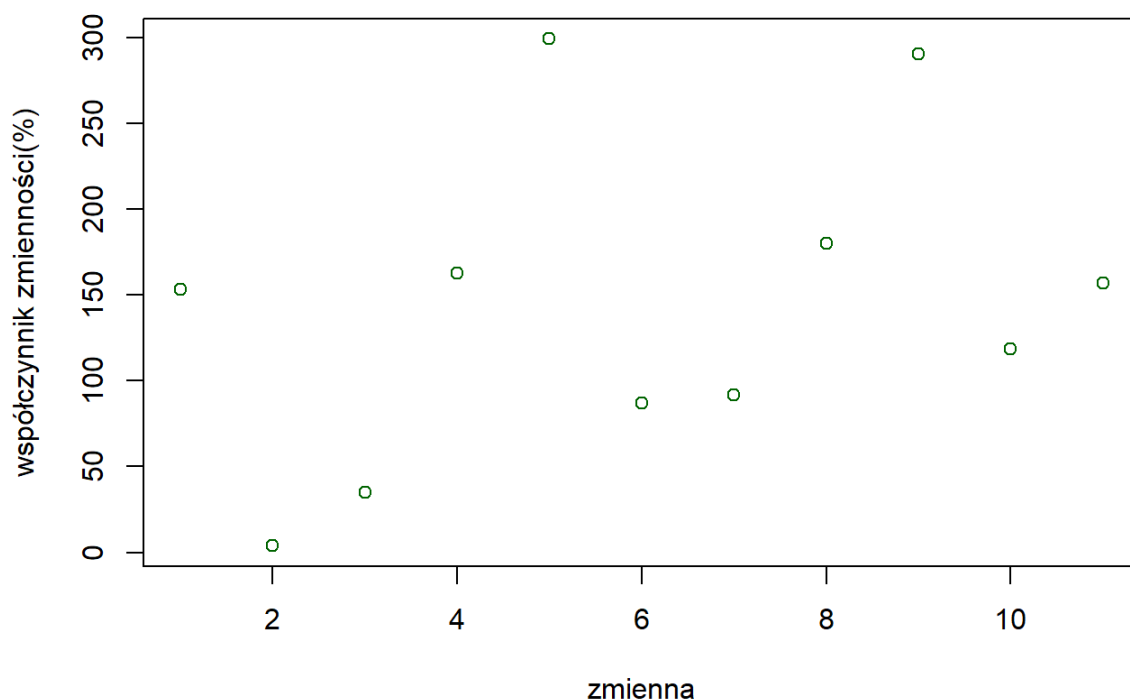
Powiaty_wz <- matrix(NA, 11, 1)
rownames(Powiaty_wz) <- colnames(Powiaty)
for(i in 1:11){
  Powiaty_wz[i] <- format(round(wsp_zmienności(Powiaty[,i])*100,2), nsmall=2)
```

}

Wynikiem tego kodu są współczynniki zmienności podane w punktach procentowych dla każdej zmiennej z osobna:

	<b>współczynnik zmienności</b>
X1	153.12
X2	3.93
X3	35.09
X4	162.93
X5	299.07
X6	86.89
X7	91.51
X8	180.25
X9	290.36
X10	118.81
X11	156.65

## Współczynnik zmienności



Patrząc na powyższą tabelę widać, że jedynie dla zmiennej X2 współczynnik zmienności jest mniejszy od 10%, oznacza to, że zmienna jest bliska stałej, dlatego w celu dalszych badań należy ją usunąć ze zbioru danych. Zatem finalny zbiór danych jest następujący:

	X1	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Powiat bieszczadzki	19	0.40 0	0.000 1	0.000000 0	11 9	25.505017	70.233611 6	28.067150 6	728225244.8839 6	
Powiat brzozowski	122	0.33 3	0.000 1	0.000000 0	60	74.845181	11.5815627	0.0000	18.591241	318.83413
Powiat debicki	174	0.94 2	0.001 4	0.006431 0	56	28.885631	10.000000	0.0000	6.779596	478.75187
Powiat jarosławski	117	0.78 7	0.000 6	0.000000 0	13 8	167.704581	14.240857 7	0.0000	0.000000	0.00000
Powiat jasielski	137	0.92 9	0.002 9	0.170664 5	37	108.86059 2	0.0000000	1969.960 4	32.676592	79.07374
Powiat kolbuszowski	81	0.99 7	0.000 3	0.000000 0	35	99.715457	25.654125 2	0.0000	36.900035	0.00000
Powiat krosniński	113	0.95 7	0.000 3	0.004329 8	91	125.87427 4	7.4805409	117.9326	194.742773	001.4177 7

	X1	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Powiat lezajski	119	0.98 3	0.000 4	0.004 7	0.002 25	269.728 118	2.8695756	0.0000	35.803738	0.00000
Powiat lubaczowski	43	0.20 0	0.000 1	0.000000 0	20526.46346 01	41.290307 2	8	0.0000	29.800439	1863.9222 9
Powiat lancucki	179	0.90 2	0.001 2	0.018812 0	2339.8437504	8512748	0.0000	3.461402	0.00000	
