

WITOLD GORĄCZKO

FENY SWOBODNE W ŚWIETLE OBSERWACJI METEOROLOGICZNYCH NA SZRENICY

Abstrakt: Celem pracy jest analiza częstości dzień po dniu występowania fenu swobodnego w szczytowych partiach gór średnich w chłodnej porze roku. Jako kryterium wystąpienia tego zjawiska przyjęto wilgotność względną poniżej 60%. Za materiał wyjściowy posłużyły dane z Obserwatorium Meteorologicznego Uniwersytetu Wrocławskiego na Szrenicy z 3 głównych terminów obserwacyjnych z lat 1961-2000.

Słowa kluczowe: fen swobodny, wilgotność względna, Karkonosze.

1. Wprowadzenie

Fen swobodny (wolny) jest to wielko-przestrzenne zstępowanie powietrza w swobodnej atmosferze. Powietrze to wyniesione w strefach frontalnych do wyższych warstw troposfery osiada w obszarach: wyżowych (wspomagane dywergencją), pomiędzy frontami atmosferycznymi, a na mniejszą skalę w głębokich ośrodkach niżowych np. w oku cyklonów tropikalnych. Na wskutek składowej pionowej ruchu masy powietrza następuje jego sprężanie a w rezultacie ogrzanie i znaczne przesuszenie (proces sucho adiabatyczny), dlatego zjawisko to możemy zaliczyć do fenu (Stachlewski 1975). Prędkość zstępowania w strefie klimatów umiarkowanych osiąga wartość do 0,1 m/s (WetterOnline).

Wolny fen występuje głównie w zachodniej części układu wyżowego (Zipsler-Urbańska 1966). Adwekcja ciepłego powietrza sprzyja osiadaniu, ponieważ maleje wtedy pionowy gradient temperatury, a wyż sięga do środkowej troposfery. Z kolei adwekcja powietrza chłodnego powoduje wzrost pionowego gradientu temperatury, w konsekwencji konwekcję, ponadto chłodne wyże charakteryzują się małym zasięgiem pionowym.

Warstwa graniczna, zwłaszcza w chłodnej porze roku uniemożliwia osiadanie powietrza na wskutek efektu tarcia oraz wyższej temperatury powietrza osiadającego. Często wtedy dochodzi do wytworzenia silnej inwersji temperatury (inwersja z osiadania) – nawet do 15°C (w polskich warunkach klimatycznych). Dlatego też zstępujące powietrze bardzo rzadko osiąga powierzchnię ziemi



Ryc. 1. Sucha i zanieczyszczona warstwa graniczna, o brunatnej barwie, wyraźnie oddzielona inwersją od czystego powietrza osiadającego z wyższych warstw troposfery. Szrenica. 22.02.2003

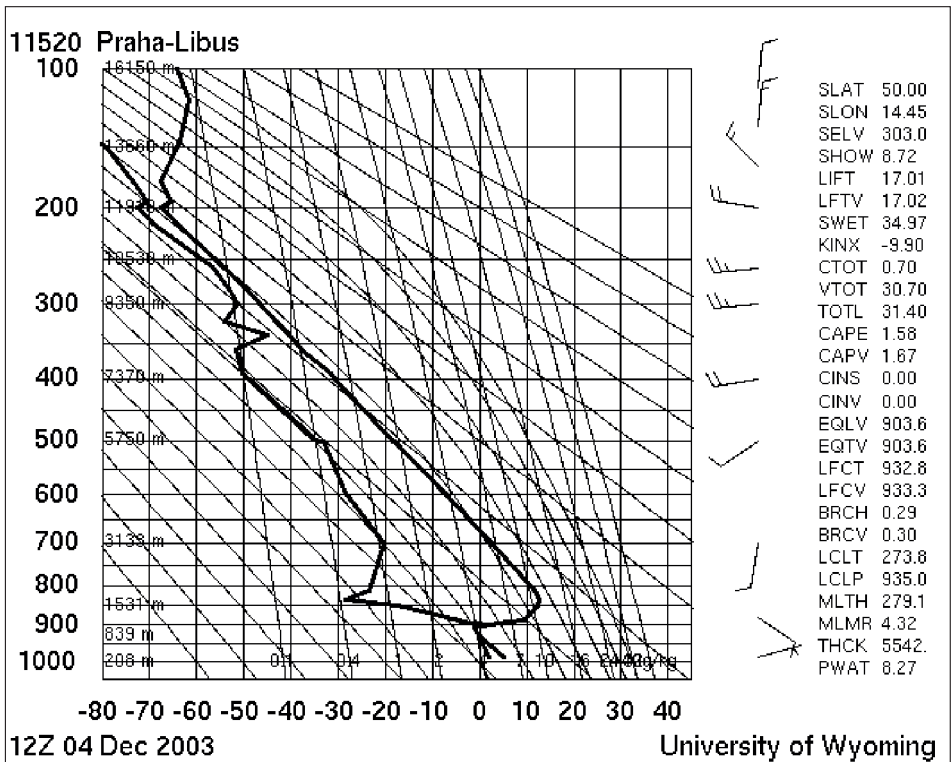
Fig. 1. Dry and polluted atmospheric boundary layer with brownish colour, clearly distinguished from a layer of clean air with subsidence from higher tropospheric layers. Mt Szrenica, 22 Feb., 2003

