

# Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Geographica I (2010)

*Eligiusz Brzeźniak*

## Maksymalne sumy dobowe opadów w Ojcowie (Dolina Prądnika)

### Wprowadzenie

Ostatnie dziesięciolecia zapisały się w historii Ziemi ekstremalnymi zdarzeniami hydrologiczno-meteorologicznymi w postaci bardzo wysokich opadów atmosferycznych i związanych z nimi wezbraniami rzek, także o charakterze powodzi. Przyczyną podwyższonych stanów wody były intensywne, krótkotrwałe, lokalne opady ulewne (burzowe) bądź rozlewne dające znaczne sumy dobowe (Cebulak 1998). Opady o dużym natężeniu najczęściej wyróżniają się w ciągach chronologicznych sum dobowych jako opady maksymalne. Ich wysokość zależy od genezy opadu i cech morfometrycznych terenu, czynników, które wywołują wystąpienie regionalnych różnic warunków pluwialnych. Przestrzenne zróżnicowanie maksymalnych opadów dobowych na obszarze dorzecza górnej Wisły było podstawą wyróżnienia przez E. Cebulak (1992) 8 regionów opadowych, a wśród nich Regionu Śląsko-Krakowskiego, obejmującego Wyżynę Śląsko-Krakowską. Średnie wartości maksymalnego opadu dobowego wahają się tu w granicach 40–50 mm, najwyższe opady lokalnie przekraczają nawet 100 mm.

Opracowanie dotyczy jedynie południowego fragmentu Wyżyny Krakowskiej, reprezentowanego przez najbardziej urozmaiconą morfologicznie część Ojcowskiego Parku Narodowego – środkowe partie Doliny Prądnika. Przewodnym celem prezentowanego studium jest próba ustalenia jakościowych i ilościowych cech zróżnicowania maksymalnych opadów dobowych. Podstawę opracowania stanowiły ciągi chronologiczne maksymalnych opadów dobowych za okres dwudziestoletni (1990–2009) ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Ojcowie w Parku Zamkowym (obsługiwanej przez Ojcowski Park Narodowy).

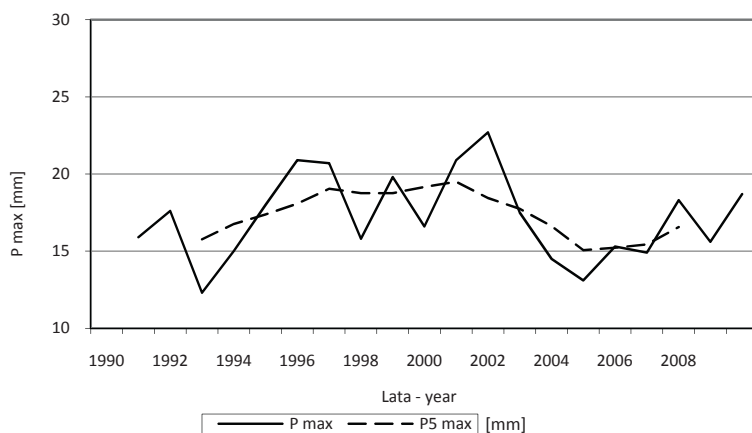
W analizie zmienności sum opadów wykorzystano statystyczne miary opisowe, tj. wartości przeciętne i ekstremalne, miary dyspersji oraz graficzne metody prezentacji wyników przeprowadzonych studiów i analiz.

Opracowanie jest dopełnieniem rozważań nad warunkami klimatycznymi, a zwłaszcza stosunkami pluwialnymi Ojcowskiego Parku Narodowego, wykonanymi w ostatnich latach (m.in. Klein 1974; Brzeźniak, Partyka 2008; Brzeźniak 2009a, b). W literaturze przedmiotu brak jest bowiem szczegółowych analiz maksymalnych sum dobowych opadów na obszarze Płaskowyżu Ojcowskiego, w tym doliny Prądnika.

