

KLASIČNA TEORIJA FENA I NJEGOVA ZEMLJOPISNA RASPODJELA

Classic *föhn* theory and its geographic distribution

BOŽENA VOLARIĆ

Geofizički zavod Andrija Mohorovičić, Prirodoslovno-matematički fakultet,
Horvatovac bb, 10000 Zagreb, Hrvatska

Primljeno 9. studenog 1998, u konačnom obliku 16. travnja 1999.

Sažetak: Nakon opisa različitih uvjeta nužnih za postanak fena, prikazani su termodinamički procesi na privjetrinskoj i zavjetrinskoj strani planine na temelju numeričke i grafičke obrade. Prikaz se odnosi na ciklonalni fen prema Hannovoj teoriji. U skladu s iznesenom spoznajom o postanku fena u Alpama, proizlazi mogućnost njegova pojavljivanja u bilo kojem planinskom području bez obzira na zemljopisnu širinu, što potvrđuju brojni primjeri iz literature. Zbog intenziteta, klimatskog utjecaja i gospodarstvenog značenja uz alpski fen posebno se ističe i fenski vjetar u sjevernoj Americi, istočno od Stjenjaka, poznat pod imenom činuk (*Chinook*). Iako u raznim krajevima svijeta fenski vjetar ima svoj lokalni naziv, danas je općenito u znanosti prihvaćen naziv fen kao oznaka za topao i suh vjetar na zavjetrinskoj strani planine.

Ključne riječi: fen, privjetrina, zavjetrina, termodinamički proces

Abstract: A survey of the physical conditions as well as the thermodynamical processes of the *föhn* wind development on both the windward and leeward mountainside is given. Based on Hann's theory of cyclonal *föhn*, the analysis includes both numerical and graphic descriptions. In accordance with the mentioned theory, the phenomenon, originally known as the alpine *föhn* wind, may occur in any mountainous region irrespective of latitude. This fact has been corroborated by numerous referred examples. The *Chinook* wind, east of the North American Rockies, well known for its intensity and influence both on the climate and on the economy of the region, is also a *föhn*-type wind. In different countries over the world, *föhn*-type winds have their local names, but nowadays the term *föhn* has been generally accepted in science for the warm, dry wind blowing on the leeward slopes of a mountain.

Key words: *föhn*, windward side, lee side, thermodynamical process

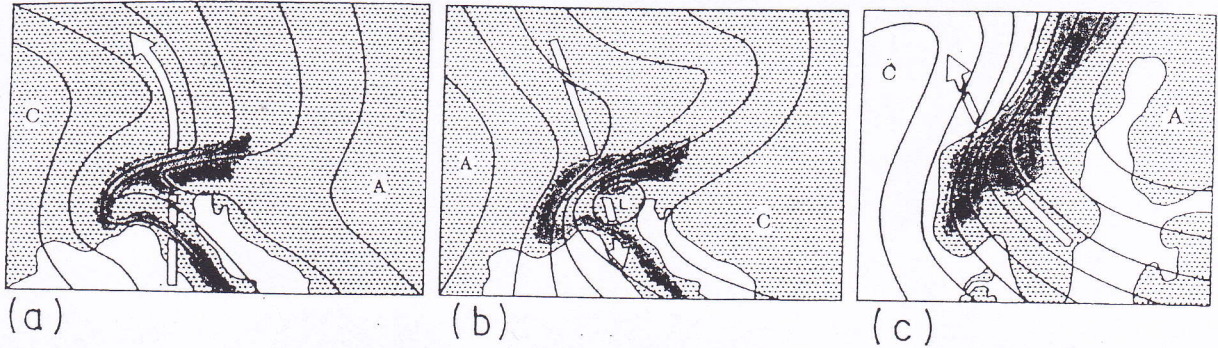
1. UVOD

Gotovo u svim planinskim krajevima širom svijeta povremeno se javlja karakterističan lokalni vjetar umjeren do olujne jačine koji se s planinskih vrhunaca ruši niz obronke donoseći zatopljenje i vrlo suh zrak u nizini. Bez obzira na to što dolazi s planinskih vrhunaca, prekrivenih katkada snijegom i ledom, na podnožje planine stiže kao suh i topao vjetar.

Taj se lokalni vjetar danas općenito naziva fen, iako u raznim krajevima svijeta gdje se

javlja može imati i lokalno ime (Brinkmann, 1971).

Na sjevernoj i južnoj strani europskih Alpa, osobito u Švicarskoj i Tirolu, fen je česta i značajna klimatska pojava obilježena naglom promjenom smjera i brzine vjetra, temperature i vlage zraka u razmjerno kratku vremenu od nekoliko minuta odnosno desetak minuta. Zbog tih promjena ima velik utjecaj na klimu, na ljude i općenito na sve žive organizme. Već u 19. stoljeću svestrano je i temeljito istraživano u Alpama, gdje je i dobio naziv fen. Eti-



Slika 1. Oblik izobare za vrijeme. a/ južnog fena u Alpama, b/ sjevernog fena u Alpama, c/ jugoistočnog fena iznad Skandinavije (shematski prema Defantu, 1951)

Figure 1. Schematic diagram showing the shape of isobars during a föhn wind phenomenon. a) south föhn in the Alps, b) north föhn in the Alps, c) southeast föhn over the Scandinavian mountains (after Defant, 1951)

mološko mu porijeklo do danas nije sa sigurnošću dokazano. Pretpostavlja se s velikom vjerojatnošću da se radi o germaniziranoj retoromanskoj¹ riječi *favogn*, koja pak potječe od latinskog naziva *favonius*², što označuje topao zapadni vjetar (Billwiller, 1899).