Tab. 1. Przebieg dobowy wybranych parametrów meteorologicznych na Szrenicy w dniu ze swobodnym fenem rano i wieczorem (24.09.1998 r.)

Table 1. An example of diurnal variations of air temperature, relative humidity, water vapour pressure and horizontal visibility on a day with free foehn; Mt Szrenica, 24 Sep., 1998

Godz.	Temperatura [°C]	Prężność pary wodnej [hPa]	Wilgotność względna [%]	Widzialność pozioma [km]
7	9,1	4,2	49	>50
13	12,2	8,5	79	15
19	8,9	4,2	49	>50

– głównie w czasie silnego fenu antycyklonalnego, jako już przetransformowana masa powietrza, nieco zapyłona, ale i tak o widzialności ponad 20 km i wilgotności rzędu 20% (np. we Wrocławiu 21.02.2004). Pojawienie się silnej inwersji prowadzi do rozwarstwienia troposfery na 2 masy powietrza o zupełnie różnych



Ryc. 2. Przykładowy pionowy sondaż troposfery w warunkach fenu swobodnego. Wyraźnie widoczna wilgotna warstwa graniczna ograniczona silną inwersją. Adwekcja ciepłego powietrza w połączeniu z jego osiadaniem spowodowała wystąpienie bardzo wysokiej temperatury (+12,5°C) na Szrenicy (Źródło: University of Wyoming)

Fig. 2. An example of tropospheric sounding during free phoen episode. A wet ABL with strong inversion above. Warm advection with subsidence caused high air temperature (+12,5°C) at Mt Szrenica (Source: University of Wyoming)

parametrach fizyko-chemicznych takich jak: temperatura, wilgotność, koncentracja zanieczyszczeń, przejrzystość, kierunek i prędkość wiatru itd. (ryc. 1 i 2).

Górna granica zanieczyszczonej warstwy granicznej, związana z inwersją osiadania, działa jak powierzchnia czynna, co przy niskim kącie padania promieni słonecznych prowadzi do ujemnego bilansu radiacyjnego. Jej ochładzanie potęguje zjawisko inwersji, a często też prowadzi do wytworzenia u jej podstawy niskich chmur typu Stratus lub Stratocumulus (ryc. 3).

W cieplej porze roku silna konwekcja powoduje intensywne mieszanie się powietrza, w rezultacie proces osiadania w ciągu dnia jest mocno zaburzony (tab. 1), ponadto w wyniku mniej intensywnej cyrkulacji jest on także znacznie słabszy; np. na Śnieżce stwierdzono wg Kwiatkowskiego (1972) pięciokrotnie, a wg

Zipser-Urbańskiej (1966) trzykrotnie mniejszą częstość występowania fenu swobodnego w miesiącach letnich niż zimowych. Wiosną i wczesną jesienią wolny fen na obszarze Karkonoszy występuje głównie w godzinach nocnych i porannych, natomiast w ciągu dnia w wyniku ogrzewania i konwekcji warstwa graniczna sięga powyżej szczytów.

