

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

A főn jelenség szinoptikus-klimatológiai hatásai

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

Bárdos Beatrix

Földtudományi alapszak,
Meteorológus szakirány

Témavezető:

Soós dr. Dezső Zsuzsanna

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1.A főn története.....	4
2.A főn fajtái.....	15
2.1. A Streiff–Becker-féle osztályozás	15
2.2 Ciklonális és anticiklonális főn	18
2.3 Északi és déli főn	20
3. A főn fejlődési szakaszai.....	24
4. Főn és főnszerű szelek.....	27
4.1 Chinook	29
4.2 Nor’wester.....	31
4.3 Berg szél.....	32
4.4 Zonda.....	32
5. A főn klimatológiája.....	34
5.1 Altdorf klimatológiája.....	34
6. A főn jellemzői	38
Összefoglalás.....	46
Köszönetnyilvánítás	48
Irodalomjegyzék.....	49

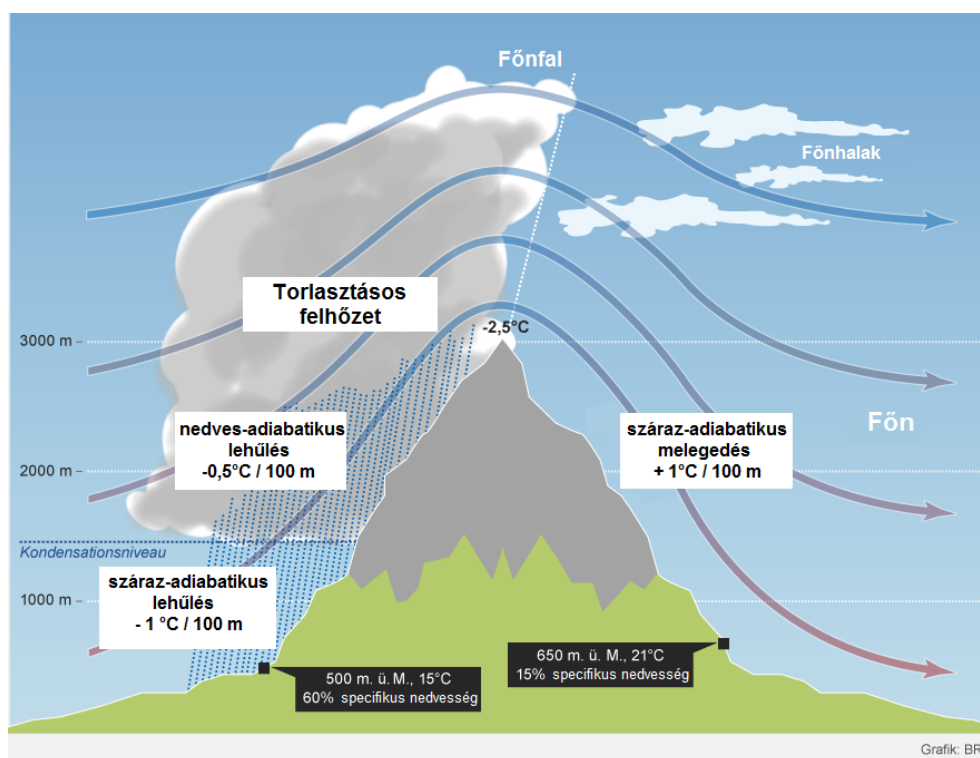
Bevezetés

A fön a legismertebb lokálisan jelentkező széltípus a hegyi időjárásban, amely a hegységek lee oldalán fordul elő, meleg és száraz időjárást okoz. Főnhelyzetben a luv oldalon ugyanakkor erős felhősödés és csapadék jellemző, a hőmérséklettől függően eső vagy hó formájában. Hatással van a levegő hőmérsékletére és nedvességére, befolyásolja az általa érintett terület éghajlatát. Ez a jelenség gyakran viharos szelet is hoz magával, amely komoly károkat okozhat a lakosság számára. Jelentősen megterheli az emberi szervezetet is, például erős fejfájást okozhat. A legtöbb információval talán az alpesi főnről rendelkezünk, ezen a területen kezdték el először tanulmányozni ezt a szelet, és talán ma is ez a régió a legfrekvenciáltabb ebben a témában. Ez a jelenség azonban korántsem csak az Alpokra korlátozódik, a világ szinte minden táján megtalálható, ahol kialakulására alkalmas hegyek léteznek, így például Argentínában, Kanadában, Afrikában vagy akár Mongóliában, ezeken a helyeken azonban elnevezésére nem a fön kifejezést használják, hanem többnyire mindenhol helyi névvel illetik.

Szakdolgozatomban szeretném bemutatni a fön jelenség sokszínűségét, elméleteinek fejlődését, hogy az újabb és újabb meteorológiai ismeretek megjelenésével hogyan változtak a főnről alkotott elképzelések. Továbbá kitérek arra is, hogyan néz ki a fön fejlődési folyamata és osztályozása különböző szempontok szerint. Igyekszem megmutatni a teljesség igénye nélkül egy-egy térség helyi „fönjét”, miben hasonlítanak és térnek el a jól ismert alpesi főntől. Fontos éghajlat-módosító hatással is bír, ennek jelentőségére is kitérek, illetve sajátos jellemzőire, a változatos felhőformákra és a hozzá kapcsolódó érdekes jelenségekre.

1.A főn története

Bukószélnek a hegyeken átkelő, a légtömeg mozgásirányával ellentétes oldalon leáramló szelet nevezzük. A bukószél tulajdonságai attól függnnek, hogy hogyan változik a levegő hőmérséklete a magassággal a szél felőli oldalon. A nedves levegő a hegység felé áramlik, majd a kényszerített konvekció hatására felemelkedik, közben száraz-adiabatikusan hűl, amíg el nem éri a telítettséget, onnantól kezdve az emelkedés nedves-adiabatikus egészen a hegység gerincéig. Megindul a felhőképződés és csapadék keletkezik, majd a levegő leszáll a hegy lee oldalán, miközben száraz adiabatikusan melegszik (1. ábra) (Richner and Hächler, 2013). Téli időszakban gyakran előfordul, hogy a troposzféra alsó rétegeiben a levegő hőmérséklete növekszik a magassággal. Amennyiben az inverzió vastagsága kisebb, mint a hegy magassága, az inverzió miatt a szél felőli oldalon a levegő nem tud felemelkedni. Az átellenes oldalon pedig a nagyobb magasságokban található meleg levegő lefelé áramlik. Ezt a jelenséget mind a normál, mind az inverziós hőmérsékleti rétegződés esetén főnnnek nevezzük (Bartholy et al., 2013).



1. ábra A főn mechanizmusa [1-br.de alapján]

A fön név az olasz favonio szóból származik, ami pedig a latin favonius szóból ered, szelíd nyugati szél a jelentése (*Sprenger et al.*, 2016). A magyar nyelv a németek által használt elnevezést vette át. Olyan jelenség, amely arra ösztönözte az embereket már a régi időkben, hogy különböző költeményekben, mondásokban és mesékben örökítsék meg különös megjelenését (*Frey*, 2007). Friedrich Schiller Tell Vilmos című drámájában érzékeltette, hogyan rettegnek az emberek a föntől, amit egy „hatalmas szellem” jelenlétének tulajdonítottak. Eredetileg a fön a népi megjelölés szerint egy nagyon meleg száraz helyi szél az alpesi térségben. A WMO definíciója szerint a fön meleg, száraz szél általában a hegylánc lee oldalán, a levegő melegedése és kiszáradása az adiabatikus összenyomás miatt következik be, miközben a levegő leereszkedik a hegység lejtőin [2 - cloudatlas.wmo.int].