2. POSTANAK FENA

Fen nastaje kada je struja zraka, naišavši na planinski masiv, primorana na to da se uspinje i da prelazi preko te zapreke uz određene termodinamičke procese. Na privjetrinskoj strani masiva, struja zraka označena kao uzlazna, ohlađuje se uz kondenzaciju i eventualne oborine, dok se na zavjetrinskoj strani ta ista struja, označena sada kao silazna, zagrijava. Pri tome se ohlađivanje mora odvijati pretežno po mokroj adijabati, a zagrijavanje po suhoj. Uz takove uvjete silazna struja stiže na podnožje planinskog masiva u zavjetrini s višom temperaturom, što odgovara latentnoj toplini, oslobođenoj za vrijeme kondenzacije pri uspinjanju na privjetrini.

U slučaju fena, baričko polje poprima karakterističnu deformaciju: izobare su sinusoidalno zakrivljene. Takva se zakrivljenost naziva

fenski nos. Gradijent tlaka pri fenskoj deformaciji približno je paralelan sa smjerom protezanja planinskog masiva, a uspostavljeno strujanje skoro je okomito na planinsku zapreku (sl. 1).

Ukoliko je gradijent tlaka snažno izražen, uspostavljeno strujanje zraka može u razmjerno kratku vremenu svladati planinsku zapreku, čime su ostvareni početni uvjeti za postanak fena. Za njegov potpuni razvoj neophodna su još dva uvjeta: planinska zapreka mora biti dovoljno visoka, a uzlazna struja zraka dovoljno vlažna kako bi prilikom uspinjanja mogli nastati mokroadijabatski procesi. Izostane li koji od spomenutih uvjeta, ne nastaje pravi fen, već nastaje vjetar fenskog obilježja.

3. TERMODINAMIČKI FENSKI PROCESI

3.1. Privjetrina

Pretpostavimo da temperatura t , relativna vlažnost r i apsolutna vlažnost a uzlazne struje zraka iznosi

$$t_{PN} = 10^{\circ}\text{C}, r_{PN} = 70\%, a_{PN} = 6.4 \text{ gm}^{-3}$$

- 1 Retoromani – romanizirani potomci plemena starih Reta, nastanjenih u južnom dijelu starorimske pokrajine Recije koja se prostirala na širem području Alpa; danas ukupno broje oko pola milijuna stanovnika, raštrkanih po istočnoj Švicarskoj oko izvora rijeka Rajne i Inna, po južnom Tirolu u Austriji i sjeveroistočnoj talijanskoj pokrajini Furlaniji.
- 2 Prema zapisima rimskog pisca Plinija Starijega /I. stoljeće poslije Krista/ u antiknoj ruži vjetrova *favonius* označuje zapadni vjetar. Međutim, stari Rimljani, proširivši svoje carstvo i na područje Alpa, gdje je klima surova i oštra, označili su topao, planinski vjetar kao *favonius* po analogiji na topao vjetar svoje stare postojbine bez obzira na njegov smjer. U narodu su, naime, oznake za vjetar nastajale mnogo prije teorijske klasifikacije smjerova vjetrova po stranama svijeta odakle puše.

Indeks PN označuje veličine u nizinama na privjetrinskoj strani uz podnožje planinskog masiva.

Pretpostavimo nadalje da je visina h planinskog vrhunca

$$h_{VP} = 3100 \text{ m}$$

gdje VP označuje vrh planine.

Jednostavnim računom ili grafički pomoću termodinamičkih dijagrama može se pokazati da se u našem slučaju kondenzacijska razina K nalazi iznad tla na visini

$$h_K = 630 \text{ m}$$

Indeks K označuje podatke s kondenzacijske razine.

Pri suhoadijabatskim procesima uzlazna struja zraka postiže na kondenzacijskoj razini vrijednosti

$$t_K = 4^\circ\text{C}, r_K = 100\%, a_K = 6.4 \text{ gm}^{-3}$$

Dok su temperatura i relativna vlažnost uzlazne struje pretrpjele određene promjene, do tle je apsolutna vlažnost ostala nepromijenjena. Međutim, $a_K = 6.4 \text{ gm}^{-3}$ je maksimalna količina koju zrak može sadržavati pri temperaturi $t_K = 4^\circ\text{C}$. Daljnjim ohlađivanjem dolazi do kondenzacije i procesi postaju mokroadijabatički, u slučaju oborine i pseudoadijabatički, te uzlazna struja zraka stiže na vrh planine s vrijednostima:

$$t_{VP} = -8.7^\circ\text{C}, r_{VP} = 100\%, a_{VP} = 2.6 \text{ gm}^{-3}$$

Na putu od podnožja do vrha planine uzlazna struja zraka ohladila se za 18.7°C uz gubitak 3.8 g vodene pare po 1 m^3 zraka, dok je relativna vlažnost istodobno porasla za 30%.

3.2. Zavjetrina

Nakon prelijevanja preko vrha odnosno hrpta planine, formirana silazna struja zraka, spuštajući se niz planinske obronke, zagrijava se na većem dijelu spusta suhoadijabatičkom kompresijom. Postaje sve toplijom i razmjerno sve sušom iako joj se apsolutna vlažnost ne mijenja. Prvih nekoliko metara spusta, pa i do stotinjak metara ispod planinskog vrha, ovisno o debljini oblačnog sloja koji obavija vrhunca, dio topline proizvedene adijaba-

tičkom kompresijom silazne struje troši se na isparavanje oblaka. Tek nakon što se oni rasplinu započinje zagrijavanje po suhoj adijabati.

Uzevši u obzir jačinu procesa na privjetrini te visinu prepreke, pretpostavili smo da debljina oblačnog sloja pri planinskom vrhuncu iznosi oko 300 m.

Uz tu pretpostavku silazna struja zraka stiže u zavjetrinu s vrijednostima

$$t_{ZN} = 20.8^\circ\text{C}, r_{ZN} = 13\%, a_{ZN} = 2.6 \text{ gm}^{-3}$$

Indeks ZN označuje vrijednosti u nizinama na zavjetrinskoj strani uz podnožje planine.