## Wieloletnia zmienność maksymalnych opadów dobowych

Urozmaiczone środowisko geograficzne doliny Prądnika oraz zmienność procesów cyrkulacyjnych powodują, że maksymalne opady dobowe podlegają znaczącym wahaniom w skali czasowej. Średnia dwudziestoletnia (1990–2009) ich wartość w Ojcowie wynosiła 17,2 mm, są to wartości zapewne niższe od notowanych na wierzchownie Płaskowyżu Ojcowskiego (Klein 1974).

Przebieg wieloletni średnich najwyższych opadów dobowych miał charakter nieregularnych fluktuacji. Dokumentowały je naprzemiennie spadki (z największym w 1992 r. 12,3 mm) i wzrosty (z największym w 2001 r. 22,5 mm); cechuje je także wyraźna niestałość okresu między nimi (ryc. 1). W rezultacie krzywa średniej konsekwentnej pięcioletniej ujawniła zwiększone sumy w ostatniej pentadzie ubiegłego stulecia.



**Ryc. 1.** Wieloletni przebieg średnich najwyższych w roku dobowych opadów w Ojcowie (1990–2009)

P max – wartości z poszczególnych lat; P5 max – średnie konsekwentne 5-letnie

**Fig. 1.** Multiannual course of mean maximum in the year daily precipitation in Ojców (1990–2009)

P max – values for each year; P5 max – 5-year consecutive averages

Podobny charakter miała wieloletnia zmienność maksymalnych sum dobowych opadów. Wyrażała ją kilka wzrostów: najbardziej wyraźny w 1995 r. (62,9 mm), 2001 r. (49,0 mm) i najwyższy w 2007 r. (66,8 mm), przedzielone spadkami: w 1992 r. (26,8 mm), 1997 r. (33,1 mm), 2002 r. (30,5 mm) oraz w 2005 r. (30,2 mm).

W kolejnych pięcioletniach średnie wielkości najwyższych opadów dobowych wahały się w zakresie 3,0 mm, tj. od 15,8 mm w okresie 1990–1994 do 18,8 mm w kolejnej pentadzie, 17,7 mm w pięcioletniu 2000–2009 oraz 16,6 mm w przedziale lat 2005–2009.

Kontrast opadowy podkreśla także przeciętna ich zmiana z roku na rok, wyznaczona jako średnia z bezwzględnych wartości różnic między maksymalnymi sumami dobowymi opadów w kolejnych latach badanego dwudziestolecia (Kozuchowski 1985). W Ojcowie zmiany te wahały się od 0,2 mm w 1996 r. do 5,3 mm w 1992 r.,

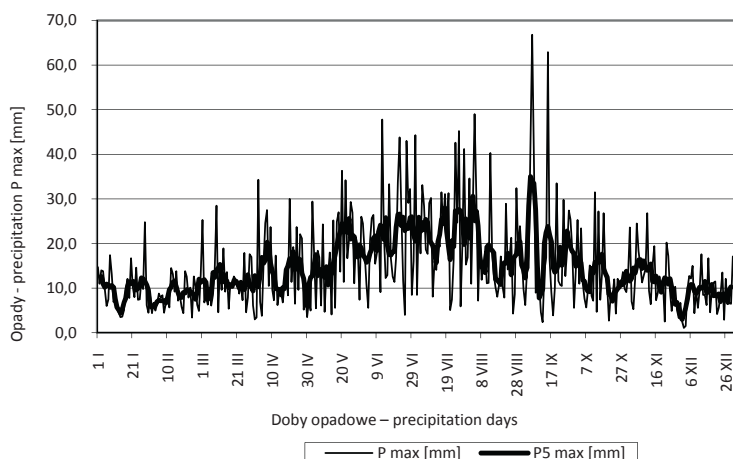
przy średniej obliczonej z badanego okresu równej 2,9 mm. Łączna liczba lat o wartości zmian wyższych od przeciętnej z wielolecia wynosiła 11, niższe dotyczyły lat: 1991, 1993, 1996, 2001, 2004, 2006 i 2008, a w 1995 r. była to wartość równa średniej.