Az 1850-es években a svájci tudósok körében az a nézet terjedt el, hogy a fön a Szaharából származik, mert melegnek és rendkívül száraznak tűnt. Ezt képviselte Svájcban Conrad Escher von der Linth és Oswald Heer. Ezzel akarták magyarázni a jégkorszakot az Alpokban (*Lehmann*, 1937). Azt gondolták, hogy a Szaharát a geológiai negyedidőszakban tenger fedte, amelyre bizonyítékokat is találtak a Szaharában, ugyanis egy széles körben elterjedt kagyló foszilis maradványaira bukkantak, ami a Földközi-tengerben él (*Hann*, 1866). Feltételezésük szerint az egykori fön a jégkorszak alatt jóval nagyobb nedvességtartalommal rendelkezett, ezáltal nagyobb mennyiségű csapadékot hozott az Alpok területére, ami elősegítette a gleccserfejlődést. Dove, az akkori vezető német meteorológus azt feltételezte, hogy a fön származási helye Nyugat-India (Karib-tengeri szigetszoport), mert ez illeszkedett a ciklonok áramláselméletéhez (*Steinacker*, 2006). Ezzel szemben Desor véleménye az volt, hogy a fön nem nedves, hanem egy száraz szél, amely beavatkozik az alpesi gleccserek ökonómiájába, és az nem jöhet máshonnan, mint az afrikai sivatagból. Azzal érvelt, hogy egy olyan szelet miért hívnának fönnek, ami nem száraz. 1866 júliusában publikálta az osztrák meteorológus, Julius Hann a fön termodinamikai elméletét, miszerint a fön melegedése a légtömegeknek az Alpok luv oldalán történő feláramlásakor fölszabaduló látens hőre vezethető vissza (*Hann*, 1866). Szerinte az is elgondolkodtató, hogy ahol télen a fön a Szaharában a legnagyobb hőmérsékletemelkedéssel jelentkezik, ott a sivatag nem meleg, hanem relatíve hideg, ezért nem tekinthető meleg szelek származási helyének (*Hann*, 1906). Tudományos ellenfeleit akkor sikerült végérvényesen meggyőznie, amikor Heinrich Rink kimutatta a

főnt Grönlandon, ahol a szubtrópusi meleg levegő advekciónak, mint lehetséges magyarázatot ki lehetett zárni (Steinacker, 2006).

Rink a következőképpen írta le a jelenséget (Frey, 2007): „Ahogy a meleg délkeleti szél közeledik Grönland nyugati partjához, a barométerállás egyre alacsonyabb. A főn érkezését jelzi a gyengén felhős ég, a különleges kékes, hosszú ovális felhők, amelyek rendkívül magasra nyúlnak, de soha nem érik el a hegytetőt. Eközben a tenger és a levegő egész nyugodt. A légkör télen, akárcsak nyáron a hirtelen hőmérséklet-emelkedés miatt rendkívül tikkasztó és ritka átlátszóságot mutat. Aztán hirtelen megérkezik a vihar, de csak a nagyobb hegymagasságban, ahol látni, ahogy hordja a havat a fennsík felett. Ha az ember Umanaktól északra a fjordjégen helyezkedik el a nagy és meredek lejtő alatt, akkor hallhatja a vihar morajlását és zúgását, miközben lent a jégen teljes szélségszerűség van” (Frey, 2007). Ez a meleg szél Grönland középső részén ritkább, mint a déli és az északi részén, ebből általában az következik, hogy délen és délnyugaton hó, eső és alacsonyszintű felhők a jellemzőek, északon pedig tiszta levegő (Hann, 1866).

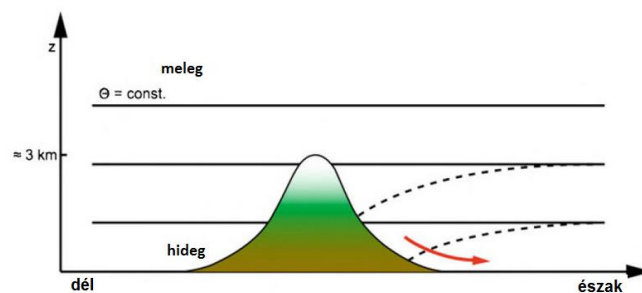
Heinrich Wild 1867. november 15-én a Berni Egyetemen tartotta rektori székfoglaló beszédjét, amelyben két eredményt is ismertetett a főn kutatásával kapcsolatban. Először is fizikai magyarázatot adott Svájcban a főn melegségére és szárazságára vonatkozóan, amivel Hann és Helmholtz oldalára állt. Másrészt helyesen következtetett arra, hogy az Alpok déli oldalán is kell lennie főnnek, amit északi főnnek neveztek el, mivel amikor a szél északról jön, akkor az északi völgyekben is vannak lecsapódások (Lehmann, 1937; Róna, 1923).

1876-ban egy francia meteorológus, Hébert azt feltételezte, hogy a főn levegőjének leáramlása a völgyekben örvényeket hoz létre. Ezek keletkezése a hegyszorosokban a legvalószínűbb, ami hasonlóan megy végbe, mint a hídpillérek mögött képződő örvények esetében. Ezzel a nézettel Robert Billwiller, a Svájci Meteorológiai Központi Intézet későbbi igazgatója szállt szembe. Szerinte az a rejtett erő, amely a levegőnek ezt a leszálló mozgását létrehozza, nem más, mint egy közelebb vagy távolabb elhelyezkedő alacsony nyomású központ beszívó hatása (Lehmann, 1937). Ha ez a nyomási depresszió az Alpoktól nyugatra vagy északnyugatra megjelenik, akkor a levegő először a síkság felett, majd az Alpok előterében is mozgásba jön a nyomási minimum irányába, ami a légnyomás gradienséből következik (Ficker, 1912). A beszívás, ami először az alsó légrétegekben megy végbe, kiszívja a völgyekből a levegőt, így az elfolyó

légtömeg pótlására a hegyhátról levegő áramlik le, de ez nem jár örvények létrejöttével. Nem vonta teljesen kétségbe az örvények létezését, csak a magyarázat szempontjából lényegtelennek találta. Billwiller szerint a fön kialakulásának oka teljes mértékben a hegyek lee oldalán keresendő, ellentétben Wild-del (*Lehmann, 1937*).

1882-ben Hann és az alpesi országok legtöbb meteorológusa a fön problémájával kapcsolatban Billwiller nézetét fogadta el (*Frey, 1992*). 1895-ben Billwiller már módosításokat javasolt az általános beszívás-elméletéhez. Kiterjesztette a fön fogalmát, elsőként mutatott rá az anticiklonális fön létezésére. Az anticiklonális helyzetekhez kapcsolódó nagytérségű, lassú leáramlást az Alpok domborzata úgy módosíthatja, hogy a hegység bizonyos területein a leáramlás sebessége fokozódhat gyenge fönhatást eredményezve. Az alacsony nyomású helyzetekhez kapcsolódó föntípusok között megkülönböztette a lokálisan a fönvölgyek belsejében megjelenő alacsony légnyomású szigeteket, a svájci Mittelland területén megjelenő alacsony nyomású részeket, és az atlanti-európai térség nagy alacsony nyomású területeinek peremdepresszióit. A depressziókat Mitellandban a fön hatásaként magyarázta, ami a lefelé áramló levegőt felmelegíti és kitágítja. Billwiller 1895-ös munkáját térképek kísérték, amelyek megmutatták az alpesi völgyek belsejében a helyi részminimumokat a fönnel járó napok különböző óráiban, valamint az Északkelet-Svájc felett elterülő nagyobb kiterjedésű depressziót. Az átmeneti formák miatt elképzelhetetlennek tartotta a különböző föntípusok egyértelmű megkülönböztetését (*Lehmann, 1937*).