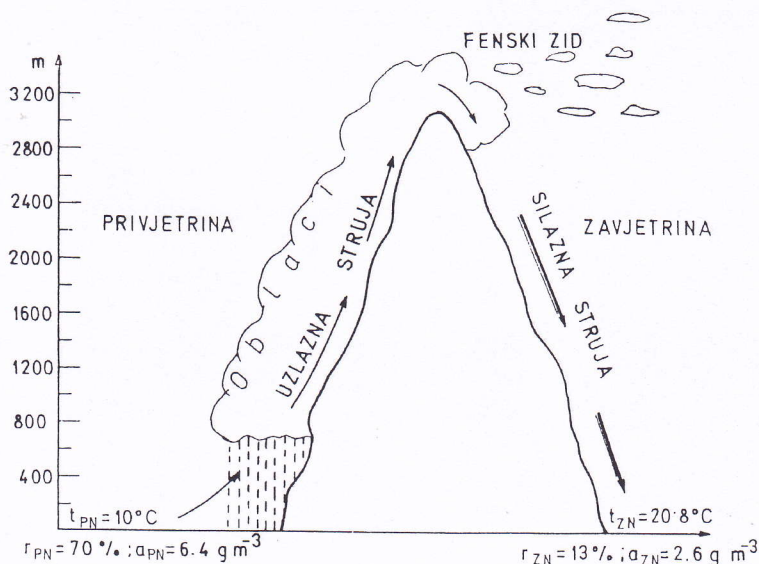
U zavjetrinu stiže dakle topao i suh vjetar, fen. U odnosu na privjetrinske podatke topliji je za 11°C s gubitkom vodene pare od 3.8 gm^{-3} , odnosno s relativnom vlažnosti nižom za 56%.

3.3. Grafički prikaz fenskih procesa

Idealizirani i pojednostavljeni oblik termodinamičnih procesa za vrijeme fena prikazuje slika 2. U stvarnosti su atmosferski procesi složenije naravi. Svaki pojedini slučaj fena više ili manje odstupa od srednjeg stanja u odnosu na početni, zreli i završni stadij. Shematski prikaz treba shvatiti kao približni putokaz pri razmatranju fenskih procesa.

Dok na privjetrini prevladava oblačno i kišovito vrijeme, na zavjetrini je većinom vedro i sunčano, kako prikazuje slika 2. Na izrazito plavom nebu u zavjetrini se ističu pojedini, odvojeni, bijeli, raščupani oblačići iznad kojih se obično nalazi pokoji lentikularni oblak. Vrh odnosno hrbat planine obavija golem, taman, nepomičan oblak, debljine katkada i nekoliko stotina metara. Gleda li se iz nizine, sa zavjetrine, djeluje poput zida, pa se i naziva *fenski zid* (sl. 3.). Njegov nepomičan izgled vara, jer to nije nepokretna oblačna masa. Dapače, u silaznoj struji oblaci se stalno isparavaju i nestaju, ali ih istodobno uzlazna struja s privjetrine neprekidno obnavlja. Otud im i potječe izgled postojanosti i nepomičnosti.

Poznavanjem fizikalnog stanja struje zraka koja stiže do planinske zapreke, kao i termodinamičkih procesa na privjetrini i zavjetrini, omogućen je potpuniji uvid u fenska zbivanja



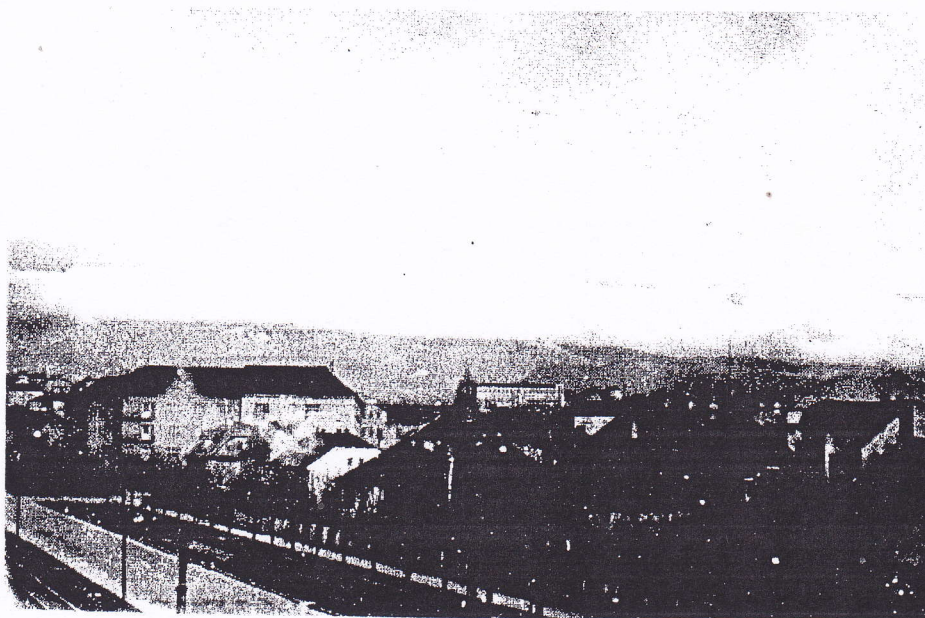
Slika 2. Fenski procesi na privjetrini i zavjetrini shematski prikaz prema Heyeru, 1963.

Figure 2. Schematic diagram of a föhn process on the windward and lee mountain side (after Heyer, 1963)

od početnog do konačnog stadija. Na slici 4. prikazane su promjene temperature, relativne i apsolutne vlažnosti uzlazne struje (pogl. 3.1.) pri njezinu uspinjanju na privjetrini, kao i silazne struje (pogl. 3.2.) pri njezinu spuštanju na zavjetrini.