W Dolinie Prądnika maksymalne opady rzadko przyjmowały wartości wyższe od 20,0 mm określane jako opady bardzo silne (Twardosz 2000). W badanym dwudziestolecu na ogólną liczbę prawie 3,5 tys. dni z opadem (tj.  $\geq 0,1$  mm) tylko 2,7% stanowiły opady z tego przedziału sum. W tej grupie zanotowano 12 przypadków z opadami dobowymi powyżej 40,0 mm, w tym dwukrotnie o sumach dobowych wyższych od 60,0 mm, tj. 62,9 mm (15 IX 1995 r.) oraz 66,8 mm (6 IX 2007 r.).

Maksymalne opady dobowe różnicowały także daty ich występowania. Najwięcej, bo w 70%, notowano je w miesiącach letnich (czerwiec – 4 przypadki, lipiec – 6 przypadków i sierpień – 4 przypadki), w 20% pojawiły się w sezonie jesiennym (wrzesień–listopad), a w 10% w porze wiosennej (marzec–maj). Najwcześniej tego typu opad wystąpił 2 kwietnia (1994 r.), najpóźniej 17 października (1992 r.). Najwyższe opady dobowe miały duży udział w miesięcznych sumach opadów; terminy ich wystąpienia w większości przypadków były synchroniczne z okresami o anomalnych opadach (Brzeźniak 2009a).

Dynamikę zmian maksymalnych opadów dobowych podkreśla ich przebieg roczny, który ściśle koreluje z rozkładem średnich dobowych opadów (współczynnik korelacji  $r = 0,861$ , wg testu *t Studenta* istotny na poziomie  $< 0,1\%$ ). Fluktuacje opadów najwyższych ilustrują średnie ruchome pięciodobowe prezentowane przez krzywe wygładzone, a dokumentujące wystąpienie czterech faz wahań, określonych kilkudobowymi spadkami i wzrostami z wyraźnymi maksimami i minimami opadów (ryc. 2). Grudzień oraz cztery pierwsze miesiące roku odznaczały się tendencją wzrostową; średnie ruchome pięciodobowe opadów maksymalnych zwiększały się od 3,0 mm (1 XII) do 20,3 mm (7 IV). Począwszy od 1 maja, zaznaczył się wyraźny wzrost opadów (także ich wahań) od 6,0 mm (30 IV) do 30,6 mm (3 VIII). Największe zmiany najwyższych opadów dobowych w skali całego roku, tj. od 7,8 mm (10 IX) do 35,0 mm (5 IX), notowano w okresie obejmującym ostatnią dekadę sierpnia i dwie pierwsze dekady września. Trzecia dekada września i listopad charakteryzowały się tendencją spadkową najwyższych opadów, z maksimum 26 IX (22,8 mm) i minimum 22 X (7,1 mm) (ryc. 2).

Opady atmosferyczne są w dużej mierze determinowane przez charakter cyrkulacji, tj. rodzaj układu barycznego i kierunek adwekcji. Uwzględniając klasyfikację typów cyrkulacji zaproponowaną przez T. Niedźwiedzia (2010) ustalono, że w analizowanym okresie w Ojcowie 90% maksymalnych opadów dobowych wystąpiło w sytuacjach cyklonalnych, a tylko 10% antycyklonalnych. Bruzda cyklonalna Bc najbardziej sprzyjała pojawianiu się obfitych opadów (12 przypadków), a ponadto sytuacja cyklonalna z adwekcją powietrza z północo-wschodu NEc (2 przypadki) oraz w jednostkowych przypadkach: sytuacja centralna cyklonalna Cc, cyklonalna z adwekcją powietrza ze wschodu Ec, cyklonalna z adwekcją powietrza z północy Nc, i cyklonalna z adwekcją powietrza z północo-zachodu NWc. Wysokie opady dobowe dwukrotnie wystąpiły także przy sytuacji antycyklonalnej – klinie wysokiego ciśnienia Ka (20 IX 1991 r. oraz 12 VI 1996 r.).



**Ryc. 2.** Roczny przebieg maksymalnych dobowych opadów w Ojcowie (1990–2009)  
P max – wartości dobowe; P5 max – średnie konsekwentne 5-dobowe

**Fig. 2.** Annual course of maximum daully precipitation in Ojców (1990–2009)  
P max – daily values; P5 max – 4-day moving averages

Stwierdzone typy cyrkulacji sprzyjały napływowi nad obszar Polski południowej wilgotnych mas powietrza polarnomorskiego (PPm). Jedynie w dwóch przypadkach (12 VI 1966 r. oraz 13 VIII 1998 r.) najwyższe opady dobowe wywołały masy powietrza zwrotnikowego (PZ).