Osiadające powietrze pochodzące z wyższych warstw troposfery jest bardzo czyste, choć na Szrenicy obserwowano przypadki osiadania powietrza zapyłonego drobinami mineralnymi pochodzącymi prawdopodobnie znad Sahary. Jest to o tyle ciekawa sytuacja, że inwersja osiadania blokuje migrację pyłu do warstwy granicznej i wtedy możemy obserwować 2 warstwy zmętnienia: opalizujące utrzymujące się nad inwersją oraz zwykle, przeważnie antropogeniczne w warstwie granicznej, pod inwersją; między nimi występuje powietrze bardziej przejrzyste.

Z fenami swobodnymi związany jest znaczny wzrost koncentracji zanieczyszczeń w warstwie granicznej, a dodatkowo wytworzenie się przyziemnej inwersji radiacyjnej w połączeniu z dużą wilgotnością względną i małą prędkością wiatru. Powoduje to znaczne pogorszenie warunków aerosanitarnych powietrza na obszarach zurbanizowanych, zwłaszcza położonych w dolinach i kotlinach. Częstym zjawiskiem są wtedy mgły, niekiedy utrzymujące się całą dobę, a także niskie chmury typu Stratus, co przy braku dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego przyczynia się do bardzo niekorzystnych warunków biometeorologicznych.

Ryc. 3. Płaskie morze chmur pod silną inwersją - około 13°C różnicy temperatury. Zachodnie Karkonosze 03.12.2003

Fig. 3. Flat sea of clouds under strong inversion with about 13°C temperature difference. Western Karkonosze Mts., 3 Dec., 2003



2. Znaczenie fenów swobodnych w górach

Poziom, do którego osiada powietrze z wyższych warstw troposfery na obszarze pd.-zach. Polski zazwyczaj wynosi 500 do 1500 m n.p.m. Największa częstość fenów swobodnych występuje na wysokości około 2500 m n.p.m. (Zipser-Urbańska 1966). O ile na nizinach zjawisko fenu swobodnego jest bardzo niekorzystne, ze względu na wzrost koncentracji zanieczyszczeń i wilgotności względnej, o tyle w wyższych partiach gór stwarza doskonałe warunki pogodowe do uprawiania turystyki i sportów zimowych. Związane jest to z:

- 1) **bardzo niską koncentracją zanieczyszczeń** w osiadającym powietrzu pochodzącym z wyższych warstw troposfery. Silna warstwa hamująca uniemożliwia pionową migrację zanieczyszczeń,
- 2) **bardzo dobrą widzialnością** osiagającą setki km; np. autor obserwował pasmo Czarnohory (Ukraina) z Łomnicy (Tatry) w dniu 10.01.2002 – odległość 340 km,
- 3) **podwyższoną temperaturą powietrza** – osiadające powietrze z wyższych warstw troposfery, a pochodzące z niższych szerokości geograficznych, powoduje występowanie anormalnie wysokiej temperatury w chłodnej porze roku: np. na Szrenicy zanotowano 13,4°C (1 XII 2000) i 10,0°C (13 I 1998). Dobbwe amplitudy w chłodnej porze roku są niewielkie, więc i średnia temperatura jest wtedy bardzo wysoka,
- 4) **bardzo silnym bezpośrednim promieniowaniem słonecznym**, w porze zimowej osiadającym w partiach szczytowych średnich gór wartości notowane w miesiącach letnich (Smolen, Kołodziejek 1974). Uzupełnia ono niedobór światła słonecznego w okresie zimowym, zwłaszcza w zakresie UV, co bardzo korzystnie wpływa na organizm ludzki,
- 5) **bardzo ładnymi efektami krajobrazowymi** spowodowanymi bardzo przejrzystym powietrzem, przy głęboko niebieskim kolorzycie nieba i intensywnym nasłonecznieniu. Niekiedy jednak przy wilgotnej górnej troposferze występuje zachmurzenie całkowite typu Cirrus, Cirrostratus, rzadziej Altocumulus.