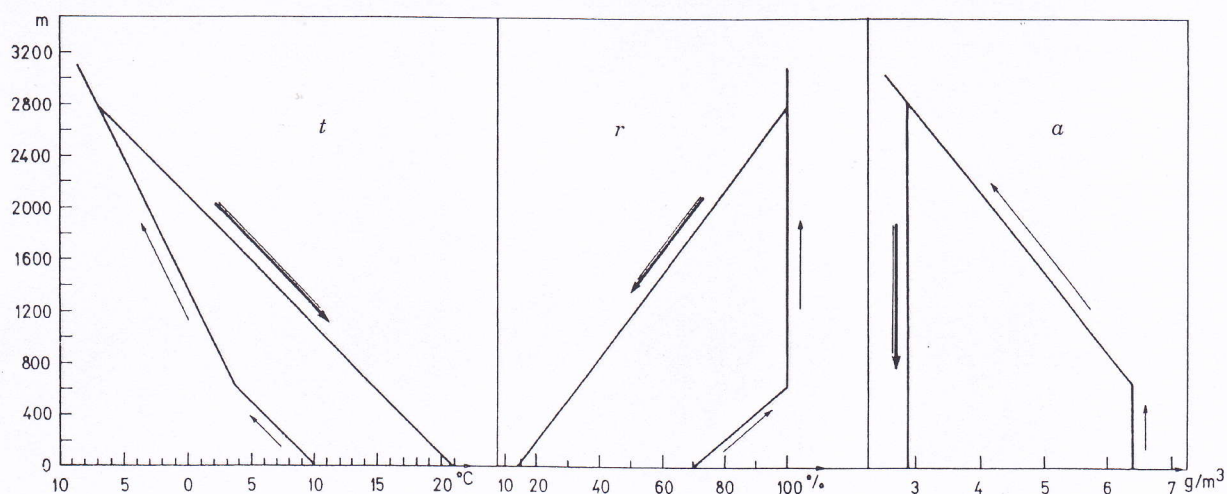
To je prikaz tzv. ciklonalnog fena prema Hannoveroj klasičnoj teoriji (Hann, 1866; Billwiller,

1899; Defant, 1906; Ficker, 1910). Inače na području povoljno za razvoj fena može se fen razviti pod drugačijim uvjetima, pa se razlikuje više vrsta fena, ovisno o tipu sinoptičke situacije koja je prethodila njegovom nastanku (Koschmieder, 1931; Streiff-Becker, 1931; Hoinkes, 1950; Defant, 1951; Frey, 1957; Wallington, 1960; Bernhardt, 1962).



Slika 3. Fenski oblak iznad Medvednice, snimljeno u Zagrebu iz Heinzelove ulice u studenom 1948. Snimak iz ostavštine prof. dr. J. Goldberga

Figure 3. Föhn cloud above Mt. Medvednica photographed from Zagreb, Heinzel St. on November 1948 (courtesy of prof. J. Goldberg's legacy)



Slika 4. Promjena temperature zraka t , relativne vlažnosti r i apsolutne vlažnosti α s visinom pri fenskom procesu

privjetrina \rightarrow zavjetrina \Rightarrow

Figure 4. Change of air temperature (t), relative (r) and absolute (α) humidity during the course of a föhn process

windward side \rightarrow lee side \Rightarrow

4. GLAVNA OBILJEŽJA FENA

Naglo pojavljivanje prizemnog vjetra od smjera planine uz istodobni porast temperature i pad relativne vlažnosti zraka glavna su obilježja fena. K tome treba pribrojiti i mahovitost vjetra, te izvanrednu horizontalnu vidljivost i izrazito plavetnilo neba, jer je za puhanja fena zrak čist i stoga proziran. Oborina na privjetrini *ispiruću* uzlaznu struju zraka odnosi prašinu, dim i druga onečišćenja. Fen stoga silazi s planinskih vrhova u zavjetrinu ne samo kao topao i suh nego i kao čist zrak izvanredne prozračnosti. Udaljene planine i ostali objekti u daljini poprimaju plavkaste tonove i prividno su primaknuti imajući oštro ocrtane rubove i jasno istaknute detalje. Nebo se pri tome izrazito plavi, jer u čistoj atmosferi bez primjesa većih, krutih čestica, vrijedi Rayleighev zakon.

5. BIOKLIMATSKO DJELOVANJE FENA

Od davnine je zapažen utjecaj fena na ljudski organizam. Nagle promjene temperature i vlage zraka, kao i ostalih klimatskih uvjeta, negativno utječu na čovječji živčani sustav. Za

vrijeme fena ljudi pojačano pate od glavobolje, srčanih smetnji, poremećaja u cirkulaciji, umora, razdraženosti, muči ih nesаница, mamluk, apatija, katkada i jako izražena duševna depresija. Statistička istraživanja o ponašanju ljudi za vrijeme fena pokazala su veći broj nesreća na radu i u prometu, kao i povećan broj samoubojstava. Životinje također reagiraju na pojavu fena, postaju agresivne. Djelovanje fena najjače se očituje na početku njegova nastupa dok se organizam ne privikne na nagle promjene vremena (Ficker i De Rudder, 1948; Obenland, 1959 i 1964; Malberg, 1985).

Osim bioloških i zdravstvenih problema fen donosi i velike poteškoće u privredi i drugdje. Uslijed naglog topljenja snijega dolazi do poplava i snježnih lavina, a pri snažnim provalama katkada olujnog i vrlo suhog vjetra, bilo je i slučajeva katastrofalnih požara.

Usprkos spomenutim teškoćama, ljudi se fenu ipak raduju zbog blagotvornog djelovanja na vegetaciju i ranijeg dozrijevanja poljoprivrednih kultura, zbog otapanja snijega i uklanjanja drugih nedaća povezanih s oštrom klimom planinskih predjela.