A 20. század elején Heinz von Ficker a fön fejlődését három részre bontotta: egy előszakaszra, egy anticiklonális szakaszra és egy állandó fönszakaszra. Billwiller beszívás-elmélete mellett foglalt állást (*Frey, 1992*). A hideg levegő az alpesi völgyekből kifolyik, és mivel az Alpok hegyvonulata miatt délen nem lehetséges egy vízszintes/horizontális beáramlás, az elfolyó levegő számára pótlás csak a magasból jöhet, ami együtt jár az anticiklonális fön mélyebbre hatásával (2. ábra). A fönfejlődés tetőpontját és ezzel az állandó fönszakaszt a fön csak akkor éri el, ha az Alpok fő hegygerincének luv oldalán a levegő felszáll, kondenzálódik, ami egy fönfal képződéséhez vezet, és a lee oldalon az adiabatikus melegedés során megint leáramlik (*Dammann, 1952*).



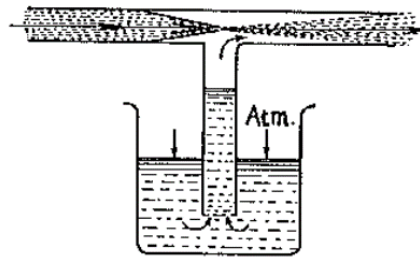
2. ábra Ficker beszívás elmélete (Richner und Hächler, 2013)

Küttner (1939) vizsgálta a magasabb légrétegek áramlási folyamatait fön esetén, és lee hullámok létezésére mutatott rá. Az alapáramlás és a vitorlázó repülőgépek által felfedezett főnhullámok sebességének viszonyát tanulmányozta. Azt feltételezte, hogy egy kritikus sebességet meghaladó áramlásnál a hullámok nem jelenhetnek meg, mivel azok csak akkor tudnak stacionáriusak maradni, ha az alapáramlás sebessége a hullámok sebességének közelében van, de azt nem lépi át (Dammann, 1952).

A fön levegőjének leszállásáról szóló újabb elméletet dolgozott ki Rudolf Streiff-Becker. Egyik kirándulása alatt heves vihar tört ki, ez arra ösztönözte őt, hogy saját tanulmányokat folytasson (Dammann, 1952). Megalkotta a fön injekciós elméletét, és nagyon aktív szerepet tulajdonított magának a főnáramlásnak abban, hogy az leszáll-e a völgybe. Elutasította Billwiller beszívás elméletét. A svájci Glarus kantonban megfigyelhető főnnel kapcsolatban végzett részletes vizsgálatokat. Megállapította, hogy a völgyeket kitöltő hideg légpárna észak felé vékonyodó ék alakot ölt, aminek a felszíne hullámszerű struktúrát mutat. Különös figyelmet fordított annak a jelenségnek, miszerint a fön egyes esetekben a felszínig hatol, máskor viszont nem éri el a felszínt. Streiff-Becker szerint a fön leszállása a természetben sokkal dinamikusabb és változékonyabb, mint amit a csendes beszívás lehetővé tenne. Véleménye szerint a valóságban a fön csak bizonyos völgyekben jelenik meg, a leggyakrabban és legerősebben olyan völgyekben, ahol a hideg levegő lefolyása nem megy végbe, vagy nagyon korlátozott. Az

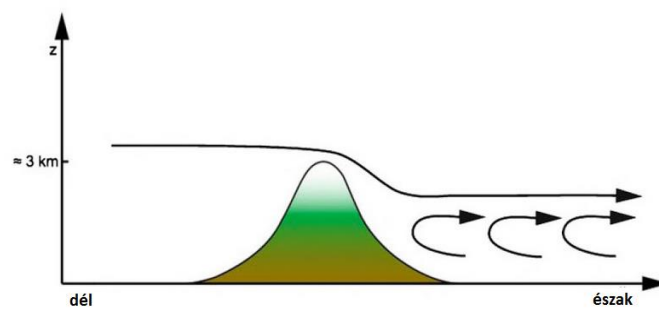
alapmechanizmus egy gőzinjektor működéséhez, hasonlítható, amely a 3. ábrán látható (Sprenger *et al.*, 2016).

INJECTOR



3. ábra A gőzinjektor (Streiff-Becker, 1947)

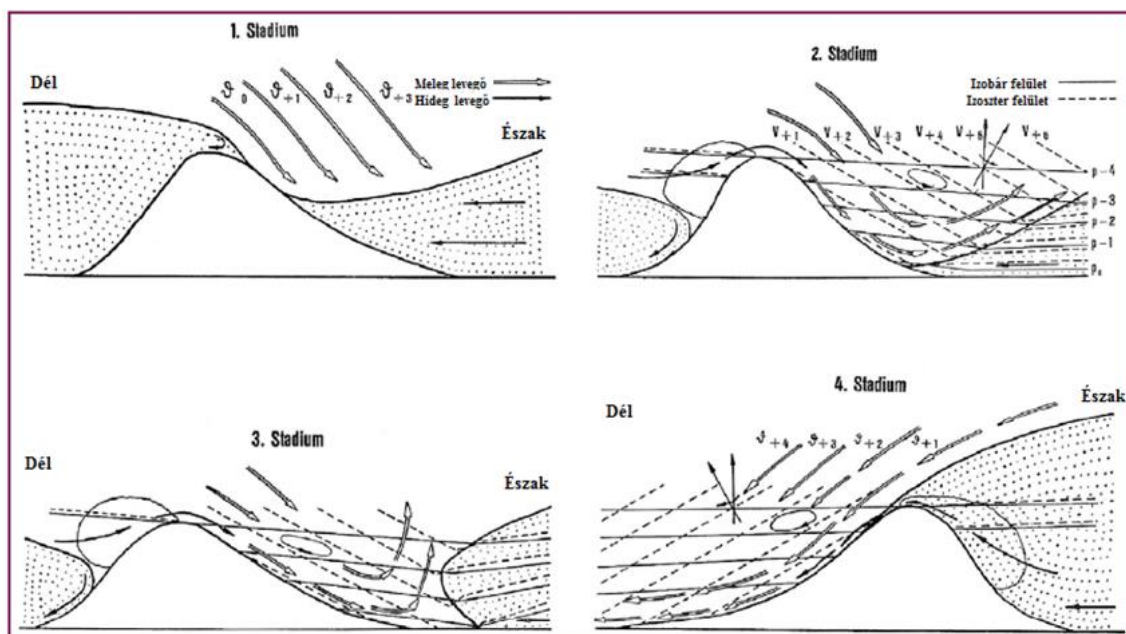
Az Alpok gerincéről származó levegő lefelé halad a keskeny hegyi hágókon, felemeli a levegőt a völgy aljáról, úgy viselkedik, mint egy szivattyú. Ez viszont a belső alpesi völgyekben a levegő elvékonyodásához vezet, amely az Alpok csúcsáról származó levegőt leszállásra kényszeríti a vákuum határfelületi rétegbe (Sprenger *et al.*, 2016). Az elmélet lényege, hogy egy magassági áramlás elterül a hideg levegőréteg felett, ami a turbulens erózió következtében fokozatosan távolodik, ezáltal pedig a magasban lévő levegő lefelé nyomul, ezt mutatja be a 4. ábra (Steinacker, 2006).