Zjawiska niekorzystne związane z występowaniem fenu swobodnego w górach:

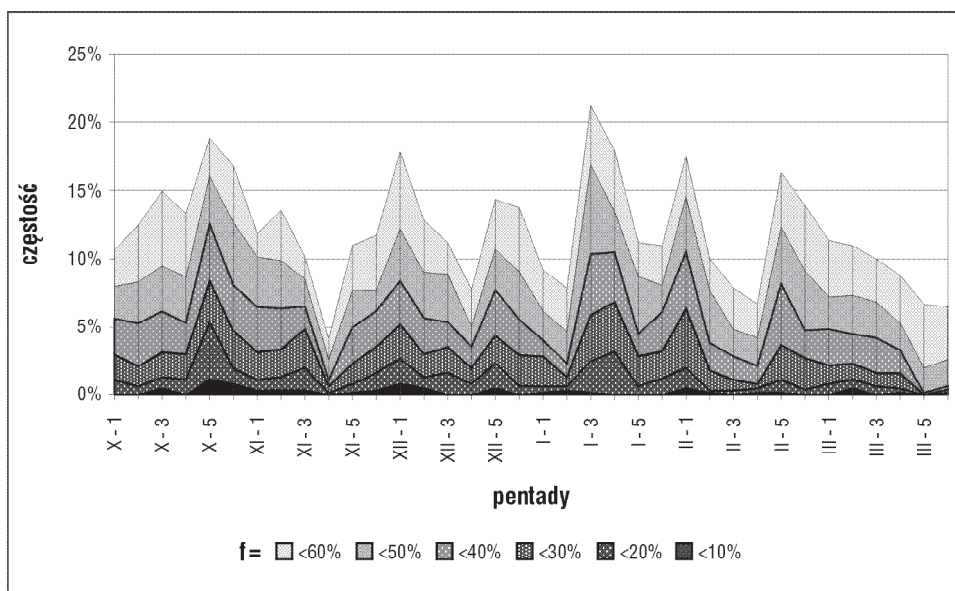
- 1) **bardzo niska wilgotność względna**, osiadająca niekiedy poziom prawie 0%, przyczynia się do przesuszenia dróg oddechowych. Długotrwały fen swobodny (Dubicka i in. 1975) powoduje także przesuszenie gleby i roślinności, a zimą przekształcanie się ubitej pokrywy śnieżnej na trasach narciarskich i drogach turystycznych w lód. Należy przy tym zaznaczyć, że przy zdarzających się tak wysokich temperaturach (nawet +10°C) śnieg na ogół nie topnieje, gdyż intensywne parowanie wynikające z ogromnego niedosytu, oraz ujemny bilans radiacyjny przy niskim kącie padania promieni słonecznych uniemożliwia osiągnięcie temperatury ablacji,
- 2) **znaczne spadki temperatury w przygruntowej warstwie powietrza** – autor obserwował lokalne inwersje dochodzące do 20°C na 2 m. Inwersje te

utrzymują się nawet całą dobę w miejscach zacienionych, przede wszystkim w zagłębieniach. Powoduje to występowanie w takich miejscach ujemnej temperatury już wczesną jesienią, co przyczynia się do przemarznięcia roślin i znacznego skrócenia okresu wegetacyjnego. Znaczne spadki temperatury wywołane są silnym wypromieniowaniem ciepła w przejrzystym powietrzu i małą jego wilgotnością (brak dostawy ciepła kondensacji),

- 3) **bardzo intensywne promieniowanie słoneczne w zakresie UV**, zwłaszcza wczesną wiosną prowadzące do oparzeń skóry i uszkodzeń wzroku.