## Dyspersja maksymalnych opadów dobowych

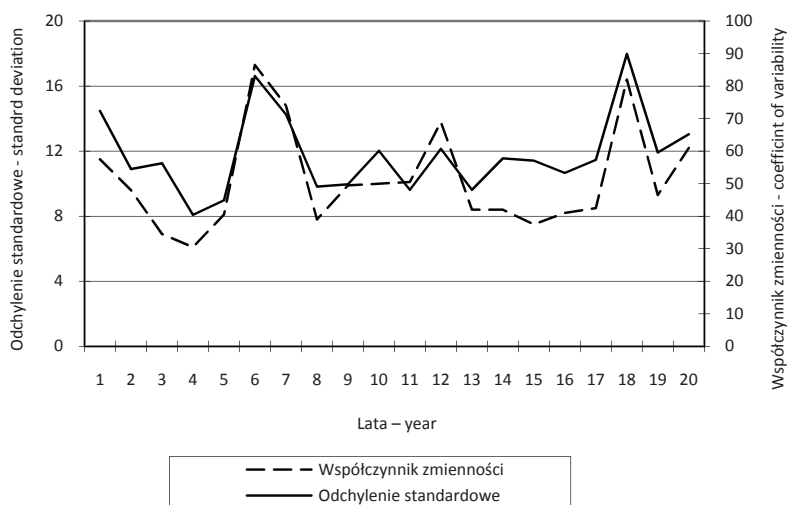
Strukturę maksymalnych opadów dobowych w różnych skalach czasu (roku, sezonu, miesiąca) określono stosując statystyczne miary zmienności: bezwzględne (absolutne), tj. obszar zmienności (rozstęp) i odchylenie standardowe, oraz względne (relatywne), tj. współczynnik zmienności wyznaczony jako stosunek odchylenia standardowego do modułu średniej arytmetycznej i współczynnik skupienia, czyli kurtozę, która jest miarą spłaszczenia (Jażdżewska 2003).

W Ojcowie w omawianym dwudziestoleciu obszar zmienności, czyli różnica między najwyższymi i najniższymi opadami maksymalnymi, wynosiła 65,7 mm. W kolejnych latach jej wartość zmieniała się nieregularnie w formie wzrostów i spadków: od 19,6 mm w 1993 r. do 61,2 mm w 2007 r.

Pełniejszy obraz zróżnicowania opadów prezentuje odchylenie standardowe ( $\sigma$ ). Średnia jego wartość dla maksymalnych opadów dobowych wynosiła 10,2 mm. Krzywa ilustrująca wieloletni przebieg wartości  $\sigma$  odznacza się naprzemiennie spadkami i wzrostami; największe rozproszenie opadów wystąpiło w latach: 1995 (17,4 mm), 2001 (13,8 mm) oraz 2007 (16,4 mm). Z kolei największą koncentracją wokół wartości średniej opadów maksymalnych odznaczały się lata: 1993 ( $\sigma = 6,1$  mm), 1997 ( $\sigma = 7,8$  mm) oraz 2004 ( $\sigma = 7,5$  mm). Tym samym ekstremalne wartości odchyżeń odpowiadają okresom o skrajnych rocznych sumach opadów. W przebiegu rocznym największe rozproszenie było typowe dla lata i jesieni ( $\sigma$  odpowiednio

11,1 mm i 11,0 mm), najmniejsze dotyczyło sezonu zimowego ( $\sigma = 4,3$  mm). Miesiące letnie wyróżniały się zwiększoną dyspersją maksymalnych opadów dobowych ( $\sigma$  wahało się od 11,2 mm w czerwcu do 11,0 mm w lipcu), jej maksimum wystąpiło we wrześniu ( $\sigma = 15,7$  mm (tab. 1). Najmniejsze odchylenie standardowe dotyczyło pierwszych miesięcy zimowych (grudzień - luty) z wartościami niższymi od 5,0 mm (odpowiednio 4,6 mm i 3,3 mm).