4. ábra Streiff-Becker vertikális beszívás elmélete (Richner und Hächler, 2013)

Merőben új elgondolást fogalmazott meg Karl Frey 1944-ben baseli disszertációjában, a szolenoid elméletet (Sprenger *et al.*, 2016; Steinacker, 2006). A főn változatos megjelenési formáira fizikai magyarázattal szolgált, miszerint a lee oldalon egy szolenoid mező képződése figyelhető meg, ami az északi főnáramlás leszálló

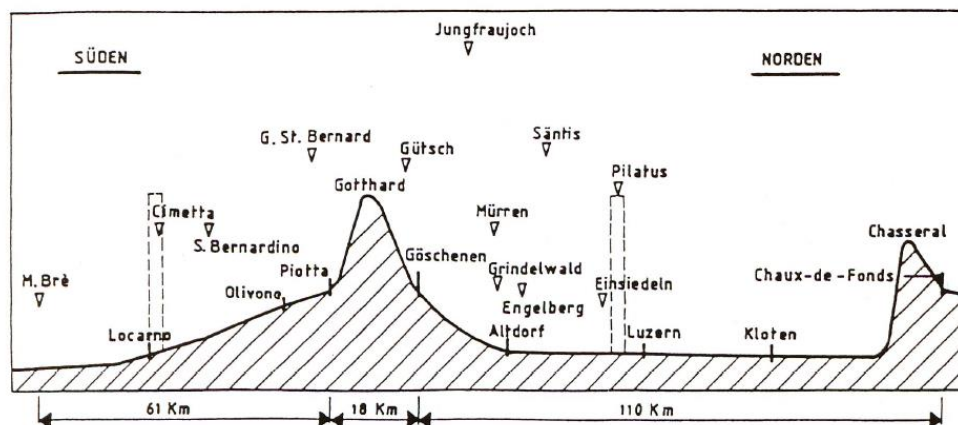
komponensét okozza. Azonos nyomási szinten a levegő sűrűsége szignifikánsan magasabb az Alpok csúcsának közelében, mint az Alpok előtere felett. Vagyis az izobárikus, azaz azonos légnyomású és izoszterikus, vagyis azonos sűrűségű felszínek metszik egymást, ami egy baroklin mező kialakulásához vezet közvetlenül az Alpok hegyeinek lee oldalán. Ez az úgynevezett szolenoid mező, amelynek kialakulását az 5. ábra mutatja (Sprenger et al., 2016).



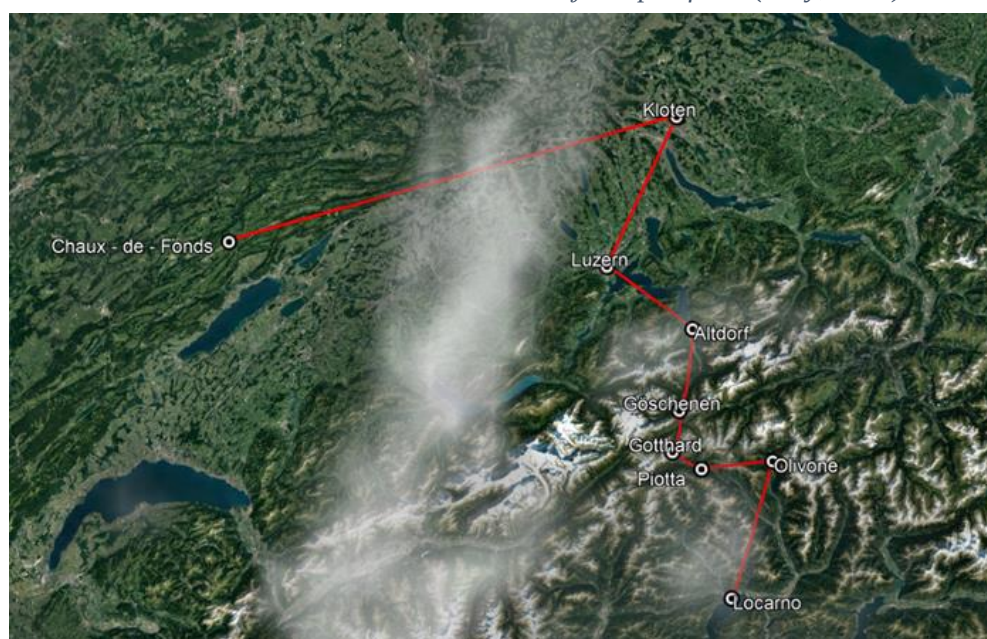
5. ábra A szolenoid mező kialakulása Frey szerint (Sprenger et al., 2016)

Így Frey elmélete szerint ez egy másodlagos cirkulációt okoz, ebben az esetben a légtömeg lefelé áramlik az Alpok gerincének lee oldalán. A leáramlás kinetikus energiája Frey szerint elegendő ahhoz, hogy kiszorítsa a hideg levegőt, ami kezdetben kitölti a völgyet. Valójában Frey rámutatott, hogy a főáramlás hatalmas kinetikus energiája nem magyarázható teljesen a völgy mentén kialakuló nyomáskülönbséggel, hanem valójában az Alpok északi oldalán kialakuló jól strukturált szolenoid mező eredménye. Ráadásul Frey szerint a főn különböző völgyekben kialakuló eltérései az Alpok északi oldalán megjelenő szolenoid mező különbözőségéből fakadnak, amit a völgy geometriája és a felszín szerkezete határoz meg (Sprenger et al., 2016). Frey megmutatta, hogy a hőmérsékleti gradiens az Alpok felett és közvetlenül a lee oldalon éppen ellentétes. A mérésekből megállapította, hogy azonos magasságban, északi irányban a hőmérséklet növekszik, ezzel egyidejűleg azonban a nyomás csökken (Gubser, 2006). Frey azt találta, hogy főn esetén a svájci Alpok területén a Pilatustól a Gotthard csúcsig (6. és 7. ábra)

azonos magasságban megközelítően 7 fokos hőmérsékletcsökkenés, bizonyos extrém esetekben több mint 10 fokos csökkenés volt megfigyelhető. Tehát azonos nyomási szinteken az Alpok főhegygerince felett lényegesen sűrűbb volt a levegő, mint a Voralpen felett (Dammann, 1952).



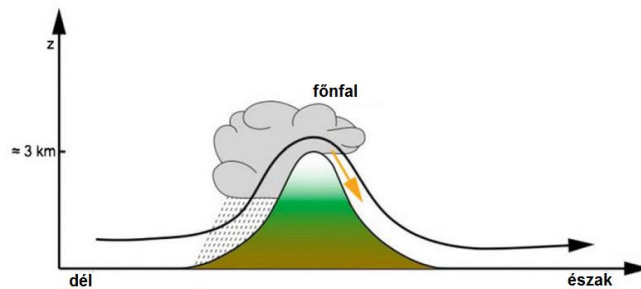
6. ábra DDK-ÉÉNY keresztmetszet a svájci Alpok felett (Frey, 1996)



7. ábra Az 5. ábra metszésvonala (Forrás: Google Earth)

Fritz Rossmann és Walter Schüepp a fön leereszkedését a főnfalnak tulajdonította, vagyis annak a felhőnek, amely a hegygerinc fölött képződik. Ez az elmélet a fön vízesés teóriája néven vált ismertté, amelyet a 8. ábra mutat. A főnfal az Alpok déli lejtői felett a nedves levegő felemelkedésének következményeként épül fel, a keletkező felhő eléri az Alpok csúcsát, majd a levegő elkezdi leszállni az északi oldalon. Itt megkezdődik a vízcseppek párolgása, ami az elméletnek megfelelően a környező légtömegek hűléséhez

vezet, így nő a levegő sűrűsége. Mivel így a hegygerinc közeli levegő sűrűsége meghaladja a környezetének sűrűségét, a levegő bora-szerűen leereszkedik az Északi Alpok völgyeibe. Természetesen amint a vízcseppek teljesen elpárolognak, a levegő száraz adiabatikusan felmelegszik, a sűrűség extra növekedése megáll. Viszont a lefelé haladó légréteg elég lendülethez jut, hogy folytassa a leereszkedést és egyenesen kiszorítsa az alpesi völgyekben tartózkodó hideg légpárnát (Sprenger et al., 2016).