3. Fen swobodny na Szrenicy

Poza zaistnieniem określonej sytuacji synoptycznej ważniejszym kryterium stosowanym do identyfikacji wolnego fenu w wyższych partiach gór jest spadek wilgotności względnej powietrza poniżej określonego progu. W niniejszym opracowaniu przyjęto za Flohnmę próg wilgotności 60% (Zipser-Urbańska 1966). W okresie letnim niska wilgotność względna najczęściej spowodowana jest radiacyjnym ogrzaniem powietrza, dlatego też przedmiotem analizy było przede wszystkim półrocze chłodne (X-III). Jedynie dla porównania przedstawiono także częstość przypadków z wilgotnością poniżej 60% dla półrocza ciepłego (IV-IX). W opracowaniu wykorzystano dane z 3 głównych terminów obserwacyjnych



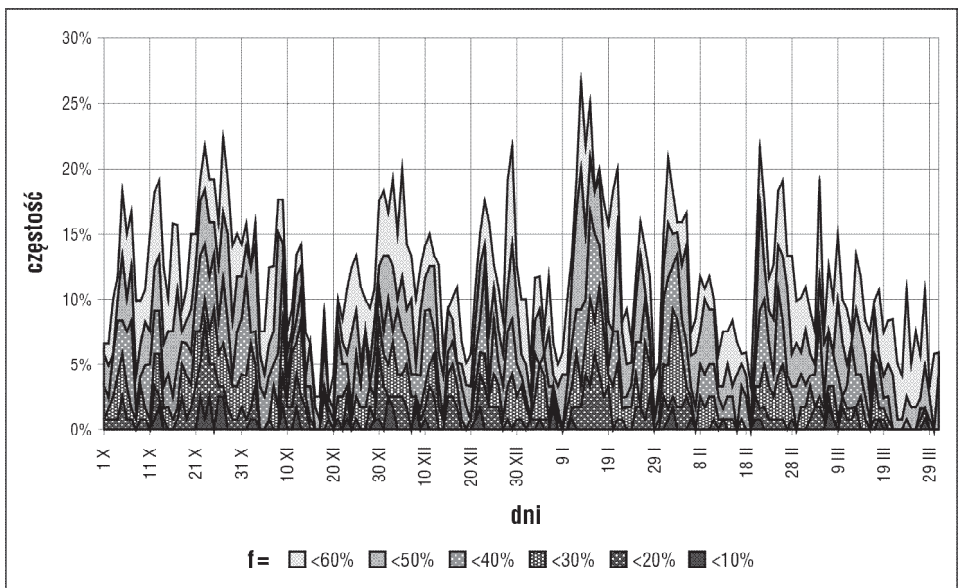
Ryc. 4. Częstość przypadków z wilgotnością względną poniżej 60% na Szrenicy w latach 1961-2000 w półroczu chłodnym (X-III) z podziałem na pentady

Fig. 4. Seasonal variations of relative humidity below 60% (based on 3 observations per day) in cool half of year (Oct. to Mar.); Mt Szrenica, 1961-2000, aggregated to 5-day periods

z wielolecia 1961-2000 (7, 13, 19 lub 21 w okresie 1961-1980) z Obserwatorium Meteorologicznego Zakładu Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego na Szrenicy (1330 m n.p.m.) w Karkonoszach.