Powiat mielecki	155	0.99 8	0.004 5	0.003407 2	3259.4787053	8977853	0.0000	14.440659	0.00000	
Powiat nizanski	85	1.00 0	0.000 0	0.000000 0	5154.4791511	7094343	0.0000	0.000000	0.00000	
Powiat przemyski	61	0.84 6	0.000 1	0.000000 0	29215.36549 3	18.860322 9	7	0.0000	98.126682	4618.4343 1
Powiat przeworski	112	0.22 2	0.000 2	0.000000 0	12189.10203 5	0.7148792 2	0.0000	10.907997	0.00000	
Powiat ropczycko-sedziszowski	136	0.98 2	0.001 9	0.000000 0	35 5.9820181	1.2784739	0.0000	18.945487	128.66809	
Powiat rzeszowski	148	0.87 2	0.000 9	0.009147 4	8434.4948974	7722681	0.0000	99.481501	392.39420	
Powiat sanocki	82	0.96 4	0.001 7	0.005534 3	73 340.54720 1	1.1215551	0.0000	106.20011	3084.7539 6	4
Powiat stalowowolski	128	0.99 2	0.011 4	0.001803 4	62 144.18568 3	1.5040758	0.0000	91.632000	1134.6093 7	
Powiat strzyzowski	122	1.00 0	0.000 0	0.000000 0	31 16.9086540	0.0000000	0.0000	77.045306	2348.1438 8	
Powiat tarnobrzski	102	0.99 8	0.000 3	0.000460 6	91 224.72076 2	0.0000000	0.0000	0.000000	0.00000	
Powiat leski	32	0.20 0	0.000 0	0.000598 8	42 255.66388 0	10.078568 5	729.4309	131.36153	5450.9545 5	6
Powiat m.Krosno	106	0.80 9	0.002 8	0.011494 3	7 4.482759	11.195402 3	0.0000	0.000000	0.00000	
Powiat m.Przemysl	132	0.99 7	0.001 2	0.238249 9	34 223.30517 6	0.0000000	0.0000	4.570067	207.92723	

	X1	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	
Powiat m.Rzeszow	1591	0.984	0.0045	0.000000	0	50	7.474462	0.000000	0.0000	7.050909	0.00000
Powiat m.Tarnobrzeg	551	0.998	0.0008	0.000000	0	34	217.798595	0.000000	0.0000	0.000000	0.00000

## 4. Badania empiryczne

Po wybraniu odpowiedniego zestawu danych należy zacząć od zamiany destymulant na stymulant. Wyżej zaznaczono, że destymulantami są jedynie X1, X4 oraz X5. Poniższy kod dokonuje łatwego przekształcenia tych zmiennych:

```
Powiaty[,1]<- -Powiaty[,1]
Powiaty[,3]<- -Powiaty[,3]
Powiaty[,4]<- -Powiaty[,4]
```

Następnie należy przejść do normalizacji zmiennych, by wyniki metody porządkowania liniowego nie były zaburzone. Jak wyżej napisano, aby to osiągnąć, użyto metody przekształcenia ilorazowego. Kod, którego użyto do tej operacji, jest następujący:

```
przekształcenie_ilorazowe<- function(wektor){
  wynik=wektor/sqrt(sum(wektor^2))
}

powiaty_normalizowane<-matrix(NA,25,10)
for(i in 1:10)
{
  powiaty_normalizowane[,i]=przekształcenie_ilorazowe(Powiaty[,i])
}
```

Po znormalizowaniu zmiennych należy wyznaczyć wzorce. Ideałem będzie obiekt o zmiennych z jak najwyższymi wartościami, ponieważ już wcześniej przekształcono destymulanty na stymulanty. Natomiast antyideałem będzie obiekt o zmiennych z jak najniższymi wartościami.

```
ideal<-c(max(powiaty_normalizowane[,1]),
        max(powiaty_normalizowane[,2]),
        max(powiaty_normalizowane[,3]),
        max(powiaty_normalizowane[,4]),
        max(powiaty_normalizowane[,5]),
        max(powiaty_normalizowane[,6]),
        max(powiaty_normalizowane[,7]),
        max(powiaty_normalizowane[,8]),
        max(powiaty_normalizowane[,9]),
```



```

max(powiaty_normalizowane[,10])
)
antyideal<-c(min(powiaty_normalizowane[,1]),
             min(powiaty_normalizowane[,2]),
             min(powiaty_normalizowane[,3]),
             min(powiaty_normalizowane[,4]),
             min(powiaty_normalizowane[,5]),
             min(powiaty_normalizowane[,6]),
             min(powiaty_normalizowane[,7]),
             min(powiaty_normalizowane[,8]),
             min(powiaty_normalizowane[,9]),
             min(powiaty_normalizowane[,10])
)

```

Wynikiem ustalenia wzorców obiekty o następujących wartościach poszczególnych zmiennych:

	<b>ideal</b>	<b>antyideal</b>
X1	-0.0077430	-0.6483750
X3	0.2330839	0.0466168
X4	0.0000000	-0.8090602
X5	0.0000000	-0.8096843
X6	0.6098994	0.0145710
X7	0.5662154	0.0048212
X8	0.7747508	0.0000000
X9	0.6939994	0.0000000
X10	0.5426383	0.0000000
X11	0.5247563	0.0000000

Po zdefiniowaniu wzorców można przejść do właściwej części badania - porządkowania liniowego. Tworzymy macierz 25x3 gdzie w pierwszej kolumnie znajdują się w odległości obiektu  $x_{ij}$  od wartości idealnej, w drugiej odległości obiektu  $x_{ij}$  od wartości antyidealnej i następnie, ze wzoru na metodę TOPSIS, w trzeciej kolumnie znajduje się wartości nadanego współczynnika rangowego.

```

topsis<-matrix(NA,25,3)