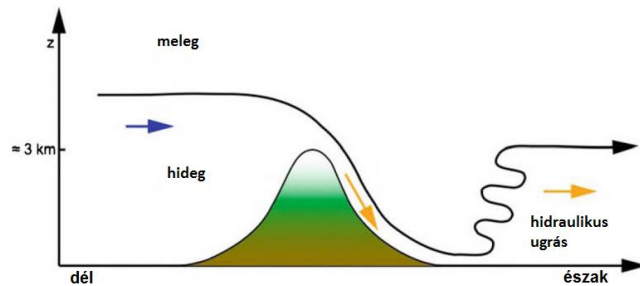


8. ábra Rossmann vízesés-elmélete (Richner und Hächler, 2013)

Hasonló szellemben vetődött fel 1952-ben Berg teóriája, aki feltételezte, hogy az Alpok gerincétől északra található lejtőkön a légtömegek éjszakai lehűlése idézi elő a völgy felé irányuló szelet. Ezt követően a főn levegője pótolja a völgyi szél miatt elveszett légtömeget (Sprenger et al., 2016).

Ellentétben minden korábbi főn-elmélettel, Schweitzer megpróbálta a főnt a hidrodinamikából ismert kritikus sebességet meghaladó sebességű légáramlasként magyarázni. Ez az elmélet azt mondja ki, hogy a főn hidrodinamikailag rohanó áramlás (Dammann, 1952). Egy adott vízhozam például egy nagy tóból kétféle sebességgel folyhat le. Áramló vízmozgásról beszélünk, ha a nagyobb vízmélységhez lassú vízmozgás társul, rohanóról pedig abban az esetben, ha kis vízmélység mellett gyors a mozgás. A két mozgás a Froude-szám segítségével különíthető el, ami a mozgási és helyzeti energia viszonyát fejezi ki. Ha ez a szám kisebb, mint 1, akkor áramló, ha nagyobb, mint 1, akkor rohanó vízmozgásról van szó. A kritikus sebesség megegyezik a vízfelszínen haladó hullám sebességével (Gombos, 2011; Dammann, 1952). A víz felszínét itt az inverzió helyettesíti. 2000 m és 4000 m között gyakran egy erős inverzió képződik a légkörben. Az északi és déli területek között fennálló nyomási gradiens miatt, amit egy északnyugat felől érkező ciklon fokoz, a felszín és az inverzió közötti légrétegben áramlás indul meg észak felé, de ezt a topográfia akadályozza, a levegő csak szűkebb csatornákon, a völgyeken, hágókon tud csak keresztül áramolni. Ez nyugodt, áramló mozgással történik,

amíg el nem éri a kritikus sebességet. Eddig a pillanatig az áramlás advekciós sebessége és a hullámok terjedési sebessége megegyezik. Majd eléri a maximális szállítási teljesítményt a feltételezett csatorna (pl. egy hágó) keresztmetszetén keresztül. Az áramlás tovább gyorsul, a szállítási teljesítmény csökken és az inverzió a lee oldalon lesüllyed, itt az áramlás már meghaladja a kritikus sebességet (Gubser, 2006). Damman (1952) ezt egy olyan csatorna analógiájával mutatta be, ami egy tóból áramlik ki, az áramlást egy gát akadályozza, a gát másik oldalán pedig egy szivattyú található. A kiindulási állapotban a víz mindenütt áramló mozgást végez, a tóból kifolyva átfolyik a gát felett és a szivattyú felé folytatja útját. Ha növeljük a szivattyú teljesítményét, a vízmélység a gát felett csökken, amíg el nem éri a kritikus vízmélységet, és a legnagyobb átfolyó vízmennyiséget. Ha a szivattyú szállítási teljesítményét tovább növeljük, akkor a szükséges vízmennyiség a gát felett már nem tud átáramlani, a gát felett és a gát szivattyú felőli oldalán a vízmélység kritikus alatti értékre süllyed, és az áramlás átmegy rohanóba. A tónak a hegység luv oldalán található inverzió alatti légtömeg felel meg, az északnyugaton elhelyezkedő alacsonynyomású terület pedig szivattyúként hat. Az 1300 méteres Brenner-hágóról leereszkedő főn felemelkedése az innsbrucki északi hegylánc 2000 méteres magasságába megfelel egy ilyen rohanó áramlás által megvalósuló akadályátlépésnek. Az áramló és rohanó mozgás közötti átmenetet a folyadékban az úgynevezett vízugrás jelenti, aminek a főn esetében az ún. levegőugrás felel meg. A főáramlás rohanóból áramló állapotba történő átmenetét a hegység lee oldali előterében tapasztalhatjuk, ahol a kinetikus energia veszteség hatalmas turbulens örvények, úgynevezett rotorok kialakulásában nyilvánul meg, amit a vitorlázó repülők is megtapasztalnak (9. ábra). Ezzel a nézettel kapcsolatban két kérdés is felvetődött. Az egyik, hogy az áramló vízben meglévő folyamatokat valóban lehetséges-e átültetni a légkörbe? Schweitzer azt mondta, hogy az inverzió bizonyos magasságánál és bizonyos hőmérsékleti gradiens mellett a főn valóban át tudja lépni az alaphullám-sebességet. Véleménye szerint ez elsősorban tavasszal és ősszel valósul meg, ami valóban egybeesik a főn leggyakoribb előfordulásaival az Alpokban. A másik fontos kérdés az volt, hogy ez a nézet összhangban van-e a főnkutatás korábbi eredményeivel. Schweitzer azt mondta, hogy csak az alsó légrétegekben figyelhető meg rohanó áramlás, Frey szerint viszont a magasban is megtalálható. Schweitzer áramlás-elmélete lényegében részfeltétele Frey teljes elképzelésének (Dammann, 1952).



9. ábra Schweitzer hidraulikus ugrás elmélete (Richner und Hächler, 2013)

Scorer és Klieforth tanulmányozták a gravitációs hullámok és rotorok matematikai és fizikai hatásait a hegység lee oldalán (Sprenger *et al.*, 2016). Azt gyanították, hogy létezik a hegységeknél egy kritikus magasság, amikor a hegység luv oldalán található alsó légrétegek blokkolódnak, tehát nem tudnak átáramolni a hegygerincen. Így az a levegő, ami a blokkolt légtömegek felett áramlik, az akadály lee oldalán eljut a völgyekbe. A légkör a luv oldalon stabil rétegződésű, így ennek a magasból származó levegőnek a potenciális hőmérséklete a leszállás után a völgyekben magasabb, mint a blokkolt levegőnek a hegység lee oldalán. A luv oldalon stabil hideg levegő található, míg a lee oldalon a légkör magasabb területéről leszállt levegő tartózkodik, ez okozza a két oldal közötti hőmérséklet-különbséget. Az volt a véleményük, hogy a nagy amplitudójú lee-hullámok felelősek a főszelek keletkezéséért.

A 20. század ötvenes évei óta nem született új főelmélet (Gubser, 2006). A különböző főelméletekkel kapcsolatban komoly viták zajlottak (Sprenger *et al.*, 2016). Némelyek helyességével kapcsolatban komoly aggályok merültek fel. Brinkmann (1971) megjegyezte, hogy Wild elmélete csak két homogén réteggel rendelkező rendszerre alkalmazható és nem engedi meg a lee hullámokat. Scorer és Klieforth teóriájáról azt mondta, hogy a 12 kritériumot alkalmazó definíció a gyakorlatban használhatatlan. Mörikofer (1950) arra a következtetésre jutott, hogy az eltérő nézeteknél általában helyes megfigyelések szolgáltak alapul, nagy hangsúlyt fektettek a főfolyamatok egyes részleteire. Azonban a kutatók mindig más részjelenséget tekintettek a főn fő okának, ezért túl kevés figyelmet fordítottak a szél közös jellemzőire (Gubser, 2006). Gubser arra a következtetésre jutott, hogy a főn végleges elmélete meghatározhatatlan, mert nincs olyan, amely minden főnesetet megmagyarázna. Csak az összes főelmélet kombinációja

magyarázhatja a leszálló légtömegek esetenkénti változékonyságát (*Sprenger et al.*, 2016).