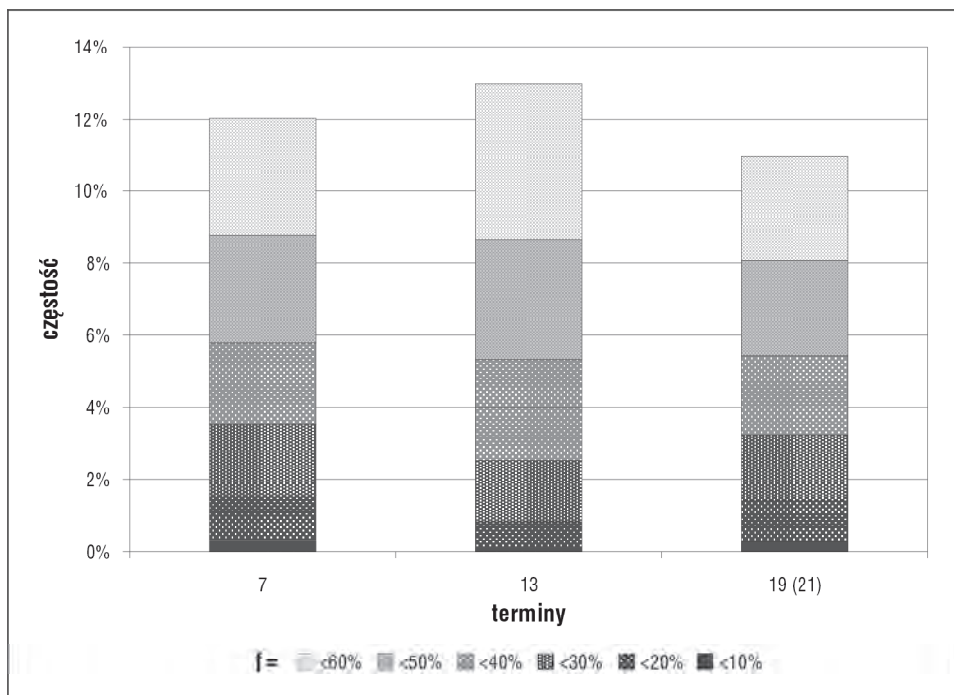
Największą częstość fenu swobodnego zaobserwowano w okresach gdy antycyklony są szczególnie aktywne tj. w październiku (zwłaszcza w III jego dekadzie, ryc. 4), na początku grudnia, w połowie stycznia oraz na początku lutego. Od drugiej połowy marca częstość fenu swobodnego powoli maleje. Jest to spowodowane wzrostem intensywności i pionowego zasięgu konwekcji. Wzrasta wtedy dopływ pary wodnej do wyższych warstw troposfery a także ulega zaburzeniu proces makroskalowego osiadania powietrza.

Analizując częstość fenu swobodnego dzień po dniu zaobserwowano występowanie wysokich maksimów obok głębokich minimów (ryc. 5). 40-letnia seria obserwacyjna uprawnia do stwierdzenia, że wynika to z powtarzalności charakterystycznych typów pogody w konkretnych dniach roku. Podobną zależność autor zaobserwował także w przypadku zachmurzenia, opadów atmosferycznych oraz temperatury maksymalnej. Największą częstość fenu swobodnego stwierdzono 13 stycznia (26,7% dni) i 15 stycznia (25,1%), a najmniejszą 19 XI (2,4% dni), 16 XI (2,5%) i w połowie lutego (3,3%). W tych okresach aktywność cyklonów wzrasta i rzadziej występuje makroskalowe osiadanie powietrza w rejonie Karkonoszy.



Ryc. 5. Częstości przypadków z wilgotnością względną poniżej 60% w kolejnych dniach (w przedziałach 10%) na Szrenicy w latach 1961-2000 w półroczu chłodnym (X-III)

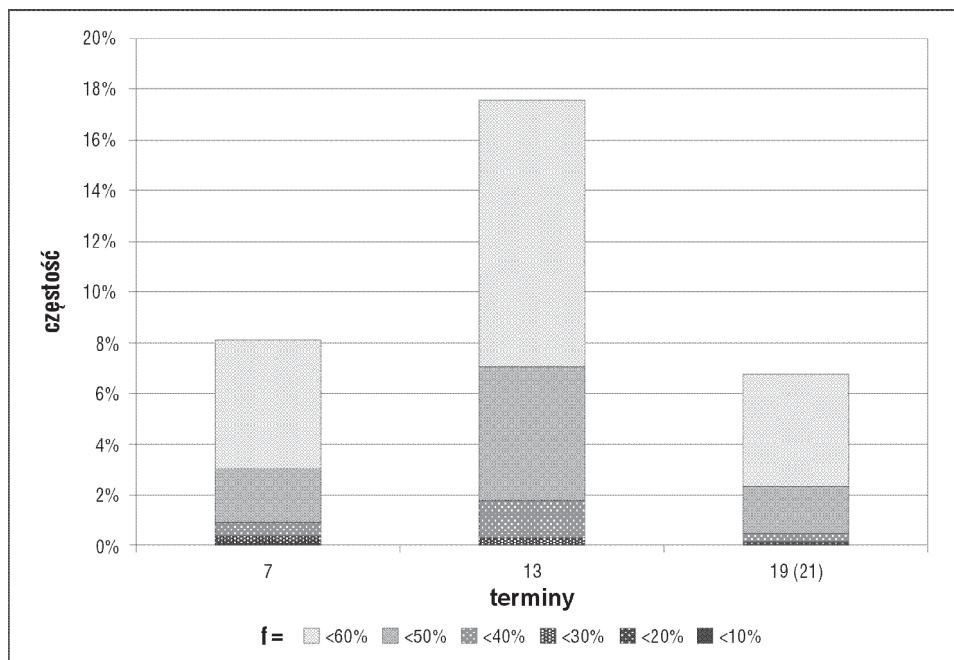
Fig. 5. Frequency of relative humidity below 60% (in 10% intervals) in days of the cool half of year (Oct. to Mar.); Mt Szrenica, 1961-2000