for(i in 1:25){
  Obiekt=powiaty_normalizowane[i,]

```

```

Obiektid<-rbind(Obiekt, ideal)
Obiektanty<-rbind(Obiekt,antyideal)
topsis[i,1]<-dist(Obiektid)
topsis[i,2]<-dist(Obiektanty)
topsis[i,3]<-topsis[i,2]/(topsis[i,1]+topsis[i,2])
}

```

## 5. Podsumowanie

Ostatnim etapem badania jest posortowanie tabeli, by poprawnie odczytać ranking:

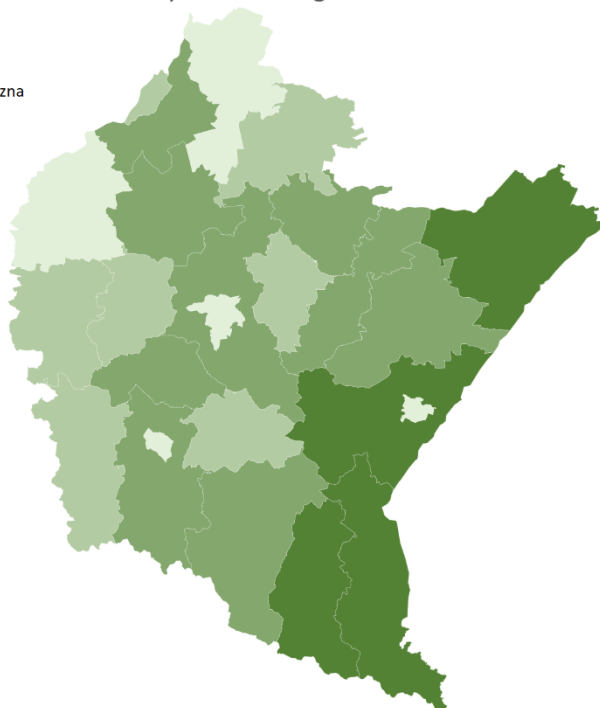
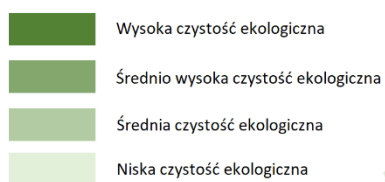
Współczynnik rankingowy	Powiat
0.728276286600957	Powiat bieszczadzki
0.610502419035039	Powiat lubaczowski
0.609849479348612	Powiat przemyski
0.594022459036255	Powiat leski
0.556002117021319	Powiat krosnienski
0.53016073943323	Powiat sanocki
0.507277272972425	Powiat kolbuszowski
0.504403916428232	Powiat jaroslawski
0.494906813486576	Powiat stryzowski
0.490092707775532	Powiat przeworski
0.489130905048929	Powiat rzeszowski
0.488494406472504	Powiat lezajski
0.488347855986461	Powiat tarnobrzeki
0.475908378304162	Powiat brzozowski
0.473964908403405	Powiat nizanski
0.45717324717622	Powiat m.Tarnobrzeg
0.45641125526152	Powiat debicki
0.453247338747814	Powiat ropczycko-sedziszowski

<b>Współczynnik rankingowy</b>	<b>Powiat</b>
0.44938702771337	Powiat lancucki
0.447875426979918	Powiat jasielski
0.43126053312219	Powiat mielecki
0.410481908399713	Powiat stalowowolski
0.403741015040851	Powiat m.Krosno
0.370279278944405	Powiat m.Rzeszow
0.313626572922508	Powiat m.Przemysl

Z rankingu wynika, że najczystszym ekologicznie powiatem w województwie Podkarpackim jest powiat Bieszczadzki, natomiast najmniej czystym ekologicznie regionem okazało się być miasto Przemyśl. Wskaźnik rankingowy między tymi dwoma pozycjami różni się niemal dwukrotnie. Dzieje się tak, ponieważ na południu województwa Podkarpackiego znajduje się Bieszczadzki Park Narodowy, co ma ogromny wpływ na czystość ekologiczną tych terenów - mniejsza gęstość zaludnienia, zakaz zabudowywania kolejnych terenów zielonych, brak terenów przemysłowych, itd. Niską czystością ekologiczną regionu odznacza się tylko miasto Przemyśl, ale również miasta Krosno czy Rzeszów. Oznacza, że tereny sielnie zurbaniozowane nie sprzyjają zachowaniu ekologiczności. Mimo małego odsetka zanieczyszczeń w stosunku do całego kraju, tereny wysoko zurbaniozowane nie są w stanie osiągnąć tak dobrych wyników, jak tereny na których działalności człowieka są niemal znikome. Poniższa mapa województwa zobrazowuje ekologiczną czystość powiatów według czterech rang:

- 4 (wskaźnik powyżej 59%)
- 3 (wsakźnik pomiędzy 46% a 59%)
- 2 (wskaźnik pomiędzy 41% a 46%)
- 1 (wskaźnik poniżej 41%)

### Czystość ekologiczna terenu



Justyna Zbiegień, liE rok 3