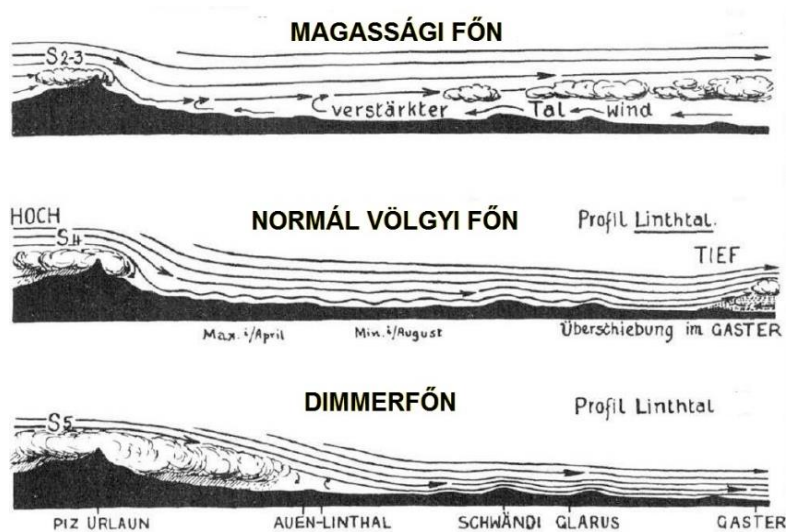
Több olyan kutatási program volt, amely foglalkozott a fön tanulmányozásával, ilyen volt az ALPEX és a MAP. Az ALPEX (**Al**pine **E**xperiment) volt a Globális Atmoszférikus Kutatási Program utolsó nemzetközi expedíciója, 1982 március és április között zajlott 35 napon keresztül. A vizsgálat elsősorban a Genovai-öbölben északnyugati áramlás esetén kialakuló ciklonok keletkezésére és fejlődésére koncentrált, kiegészülve a fön- és bora-esetek mérésével és modellezésével (*Volkert*, 2006). A MAP (**M**esoscale **A**lpine **P**rogramme) mérési fázisára 1999. szeptember 7. és november 15. között került sor (*Lothon et. al*, 2003). 8 fő kutatási irányt határoztak meg a program során: orografikus csapadéknál jelentkező mechanizmusok, felsőtroposzférikus anomáliák, hidrológiai mérések árvíz előrejelzéshez, áramlások a hágókon keresztül, fön a Felső-Rajna völgyben, háromdimenziós hegyi hullámok, alsótroposzférikus szélnyírási zóna. A fön vizsgálatánál különösen nagy figyelmet kapott a Svájc területén található Felső-Rajna völgye Chur és a Bodeni-tó között (*Volkert*, 2006).

2.A fön fajtái

2.1. A Streiff–Becker-féle osztályozás

Streiff–Becker a svájci Alpokban végzett többéves megfigyeléseire alapozva a fön három típusát különböztette meg, amelyet a 10. ábra is mutat: (1) a magassági fönt, ami déli szélnél az alpesi hegygerinc felett jelentkezik, és erőssége az ún. fél Beaufort-szélskála 3-as erősségéig terjed, (2) a völgyi fönt, melynek erőssége 4-es szélerősség körül alakul, és (3) az ún. „dimmerfönt” 5-6-os szélerősséggel (*Streiff-Becker*, 1947). A fél Beaufort-skála Németországban gyakran használt hatfokú, szélerősséget mutató skála. A fokozatok a következőképpen alakulnak (*Klein*, 1905):

0 = szélcsend	1 = gyenge szél	2 = mérsékelt szél	3 = erős szél
4 = nagyon erős szél	5 = vihar	6 = orkán	



10. ábra A fön fajtái Streiff-Becker szerint (Sprenger et al., 2016)

A magassági fön gyakran csak a hegygerinchez közeli területeken fordul elő (Streiff-Becker, 1925). A magassági fön nem tud lehatolni a völgyfenéig, ha alacsony szinten az ellenkező irányból meleg levegő áramlik. Ezekben az esetekben a magassági szél a meleg, talaj közeli levegőt felszívja, és a völgygel párhuzamosan fújó északi szelet eredményez. A fönnnek ez a típusa, amely csak korlátozott mélységig tud lehatolni, általában a meleg évszakokban fordul elő (Streiff-Becker, 1942).

A völgyi fön lejut egészen a völgy aljáig, a hegygerinc felett pedig megjelenik az ún. fönfal. Ebben az esetben a magassági déli szél a hegylánc lee oldalán a szolenoid mező mentén meredeken lefelé áramlik a völgy hátsó részébe, benyomul a völgybe, közben az előtte fekvő mozdulatlan hideg levegőt magával sodorja, szétoszlatja, vagy fölé siklik és átkel rajta. A fönnre jellemző henger alakú felhő, amit fönfalnak neveznek, csak a hegygerinc legmeredekebb részét fedi be, miközben a tőle északra lévő hegyek felhőmentesek maradnak, és így a levegő a fönterületen nagyon tiszta és átlátszó (Streiff-Becker, 1947).

A dimmerfön alakul ki legritkábban. Ennek során távolról előre nyúló fönfelhők és eső alakul ki a lee oldalon is a hegyvidéki völgyekben, miközben a svájci Mittelland területén tipikus száraz fön fúj (Streiff-Becker, 1925).

A dimmerfön elnevezést először Oswald Heer természettudós használta 1846-ban, ahogy egyik tanulmányában írja: „a vad fön” (völgyi fön) a hátsó területen átlagban évente 10-12-szer jelenik meg, de még ritkább a dimmerfön, ami a hegyi természet egy

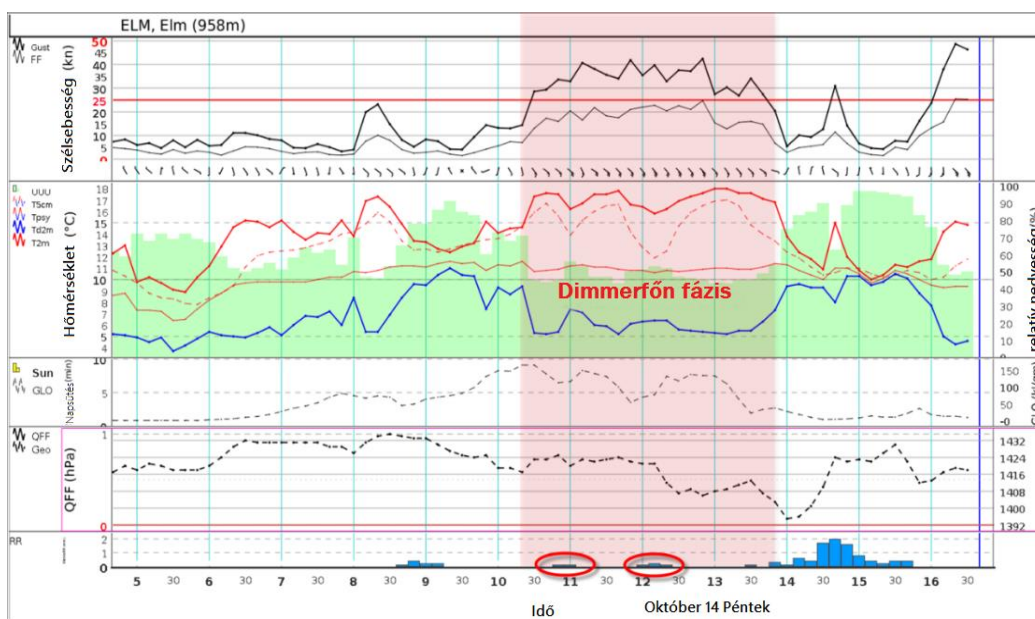
sajátos jelensége. A hegyek egész haloványan látszódnak, és a teljes terület fölé egy finom, füstszerű köd húzódott” (*Streiff-Becker, 1947*). A 19. század közepén a svájci Glarus kantonban élő kutató, dr. Oertli Heer-rel ellentétben a dimmerfönt is szelíd fönnek nevezte. Ez valószínűleg azért van, mert „dimmerfön esetén Glarus környékén tulajdonképpen légnyugalom uralkodik, és a dimmerfönt környezetében komornak, ámde szelídnek érezzük, a gyakori „vad fönhez” képest” (*Streiff-Becker, 1947*). Svájcön kívül a kutatók nem foglalkoztak a dimmerfönnel a 20. század második feléig, azelőtt a kifejezés nem szerepel a tudományos publikációkban. Ezt a főnfajtát ma már Ausztriában az innsbrucki kutatócsoportok is vizsgálják tudományosan, az általuk megfogalmazott definíció: Fön az akadály lee oldalán is kialakuló csapadékkal. Leginkább ez tesz különbséget a dimmerfön és a „normál” fön között Mayr szerint (*Richner and Dür, 2015*).