6. ZEMLJOPISNA RASPODJELA FENA

6.1. Europa

6.1.1. Alpski fen

Na europskom kontinentu Alpe su područje tipično za pojavu fena. On se javlja na njihovoj sjevernoj i južnoj strani. Osobito je značajan na sjevernoj, gdje se naziva južni fen, zbog smjera odakle dolazi, dok se na južnoj strani Alpa zove sjeverni fen (Keil, 1950).

Smjer južnog fena kreće se pretežno unutar južnog kvadranta od SE do SW, uz neke rjeđe iznimke. Sjeverni puše uglavnom od N odnosno NE. Mjestimice fen može i znatnije odstupati od glavnog smjera, ovisno o lokalnoj orijentaciji pojedinih obronaka planinskog masiva i dolina usječenih u taj masiv (Ficker, 1931; Reuter i Pichler, 1964).

Jačina fena uglavnom ovisi o smjeru protezanja doline u koju fen prodire i koja ga zatim kanalizira. U Alpama je najjače izražen u dolinama izduženima u smjeru sjever-jug koje se pri završetku šire u prostrane ravnice ili u velike, široke doline, orijentirane istok-zapad, što je karakteristično primjerice za Innsbruck u Austriji (Defant, 1906; Peppler, 1930).

Južni fen nastaje kada duboka ciklona s Atlantika prodire na europsko kopno zahvaćajući njegov sjeverozapadni dio. Istodobno, južno odnosno jugoistočno od Alpa proteže se greben snažno izražene anticiklone. Približavajući se Alpama, atlantska ciklona usisava hladan zrak iz dolina sjeverno od Alpa. Otjecanje zraka ne može se nadoknaditi iz okolnog područja zbog planina koje ograđuju te doline, već se zrak nadoknađuje iz anticiklone smještene južno od Alpa. Struja zraka iz anticiklone nakon prijelaza alpskih vrhova ruši se niz sjeverne obronke prodirući u doline kao južni fen (Ficker, 1910; Frey, 1953, 1957).

Sjeverni fen nastaje pri obrnutoj sinoptičkoj situaciji, odnosno pri obrnutoj raspodjeli prizemnog polja tlaka zraka. Tada se sjeverozapadno od Alpa pruža snažna anticiklona ili njen greben, dok se ciklona nalazi na jugu ili jugoistoku od Alpa (Czermak, 1903).

Fen se u Alpama, osobito južni, smatra najznačajnijom klimatskom pojavom. U proljeće otopi u jednom danu toliko snijega koliko Sunčevo zagrijavanje istom za 14 dana. U nje-

mačkoj meteorološkoj literaturi zovu ga žderačem snijega (*Schneefresser*). Pri fenskim situacijama u Alpama zrak poprima gotovo ljetne temperature uz relativnu vlažnost ispod 10%. Stoga i mogu uspijevati biljne vrste, inače nezamislive u oporoj klimi alpskog područja. Također je fen zaslužan i za ranije jesensko dozrijevanje uroda.

Innsbruck, klasični grad fena, ima zbog fenskog djelovanja povećan godišnji srednjak temperature zraka za 0.6°C, što odgovara pomaku na jug za 1° zemljopisne širine (Perner, 1895). Godišnji srednjak čestina fena u Innsbrucku za razdoblje 1916–1930. iznosi 75 dana s izrazitim godišnjim hodom: glavni maksimum u ožujku i travnju s 11 dana, sekundarni u listopadu sa 6, te minimum u prosincu s 3 dana (Ekhart, 1932).

6.1.2. Ostali predjeli Europe

Vjetar s fenskim obilježjem nije ograničen samo na visoko gorje. U srednjim zemljopisnim širinama javlja se već na planinama s nadmorskom visinom oko 800 m. Tako je primjerice zapažen u Njemačkom Sredogorju (Thüringer Wald, Reisenberg) kao i na području sjeveroistočne Francuske (Vosges, Hohes Venn). Doduše, ne postiže intenzitet alpskog fena, ali kada nastane, prepoznatljivi su tipični fenski procesi. Već odavna postoje brojni zapisi o tome. Najstariji potječe iz pera svjetski poznatog meteorologa Assmanna iz godine 1885. (Koch, 1960).

Pojava fena zabilježena je i u Velikoj Britaniji, uglavnom na sjeveroistočnom dijelu Škotske i u Sjevernom Walesu (McCaffery, 1952; Lawrence, 1953). U 15-godišnjem nizu 1944–1958. utvrđeno je šest fenskih situacija u Sjevernom Walesu i škotskim grofovijama Aberdeens i Moray. Broj je malen, što naglašava i sam autor spominjući kao uzrok ne samo strog kriterij pri odabiru situacija, već i malen broj meteoroloških postaja povoljno smještenih u planinskim područjima (Lockwood, 1962).

I u Skandinaviji povremeno zapuše fen na planinskom lancu koji se pruža u smjeru jugozapad-sjeveroistok. Smjer fena ovisi o rasporedu baričkih centara smještenih u blizini Skandinavskog poluotoka. Tako fenski vjetar dolazi sa SW kada se ciklona nalazi nad Norveškim morem, a istočno od Skandinavije

proteže se anticiklonalno polje (Malberg, 1985; Defant, 1951; sl. 1c).

U Poljskoj, u masivima Visokih Tatra i u zapadnim Beskidima također povremeno zapuše fenski vjetar, nailazeći velikom brzinom s juga. Tako je u sportskom centru Zakopane 15. srpnja 1931. brzina fenskog vjetera prelazila 25 ms^{-1} , što je vrlo jak olujni vjetar. Narod ga naziva *wiatr halny*. Najčešće puše u proljeće i jesen. Temperaturu zraka nerijetko povisuje za oko 15°C iznad normale uz veliko sniženje relativne vlažnosti i povećanu opasnost od snježnih lavina (Kosinska-Bartinicka, 1932).