Ryc. 6. Częstość występowania wilgotności względnej poniżej 60% w przedziałach 10% na Szrenicy w latach 1961-2000 w półroczu chłodnym (X-III) w 3 głównych terminach obserwacyjnych

Fig. 6. Frequency of air relative humidity below 60% separately at three observation hours (07, 13 and 19 [21] mean solar time) in cool half of year (Oct.–Mar.); Mt Szrenica, 1961-2000

Największą intensywność fenu swobodnego (wyrażoną wielkością wilgotności względnej) obserwowano rano i wieczorem (ryc. 6), gdy konwekcja jest słabsza. W terminach 7 i 19 (21) CET odnotowano po jednym przypadku ze spadkiem wilgotności względnej nawet do 0%, natomiast o godz. 13 najniższa jej wielkość, w całym analizowanym 40-leciu osiągnęła 7%. W czasie ranej obserwacji wilgotność względną poniżej 30% stwierdzono w 3,6% dni, wieczorem 3,2% a w południe tylko 2,6% dni. W ciągu dnia, w wyniku intensyfikacji konwekcji, suche powietrze osiadające z wyższych warstw troposfery jest mieszane z bardziej wilgotnym znajdującym się przy powierzchni ziemi. Dobowy przebieg intensywności fenu swobodnego z minimum w ciągu dnia, kiedy to w wyniku ogrzewania się powietrza i konwekcji warstwa graniczna ma większą miąższość, jest typowy dla gór średnich. W nocy osiadanie jest intensywniejsze i schodzi do niższego poziomu i częściej swoim zasięgiem obejmuje Szrenicę. Cykliczność dobowa, kiedy to Szrenica w ciągu dnia objęta jest warstwą mieszania a w pozostałej części doby



Ryc. 7. Częstość występowania wilgotności względnej poniżej 60% (w przedziałach 10%) na Szrenicy w latach 1961-2000 w półroczu ciepłym (IV-IX) w 3 głównych terminach obserwacyjnych

Fig. 7. Frequency of air relative humidity below 60% (in 10% intervals) separately at three observation hours (07, 13 and 19 [21] mean solar time) in warm half of year (Apr.–Sep.); Mt Szrenica, 1961-2000

pozostaje pod wpływem fenu swobodnego jest charakterystyczna dla przejściowych pór roku. Świadczy o tym dobowa zmienność parametrów meteorologicznych, przede wszystkim takich jak prężność pary wodnej oraz widzialność pozioma (tab. 1). Jednak z drugiej strony o godz. 13 zaobserwowano większy niż o 7 i 19 (21) udział przypadków z wilgotnością powyżej 30% a zwłaszcza w klasie 50–60%. Spowodowane jest to radiacyjnym ogrzewaniem się powietrza i jego przesuszeniem, zwłaszcza w przejściowych porach roku. To oznacza, że nie każdy spadek wilgotności poniżej założonego kryterium (< 60%) jest równoznaczny z występowaniem fenu swobodnego. Nieściśłość powyższego kryterium jest wyraźnie widoczna w półroczu ciepłym (IV-IX), kiedy to udział klasy z wilgotnością 50-60% o godz. 7 wynosi 5,1% dni i aż 10,5% dla godz. 13 (ryc. 7). Dla porównania w styczniu częstość takich przypadków dla obu terminów obserwacyjnych wynosiła odpowiednio 3,2 i 3,8% dni. Wyraźnie mniejsze różnice w styczniu (oraz innych miesiącach chłodnej części roku) należy tłumaczyć znacznie mniejszym ogrzewaniem się powietrza od podłoża (niewielki kąt padania promieni słonecznych oraz występowanie pokrywy śnieżnej).