Richner és Hächler (2013) a dimmerfönt a következőképpen írta le: Egy déli fön, ami nem azonnal követi a domborzatot a lee oldalon, hanem a felszínt távolabb, bukószélként éri el. A hegygerinc a felhőkben van, ezért a bukószél távolabbra tolódik. A gerinc közvetlen közelében található viszonylag nyugodt terület sötét, a vastag felhőknek köszönhetően (*Richner and Dür, 2015*). Ezért használják a dimmerfön elnevezést, amelyet Streiff Becker szerint a glarusiak neveztek így dimmer helyi szavukból, amely a *dämmerung* szóból származik, ezt azonban Richner és Hächler cáfolta, véleményük szerint a „dimmerig” vagy „dimmrig” svájci német szóból ered, de mindkét változat a „homályos” jelentésre utal (*Streiff-Becker, 1947; Richner and Dür, 2015*). A WMO által meghatározott és jelenleg is érvényben lévő definíció a következő: A fön olyan formája, amelyben a párás levegő kiterjed a hegygerincen túlra, csapadékot és rossz látási viszonyokat okozva szokatlanul messze a lee oldalon is (*Richner and Dür, 2015*).

A dimmerfön szinte minden esetben egy tipikus képet mutat. A völgy felső, gerinchez közeli részén nyugalom uralkodik, ezzel szemben az Alpok előterében és peremén erős vihar jellemző, zavaros levegővel. Az időjárási térképeken az izobárok lefutása különbözik a megszokott fönhez képest. Dimmerfönnél a Biscayai-öböl felett elhelyezkedő depresszió az Alpok irányában megerősödik, kiterjed délkelet felé a Földközi-tenger irányába, sőt Korzika térségében egy második depresszió is megjelenhet. Ez a ciklon északi irányban a balkáni anticiklon nyugati pereme felé halad és többnyire a Rhone folyó völgyében egyesül a Biscayai depresszióval, ezáltal növelve energiáját. A meredek nyomási gradiens következtében az Alpok hegygerince felett áramló déli szél

orkánná erősödik, ami a hegylánc lee oldalán nagy tehetetlensége miatt nem áramlik le rögtön a völgybe, hanem csak kijebb, valahol Glarus térségében, viharokat okozva a svájci Mittellandig. Ha a földközi-tengeri depresszió Észak-Afrika partjairól származik, akkor gyors északra történő vonulása során sivatagi homokot hoz magával az Alpokba, ami hozzájárul a látási viszonyok romlásához. A dimmerfőn ritkán hosszú életű, csak egy rövid ideig tartó fázisa van egy általános főnstádiumon belül (Streiff-Becker, 1947). Az Alpok északi lábánál gyakran sok kárt okoz az erdőkben és az épületekben, és gyakran hoz portömeget délről (Streiff-Becker, 1947).

A 11. ábrán Elm állomás meteogramján jól látható a relatív nedvesség csökkenésének és a hőmérséklet növekedésének együttes jelenléte, amely a főnt mutatja. Ezen belül két alkalommal csapadék is megfigyelhető, ami a dimmerfőn fázist jelöli [3 – meteoschweiz.admin.ch].



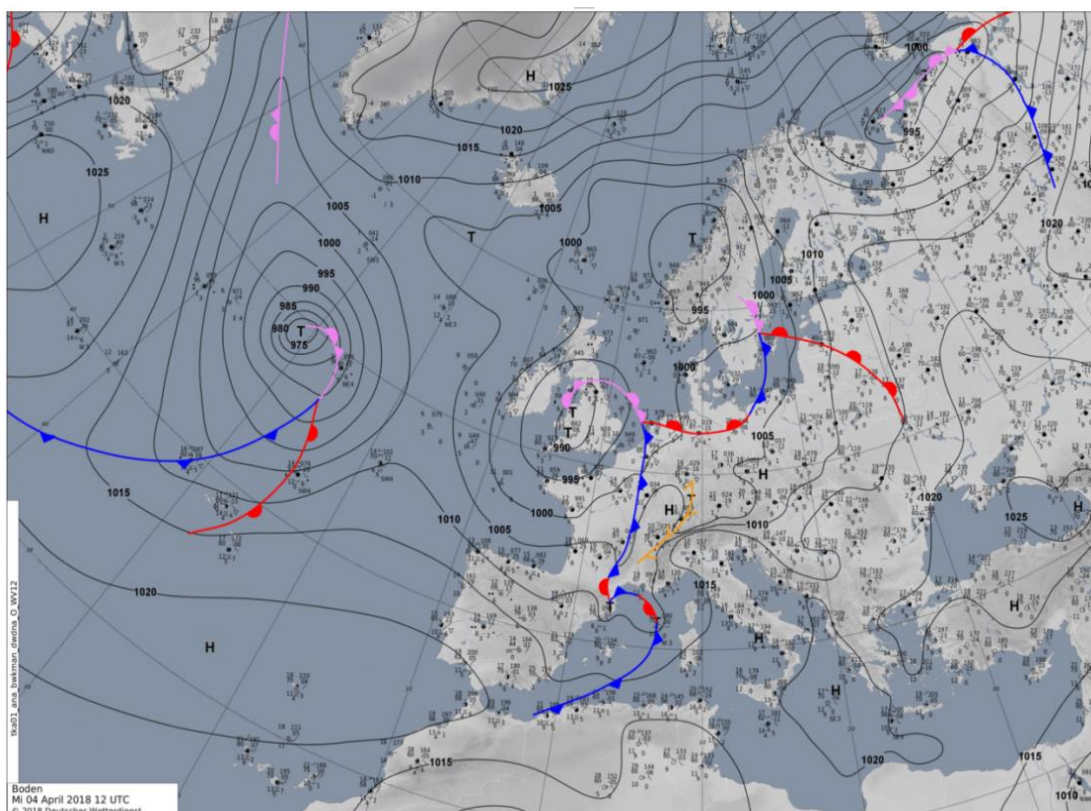
11. ábra Meteogram Elm állomásra 2016. október 14-én a dimmerfőn fázis ábrázolásával [3 – meteoschweiz.admin.ch]

2.2 Ciklonális és anticiklonális főn

A leszállás okát figyelembe véve a főnt két fajtára oszthatjuk, ciklonális és anticiklonális főnre. Ciklonális főn esetén az alpesi vagy déli főnre gondolunk, az igazi főnre, aminek kialakulásának elméletéről több és időnként vitatott elmélet is született. Az anticiklonálisról, amit szabad főnnek is szoktak hívni, viszonylag megegyeznek a vélemények (Prohaska, 1947).