Alpsko područje na tlu Slovenije pogodno je za razvoj fena. Spomenut ćemo samo istraživanja poznatog slovenskog meteorologa F. Seidla, koji je među prvima istraživao fen na tlu bivše Jugoslavije. U opsežnom radu *Dinarsko-gorski fen*, služeći se pretežno statističkim metodama, utvrdio je da se područje zahvaćeno jugozapadnim fenom pruža od alpskih dolina do Bjelašnice (Seidl, 1935).

Planinski predjeli u Hrvatskoj, osobito Gorski kotar i Lika, također su povoljni za razvoj fena. Zapažen je u krajevima iza Dinarida kada maritimne zračne mase s Jadrana prodiru preko njihovih vrhunaca u kontinentalno zaleđe.

Tako primjerice Ogulin, smješten iza Velike Kapele, ima godišnje 22 fenska dana. Fen u Ogulinu prouzrokuje porast temperature zraka prosječno za 5.4°C i pad relativne vlažnosti za oko 24%. Stvaranju fena pogoduje vjetar iz SW kvadranta iako fen može nastati i pri drugim smjerovima vjetera, ali razmjerno rjeđe. Kada u Ogulinu zapuše fen, istodobno se javlja i u zaleđu Velebita, Male Kapele i Plješivice. Pri tome se veličina zahvaćenog područja mijenja ovisno o smjeru vjetera (Penzar, 1962).

Po učestalosti fena ističe se i Gospić u zaleđu Velebita. Zanimljiv slučaj fena zabilježen je u Gospiću dne 15. siječnja 1960. Toga se dana, u bližoj i široj okolini Gospića, temperatura zraka u 7 sati kretala od -17°C do -12°C , dok je u Gospiću zabilježeno $+1^\circ\text{C}$. Tijekom noći i Gospić je imao vrlo niske temperature zraka. U 1 h iza ponoći temperatura je iznosila -18°C uz vjetar s NW, brzine 2.9 ms^{-1} . Međutim, noću vjetar iznenada mijenja smjer i skreće na ESE uz povećanje brzine i do 12.9 ms^{-1} . Kako pokazuju zapisi meteoroloških au-

tografa, ujutro oko 6 h temperatura zraka porasla je za 10°C u roku od nekoliko minuta, a relativna vlažnost pala za 22%.

Tijekom dana sve do 16 h vjetar u Gospiću puše iz S kvadranta nesmanjenom brzinom praćen zatopljenjem i smanjenjem vlage zraka. U 19 h vjetar skreće na N što je popraćeno suprotnim ponašanjem meteoroloških elemenata označujući ujedno i prestanak fenskog procesa (Lončar, 1960).

I u ovom primjeru je očigledna veza između vjetera s jedne strane, te temperature i vlage zraka s druge strane. U Gospiću, pri vjetru iz S kvadranta struja zraka prelazi preko Velebita, što izaziva fenski učinak u njegovu zaleđu.

U Zagrebu također povremeno zapuše vjetar fenskog obilježja. Nastaje kada je struja zraka prisiljena uspinjati se uz sjeverne obronke Medvednice. Zbog njene razmjerno male visine najviši vrhunac Sljeme jest na 1028 m NN – termodinamički procesi uglavnom nisu burni, zato u Zagrebu izazivaju blago naglašene fenske učinke. Prikladnije je stoga govoriti o vjetru s fenskim obilježjima nego o izrazitom fenu.

Za razdoblje 1956–1960. izdvojeno je u Zagrebu 78 slučajeva s vjetrom fenskog obilježja (Nikolić, 1983).

6.2. Sjeverna Amerika

Osim alpskog fena, svakako je najpoznatiji onaj koji se spušta niz istočne obronke Stjenjaka (Rocky Mountains) u Sjevernoj Americi. Naziva se činuk (*Chinook*) prema imenu jedne gotovo izumrle indijanske etnije u Sjevernoj Americi rasprostranjene dolinom rijeke Columbia. Dolazi sa W ili SW kao vrlo topao, suh i mahovit vjetar, ponajčešće olujne jačine. Pojavljuje se istočno od Stjenjaka u pojasa široku 300–400 km, zahvaćajući uglavnom kanadsku provinciju Alberta, te države u SAD: Montana, istočni dio Wyominga i Colorada, te sjeveroistočni dio New Mexica (McClain, 1952; Cook i Topil, 1952; Webster's New World Dictionary, 1966; Julian i Julian, 1969; Brinkmann, 1970).

Za krajeve u kojima se javlja, činuk je jedan od najznačajnijih klimatskih čimbenika. Njegovo je djelovanje blagotvorno za klimu tih krajeva, inače vrlo oštru. Katkada izaziva neobično nagao porast temperature zraka, a

snijeg otapa začuđujućom brzinom. Američki ga meteorolozi nazivaju pometač snijega (*snow scavenger*). Opasnosti od poplava zbog nagla topljenja snijega zapravo i nema budući da je činuk vrlo suh vjetar koji brzo isušuje zahvaćeno područje (Riehl, 1971).

Kao primjer za djelovanje činuka dajemo podatke zabilježene 1. prosinca 1896. na meteorološkoj postaji Kipp, Montana. Toga je dana sedam minuta nakon prodora činuka temperatura zraka porasla za 27°C, dok je snježni pokrivač debljine 75 cm okopnio u roku od 12 minuta (Hann i Knoch, 1932, str. 338; Blair-Fite, str. 238).

Od nešto novijih podataka spomenimo Pincher, Creek, Alberta, Kanada, gdje je temperatura zraka 6. siječnja 1966. u jednom satu nakon prodora činuka porasla za 25°C (Turner, 1966).