4. Wnioski

Z powyższego opracowania wynika, że zjawisko fenu swobodnego, korzystne z punktu widzenia turystyki i sportów górskich, występuje stosunkowo często także w partiach szczytowych niewysokich gór średnich. Charakterystyczna jest duża zmienność częstości dzień po dniu tego zjawiska, co przy 40-letniej serii pomiarowej świadczy o dość dużej stałości typów pogody w określonych dniach roku. Znajomość jego przeciętnego rozkładu w ciągu roku pozwala na zaplanowanie wypoczynku w górach we właściwym pogodowo okresie, a także na ucieczkę z miejskiego smogu w czasie, gdy inwersja z osiadania jest najintensywniejsza i długotrwała.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2005 jako projekt badawczy.

LITERATURA:

- Dubicka M., Głowicki B., Pyka J.L., 1975, *Stany wyjątkowo niskiej wilgotności względnej powietrza w Karkonoszach w grudniu 1972 r.*, Acta Univ. Wratisl., 287, 75-79.
- Kwiatkowski J., 1972, *Wiatry fenowe w Kotlinie Jeleniogórskiej*, Wierchy, 40.
- Smolen F., Kołodziejek M., 1974, *Ziarenie*, [w:] Koncek M. (red.), *Klimat Tatr*, Veda, Bratislava, 51-88.
- Stachlewski W., 1975, *Wolny fen na Kasprowym Wierchu w latach 1951-1970*, Przegl. Geofiz., 2, 111-119.
- University of Wyoming, <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- WetterOnline, <http://profi.wetteronline.de>
- Zipser-Urbańska A., 1966, *Feny antycyklonalne w Karkonoszach*, Przegl. Geofiz., 2, 313-319.

FREE FOEHN IN THE LIGHT OF METEOROLOGICAL OBSERVATIONS AT THE SZRENICA MT. (SUDETES)

SUMMARY

Free foehn is defined as a large-scale subsidence of air from higher layers of troposphere, preferably in anticyclonic pressure systems. As a result of dry-adiabatic process, the air gets warmer and dryer. The subsidence does not reach the earth surface because of blocking effect produced by atmospheric boundary layer, nevertheless the phenomenon can be observed on summits of even medium-size mountains. Free foehn is characteristic especially for cool half of year when convection is relatively weaker and horizontal pressure contrasts are stronger.

To characterise free foehn in the Karkonosze Mountains, relative humidity data from the Szrenica Mountain observatory (1330 m a.s.l.) have been taken into account. The data cover the period 1961-2000 and are based on psychrometer readings at 06, 12 and 18 or alternatively 20 UTC. The free foehn situation was identified when relative humidity dropped below 60%.

The highest frequency of free foehn occurred in October (particularly during the last decade), at the beginning of December, around the middle of January and at the beginning of February. An interesting feature of day-to-day variations are high maxima followed by deep minima, which can be connected with intraseasonal oscillations of synoptic situation. Maximum maximum of foehn frequency is observed on 13th January (26,7%), on the other hand minimum minimum on 17th November, secondary minimum on 19th February (3,3%) as well as at the end of January (4,1%) at the beginning of January (5,0%), and in the middle of December (5,1%).

As far as diurnal cycle is discussed, the most intense free foehn is observed at night, which is particularly clear during summer when convection is pronounced. Thus during winter the diurnal cycle is quasi-constant.

The phenomenon of free foehn favours touristic and sport activity in higher zones of mountains due to low atmospheric pollutants concentration, high insolation, close to comfort temperature and very high visibility.

Witold Gorączko
Zakład Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytet Wrocławski
Wrocław