Zróznicowanie opadów w czasie podkreśla także inna ze statystycznych miar ilustrujących stopień koncentracji wokół wartości średniej, tj. współczynnik zmienności ( $V$ ). W każdym z badanych przedziałów czasowych (wielolecie, lata, miesiące) jego wartość była wyższa od 10%, co oznacza, że maksymalne opady dobowe w tych okresach wykazywały zróżnicowanie istotne statystycznie.



**Ryc. 3.** Wieloletni przebieg wartości odchylenia standardowego i współczynników zmienności maksymalnych opadów dobowych w Ojcowie (1990–2009)

**Fig. 3.** Multiannual course of the standard deviation and variability coefficient values of maximum daily precipitation in Ojców (1990–2009)

W latach 1990–2009 kierunki zmian współczynnika  $V$  w ogólnych zarysach były synchroniczne z przebiegiem odchylenia standardowego (ryc. 3). Tym samym największą zmiennością odznaczały się kolejno lata: 1995 r. ( $V = 83,1\%$ ), 2001 r. ( $V = 60,7\%$ ) oraz rok 2007 ( $V = 89,9\%$  - najwyższy). Najmniejsze współczynniki zmienności nie przekraczające progu 50% wystąpiły w roku 1993 ( $V = 40,4\%$  - najniższy), 1994 r. ( $V = 44,9\%$ ), 1997 r. ( $V = 49,1\%$ ), 1998 r. ( $V = 49,8\%$ ) oraz w 2000 r. ( $V = 48,1\%$ ) i 2002 r. ( $V = 48,1\%$ ). W układzie pór roku współczynnik  $V$  największą wartość osiągał w okresie letnim (76,4%), najmniejszą w zimie (47,3%), przy średniej rocznej wartości równej 68,3%. W przebiegu rocznym współczynnika  $V$  zaznaczył się zmienny rytm zmian jego wartości: od maksimum we wrześniu (82,9%) następował spadek do minimum lutowego (38,7%), a następnie wzrost do kwietnia, spadek do lipca i kolejny wzrost do września (tab. 1).

**Tab. 1.** Wartości średnie oraz statystyki dyspersji maksymalnych opadów dobowych w Ojcowie (1990–2009)

**Tab. 1.** Mean values and statistical of dispersion of maximum daily precipitation in Ojcow (1990–2009)

Miesiąc	x	$\sigma$	V	K
I	9,8	4,7	47,5	1,8
II	8,4	3,3	38,7	-1,0
III	11,3	5,8	51,6	1,6
IV	13,7	8,4	61,8	-0,4
V	17,4	9,2	52,6	-0,9
VI	21,1	11,2	53,2	0,0
VII	23,0	11,0	47,9	-0,5
VIII	18,4	10,4	56,5	1,1
IX	18,9	15,7	82,9	3,0
X	12,5	7,0	55,9	1,2
XI	12,0	6,3	52,3	-0,2
XII	8,6	4,6	51,1	-0,8

Objaśnienia:

x - wartość średnia (mean value)

$\sigma$  - odchylenie standardowe (standard deviation)

V – współczynnik zmienności (coefficient of variability)

K – kurtoza (kurtosis)

Zaprezentowane miary dyspersji wskazują na duże zróżnicowanie maksymalnych opadów dobowych, a tym samym na zmniejszoną ich koncentrację wokół wartości średniej. Współczynnik skupienia (K), zwany także kurtozą, wynosił 3,7, a zatem analizowany dwudziestoletni szereg opadów maksymalnych miał rozkład bardziej wysmukły w stosunku do normalnego, o skupieniu większym niż w rozkładzie normalnym (współczynnik ekscesu  $K - 3$  wynosił 0,7). Oznacza to większą koncentrację poszczególnych obserwacji wokół średniej. W przebiegu rocznym rozkład normalny ( $K = 3$ ) wystąpił tylko we wrześniu, w pozostałych miesiącach tendencja do koncentracji maksymalnych opadów dobowych była znacząco mniejsza, najmniejsza w lutym (tab. 1).