Činuk je od osobitog gospodarskog značenja za krajeve u kojima povremeno puše. Omogućava ispašu stoke tijekom cijele zime u predjelima inače prekrivenima snijegom. Stoku spašava ne samo od gladi nego i od smrzavanja pri velikim hladnoćama. Zanimljivi su zapisi koji potječu od pričanja mnogih stočara u slučaju duljeg izostanka činuka. Izgladnjela i napola smrznuta stoka stoji u dubokom snijegu, glavom okrenuta prema planinskom lancu Stjenjaka, očekujući činuk kao spas. Čim se iznad planine pojave karakteristički fenski oblaci u obliku luka (*Chinook arch*) stoka veselim mukanjem instiktivno pozdravlja njegov dolazak.

6.3. Južna Amerika

Ulančano gorje Anda u Južnoj Americi predstavlja zapreku za vlažni oceanski zrak koji nailazi s južnog Pacifika. Tada se na istočnoj strani Anda javlja vjetar izrazito fenskog obilježja, zvan *zonda*. Argentinski grad Mendoza odlikuje se velikom čestinom vjetra zonde zbog svoga smještaja u zavjetrini, nedaleko mjesta gdje vrhunci Anda dopiru do najvećih visina. Zahvaljujući zondi, Mendoza je sunčan grad, skoro bez naoblake. Neki ga nazivaju gradom sunca (Defant, 1951; Georgii, 1954).

6.4. Ostali dijelovi svijeta

Na Grenladnu također puše izraziti fen. Dolazi s E ili S. Nakon prijelaza preko ledenih visova unutrašnjosti otoka pada olujnom sna-

gom u fjordove zapadne obale Grenlanda kao topao i suh vjetar. Zimi povisuje temperaturu zraka preko normale za 12°C do 20°C (Woeikof, 1901; Petersen, 1934; Holzapfel, 1935).

Izraziti fen javlja se i u planinskom području centralnog dijela Japana, na najvećem otoku, Hondu. Na tom dijelu otoka, u smjeru sjever-jug, pružaju se lanci mlađeg naboranog gorja (Japanske Alpe) s duboko usjećenim kotlina, pogodnima za razvoj fena. Formiranjem duboke ciklone na sjevernom dijelu Japanskog mora uz istodobno snažno razvijenu anticiklonu na Pacifiku, nedaleko od istočne obale Honda, stvoreni su uvjeti za postanak fena na zapadnoj strani Japanskih Alpa (Arakawa, Yamada i Toya, 1982).

I na Južnom otoku Novog Zelanda puše fen. Spušta se niz istočne strane Novozelandskih Alpa u Canterburyjsku nizinu kao vruć, suh, olujni vjetar NW smjera (Defant, 1951; Flohn, 1969).

Fen je zapažen i u centralnoj Aziji, na Kavkazu, južnoj Africi, Sumatri, Šrilanki i u mnogim drugim krajevima, ali svugdje se naziva drugim imenom. Tako se u centralnoj Aziji zove *afganet*, u jugozapadnom području oko Kaspijskog jezera *germič*, u južnoj Africi *berg*, na Sumatri *bohorok*, na Šrilanki *kachchan*, itd. (Tnambyhpillay, 1958; Brinkmann, 1971).

7. ZAKLJUČAK

Nakon saznanja o učinku orografije na razvoj fena došlo se do zaključka da se u povoljnim sinoptičkim uvjetima fen može očekivati u zavjetrini svake dovoljno visoke planine. Potrebno je samo da vlažna struja zraka, kada naiđe na planinsku zapreku, bude primorana na uspon i prijelaz preko te zapreke kako bi mogla nastaviti započeti put uvjetovan baričkim poljem. Brojna istraživanja potvrđuju da se fen, odnosno vjetar s fenskim obilježjima, može naći u različitim zemljopisnim širinama, od tropa do polarnih krajeva, diljem cijele Zemlje. Jačina fenskog procesa ovisi prvenstveno o visini planinske zapreke, njezina oblika i orijentacije, te o fizikalnim svojstvima uzlazne struje zraka, naročito o njenoj vlažnosti.

Zahvala: Zahvaljujem dr. I. Lisac na opsežnoj diskusiji i brojnim, veoma korisnim primjedbama. Također velika hvala i Z. Matići, višem meteorološkom tehničaru Geofizičkog zavoda u Zagrebu, na brižljivo izrađenim crtežima i tehničkoj pomoći.

LITERATURA

- Arakawa, S., K. Yamada and T. Toya, 1982: A Study of Foehn in the Hokuriku District using AMEDAS Data. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **33**, 149–163.
- Bernhardt, K. 1962: Freier Föhn. *Wissensch. Zeitsch. der Karl-Marx. Univ. Leipzig* **11** Jahrg., Math.-Naturwiss. Reihe, H.3, 394–406.
- Billwiller, R., 1899: Über verschiedene Entstehungsarten und Erscheinungsformen des Föhns. *Meteorologische Zeitschrift*, **XXXIV/XVI**, 204–215.
- Blair, T. and R.C. Fite, 1957: *Weather Elements*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 414 str.
- Brinkmann, W.A.R., 1970: The Chinook at Calgary (Canada). *Arch. Met. Geoph. Biokl.*, Ser. B., **18**, 269–278.
- Brinkmann, W.A.R., 1971: What is a foehn? *Weather*, **26**, 230–239.
- Cook, A.W. and A.G. Topil, 1952: Some Examples of Chinooks of the Mountains in Colorado. *Bulletin American Meteorological Society*, **33**, 42–47.
- Czermak, P., 1903: Ein NW-Föhn in Graz. *Meteorologische Zeitschrift*, **XXXVIII/XX**, 35–37.
- Defant, A., 1906: Innsbrucker Föhnstudien II. *Denkschr. der kais. Akad. d. Wiess., mathem.-naturw.Kl.*, Bd. **79**, 108–130.
- Defant, F., 1951: Local Wind. *Compendium of Meteorology*, Amer. Meteor. Society, Boston, Massachusetts, 655–672.
- Ekhart, E., 1932: Einiges zur Statistik des Innsbrucker Föhns. *Meteorologische Zeitschrift*, **LXVII/XLIX**, 452–459.
- Ficker, H., 1910: Über die Entstehung der Föhnwinde auf der Nordseite der Alpen. *Meteorologische Zeitschrift*, **XLV/XXVIII**, 439–451.
- Ficker, H., 1931: Warum steigt der Föhn in die Täler herab? *Meteorologische Zeitschrift*, **LXVI/XLVIII**, 227–229.
- Ficker, H. und B. De Rudder, 1948: Föhn und Föhnwirkungen. In: F. Linke, (Herausgeber), *Probleme der Bioklimatologie*. Akad. Verlagsges., Leipzig, **1**, 158 str.
- Frey, K., 1953: Die Entwicklung des Süd – und des Nordföhns. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, **5**, 432–477.
- Frey, K. 1957: Zur Diagnose des Föhns. *Meteorol. Rundschau*, **10** Jg. H.6, 181–185.
- Flohn, H. 1969: *World Survey of Climatology: General Climatology 2*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, 266 str.
- Georgii, W., 1954: Studie über den Zondawind der Kordillere von Mendoza. *Meteorol. Rundschau*, **7**, 125–129.
- Hann, J., 1866: Zur Frage über den Ursprung des Föhns. *Zeit. der Osterr. Gesell. für Met.*, **1**, 257 str.
- Hann, J. und K. Knoch, 1932: *Handbuch der Klimatologie*. I Band, Allgemeine Klimalehre, Vierte umbearbeitete und vermehrte Auflage, 321–339.
- Heyer, E., 1963: *Witterung und Klima, Eine Allgemeine Klimatologie*. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 439 str.
- Hoinkes, H., 1950: Föhnentwicklung durch Höhentiefdruckgebiete. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A, B.II*, 82–96.
- Holzappel, R., 1935: Extrem hohe Temperaturen und Föhn in Grönland. *Meteorologische Zeitschrift*, **70/52**, 299–300.
- Julian, L.T. and P.R. Julian, 1969: Boulder's Winds. *Weatherwise*, **22**, 109–112 and 126.
- Keil, K., 1950: *Handwörterbuch der Meteorologie*. Verlag Fritz Knapp, Frankfurt A.M., 604 str.
- Koch, H.G., 1960: Zum Begriff des Mittelgebirgsföhns. *Zeit. für Meteor.*, **14**, 29–46.
- Koschmieder, H., 1931: Leewirbel und Föhn. *Meteorologische Zeitschrift*, **LXVI/XLVIII**, 229–230.
- Kosinska-Bartnicka, St., 1932: Föhnerscheinungen im Tatragebirge. *Meteorologische Zeitschrift*, **LXVII/XLIX**, 201–202.

- Lawrence, E.N., 1953: Föhn temperature in Scotland. *Meteorological Magazine*, **82**, 74–79.
- Lockwood, J.G., 1962: Occurrence of Föhn winds in the British Isles. *Meteorological Magazine*, **91**, 57–65.
- Lončar, E., 1960: Interesantan slučaj föhna u Gospiću. *Vijesti HMZ Hrvatske*, 50–51.
- Malberg, H., 1985: *Meteorologie und Klimatologie*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 299 str.
- McCaffery, W.D.S., 1952: Föhn effect over Scotland. *Meteorological Magazine*, **81**, 151–152.
- McClain, E.P., 1952: Synoptic Investigation of a Typical Chinook Situation in Montana. *Bulletin American Meteorological Society*, **33**, 87–94.
- Nikolić, D., 1983: Vjetar fenskih karakteristika u Zagrebu, *Diplomska radnja*, Geofizički odsjek, PMF, Zagreb, 58 str.
- Obenland, E., 1959: Zur Biotropie des Alpenföhns. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr 54, Bd **8**, 81–87.
- Obenland, E., 1964: Untersuchung über die Wetterabhängigkeit des Kopfschmerzes. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, Bd **13**, H. 3, 414–437.
- Penzar, B., 1962: Quelques caractéristiques du foehn du Süd-Ouest en Croatie. *Zbornik meteor. i hidrol. radova*, 67–77.
- Peppler, W., 1930: Schema eines Föhnausbruchs aus dem Rheintal. *Wetter*, **47**, 78–84.
- Perner, J.M., 1895: Über Häufigkeit, Dauer und Eigenschaften des Föhns in Innsbruck. Sitz. Ber. Wien. Akad.
- Petersen, H., 1934: Extrem hohe Temperaturen und Föhn in Grönland. *Meteorologische Zeitschrift*, **69/51**, 289–296.
- Reuter, H. and H. Pichler, 1964: On the orographic influences of the Alps. *Tellus*, **16**, 1, 40–42.
- Riehl, H., 1971: An unusual Chinook case. *Weather*, **26**, 241–246.
- Seidl, F., 1935: Dinarskogorski fen. *Geogr. vestnik*, Ljubljana, 39–124.
- Streiff-Becker, R., 1931: Zur Dynamik des Föhns. *Meteorologische Zeitschrift*, **LXVI/XLVIII**, 149–152.
- Thambyhpillay, G., 1958: The Kachchan – a Föhn wind in Ceylon. *Weather*, **13**, 107–114.
- Turner, R.W., 1966: Puncher Creek. *Weather*, **21**, 412–413.
- Wallington, C.E., 1960: An introduction to lee waves in the atmosphere. *Weather*, **15**, 269–276.
- Woeikof, A., 1901: Klima und Föhn der Dänemark-Insel Scoresby-Sund. *Meteorologische Zeitschrift*, **XXXXVI/XVIII**, 5–10.
- _____, 1966: Webster's New World Dictionary of the American Language. College Edition, the World Publishing Company, New York.