## Podsumowanie

Badania dotyczące zróżnicowania opadów atmosferycznych zmierzają do poznania i określenia podstawowej ich cechy, jaką jest zmienność. Podjęta próba ujawniła dużą różnorodność kierunków zmian maksymalnych opadów dobowych w skali lokalnej, udokumentowanych występującymi przemiennie wartościami wysokimi i niskimi.

W Ojcowie w badanym okresie najwyższa suma opadów dobowych sięgała 66,8 mm. Maksymalne opady dobowe występowały pomiędzy 2 kwietnia a 17 października. Były to głównie opady silne (o sumach 10–20 mm) i umiarkowane (o sumach 5–10 mm), rzadziej (2,7% dni z opadem) występowały jako opady bardzo silne (o sumach > 20 mm).

Na wystąpienie opadów maksymalnych wpływa rodzaj układu barycznego i kierunek adwekcji mas powietrza. W zdecydowanej większości przypadków pojawiały się one w sytuacjach cyklonalnych, zwłaszcza bruździe cyklonalnej (Bc) i adwekcji powietrza polarnomorskiego (PPm).

Przyjęte do analizy statystyczne miary rozproszenia potwierdzają wyraźną zmienność maksymalnych sum dobowych opadów, zarówno w przebiegu wieloletnim jak i rocznym.

## Literatura

- Brzeźniak E., 2009a, *Struktura czasowa opadów atmosferycznych w Ojcowie*, Prądnik. Prace Muz. Szafera, t. 19, s. 53–66.
- Brzeźniak E., 1999b, *Zróżnicowanie sum dobowych opadów w Ojcowie*, Prądnik. Prace Muz. Szafera, 2, t. 19, s. 61–68.
- Brzeźniak E., Partyka J., 2008, *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] Klasa A., Partyka J. (red.), *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*, Wyd. OPN, Ojców, s. 121–136.
- Cebulak E., 1992, *Maksymalne opady atmosferyczne w dorzeczu górnej Wisły*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, z. 90, s. 79–96.
- Cebulak E., 1998, *Przegląd opadów ekstremalnych, które wywołały powódzie w XX wieku w dorzeczu górnej Wisły*. Konferencja naukowa w Krakowie 7–9 maja 1998, Wyd. Oddz. PAN, Kraków, s. 21–37.
- Jażdżewska I., 2003, *Statystyka dla geografów*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, ss. 215.
- Klein J., 1974, *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*, Studia Naturae, seria A, nr 8, ss. 105.
- Kożuchowski K., 1985, *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881–1980*. Acta Geographica Lodziensia, nr 48, ss. 158.
- Niedźwiedz T., 2010, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Twardosz R., 2000, *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*, [w:] Obrębska-Starkłowa B. (red.), *Studies in Physical Geography*, Prace Geograficzne Instytutu Geografii UJ, nr 105, s. 19–71.

## Maximum sums of daily precipitation in Ojców (Prądnik Valley)

### Abstract

The analysis of multiannual variability of maximum sums of daily precipitation was based on a 20 years-long observation series (1990–2009) from Ojców-Park Zamkowy observation point, situated in the Prądnik river valley, and maintained by the Ojców National Park.

Methods of descriptive statistics, namely average values, including 5-days and 5-hours moving averages, extremal values and dispersion indices were used in the analysis (Fig. 1, 2).

An attempt at determining the basic characteristics of precipitation variability on a regional scale has shown a marked instability of the temporal precipitation series controlled by circulation processes and local conditions.

Non-periodic fluctuations are manifest in the results of the frequency analysis of maximum daily precipitation. The highest was the frequency of low, moderate and high precipitation

(daily sums < 20 mm), the lowest (0.34%) was the frequency of very high precipitation. Precipitation sum higher than 60 mm was noted twice, in 1995 and 2007 year. The variability of precipitation in the Prądnik Valley is controlled by the intensity of cyclonic circulation, especially of the baric trough (Bc) and advection of polar maritime air mass (PPm).

Key words: climate variability, maximum daily precipitation, Prądnik Valley

Eligiusz Brzeźniak  
Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej  
Instytut Geografii  
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków  
e-mail: ebrzezn@up.krakow.pl