A ciklonális főn

Ez a főntípus egy ciklonális áramlási rendszerhez kapcsolódik. A kialakulása attól függ, hogy ez a légáramlat olyan hegységen fúj-e, ami az áramlás útjában van. Azt hogy egy ciklon melyik szakaszában és oldalán okoz ilyen hegyről lefújó szelet, a ciklonnak a hegyekhez viszonyított elhelyezkedése határozza meg (Prohaska, 1947). Egy tipikus, Svájcban kialakuló ciklonális főnhelyzetet mutat be a 12. ábra. A fronttérképen jól látható egy ciklon, amelynek középpontja a Brit-szigetekenél található, és egy anticiklon pedig Közép-Európa felett. Svájc az alacsony nyomású terület előoldalán helyezkedik el. Délután Franciaország felől közeledett egy hidegfront, amelynek előterében egy konvergenciazóna alakult ki, ez narancssárgával van jelölve, viharos nyugati szelet okozva [4 – meteoschweiz.admin.ch].



12. ábra Ciklonális főnhelyzetet bemutató időjárási fronttérkép 2018. április 4-én 12 UTC időpontban[4 – meteoschweiz.admin.ch]

Az anticiklonális főn

A szabad főn az anticiklonok bármely típusában kialakulhat. A legerősebben kifejezett és ezért klimatikusan is a leghatékonyabb a nagy kiterjedésű és helyhez kötött,

állandósult anticiklonokban, amelyek nagy vertikális kiterjedéssel rendelkeznek, és 8-10 km-es magasságig lényegesen melegebbek, mint az alacsonynyomású területek. Ezen meleg anticiklonok felett a tropopauza 11-13 km magas és nagyon hideg (-60 — -70°C). Ez a sztratoszférikus hideg levegő tulajdonképpen minden stacionárius anticiklonhoz köthető időjárási jelenség oka. Összenyomja az alsó légrétegeket, melyek a süllyedés és zsugorodás által felmelegszenek, majd szétáramlanak, a felhők szétoszlanak és a nedvességtartalom erősen lecsökken.

Az anticiklonok másik alaptípusa a sekély hideg anticiklonok, amelyek a légtömegek általános áramlásával vándorolnak. Csak a troposzféra alacsony rétegeiben (kb. 3-5 km magasságig) mutathatók ki, területükön relatíve alacsony a hőmérséklet. Felettük a magasban egy meleg és alacsonyan lévő tropopauza található, ami hasonló értékeket mutat, mint a ciklonok felett. Ezen termikus magasnyomású területek hideg légtömegei az alacsonynyomású területek hátoldalán szétáramlanak és leszállásra kényszerítik a levegőt a magasból. A legtöbb rövid életű főnnek az oka a hideg levegő zsugorodása a troposzféra alsó rétegeiben (*Prohaska, 1947*).

A szabad főn elsődlegesen csak két éghajlati elemre fejt ki hatását, a hőmérsékletre és a nedvességre. Befolyásolja a szabad légkör éghajlatát az óceánok és a szárazföldek nagy területei felett. Az anticiklon közvetlenül csak a földfelszín magas tengerszint feletti magasságú részeire gyakorol hatást, például a magashegységek éghajlatára. Télen növeli a napsugárzás mennyiségét, kiszárítja a levegőt és felosztatja a felhőket. Miközben az alacsonyabban fekvő területek az alacsony szintű rétegfelhőzet alatt fekszenek, ami a kb. 1000 méteres magasságban kialakuló zsugorodási inverzió alatt jön létre. Ez a záró réteg minden kicserélődést megakadályoz és a meleg száraz magassági levegőt elhatárolja a hideg, nedves felszín közeli levegőtől. A meleg évszakokban a szabad főn könnyebben nyúlik le az alacsonyabban fekvő területekig, ahol megakadályozza a talaj menti ködképződést, felosztatja a felhőzetet, illetve csak lapos gomolyfelhők kialakulását teszi lehetővé (*Prohaska, 1947*).

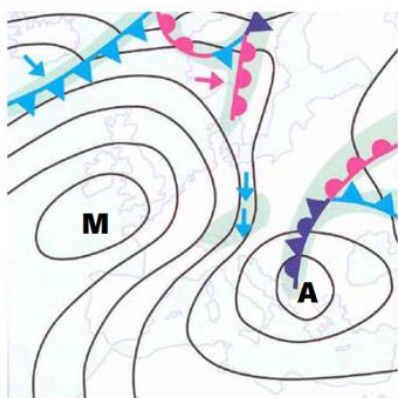
2.3 Északi és déli főn

Az Alpokban a leszállás helyét tekintve két típust különböztethetünk meg, az északi és a déli főnt. Északi főnről beszélünk akkor, ha az áramlás az Alpok felett észak-

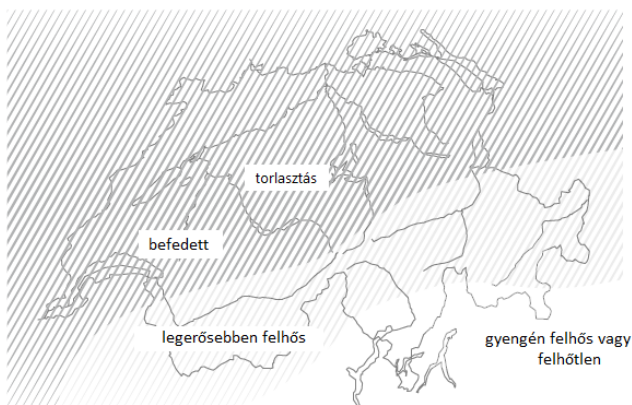
déli irányú, így a főnhatás a hegyvidék déli területein jelenik meg. Déli főn esetén a levegő délről áramlik északra, és az Alpok északi völgyeiben okoz melegedést.

Az északi főnön belül Billwiller (1899) különböző fajtákat határozott meg: Az egyik a gradiensfőn, ami a légnyomásnak a hegység felett kialakuló észak-déli irányú gradiense miatt alakul ki. Ez kétféleképpen is létrejöhet, egy az Alpok déli oldalán megjelenő depresszió következtében, vagy egy magas nyomású zóna közeledésének köszönhetően az Alpok északi részén. A másik az anticiklonális főn, ez a levegő főntípusú lesüllyedése az Alpok déli oldalán található völgyekben, ami egy az Alpoktól északnyugatra vagy nyugatra, vagy éppen az alpesi térség felett elhelyezkedő anticiklon leszálló áramlásának köszönhető (Hann, 1096).

Az északi főn lényegében a déli főn hidegebb testvére. A legnagyobb különbség köztük, hogy az északi főn északról érkezik és az Alpok déli oldalán jellemző, a betörő hideg légtömegeknek köszönhetően a hegység északi oldalán emelkedik a légnyomás, míg a déli oldalon nyomáscsökkenés érzékelhető, de csak a középső és felső troposzférában, a mélyebben fekvő síkságokon nem (Frey, 1996). Amikor egy magasnyomású terület középpontja Svájctól nyugatra fekszik, akkor nedves levegő áramlik az Északi-tenger térségéből az Alpok mentén, mint ahogy azt a 13. ábra is mutatja. Általában tiszta, szép időjárást hoz, jelentős hőmérsékletemelkedést okoz az Alpoktól délre. Ez leggyakrabban tavasszal jelenik meg. A torlasztásos felhőzet az Alpok északi oldalán helyezkedik el a 14. ábrának megfelelően. A felhőréteg vastagsága az alpesi hegygerintől távolodva folyamatosan csökken, ezáltal kisebb esélye van a csapadéknak is [5 – meteoschweiz.admin.ch].

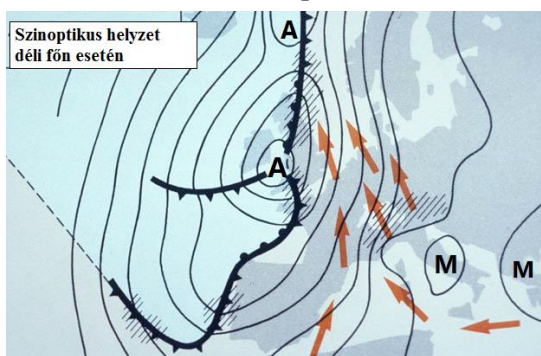


13. ábra Szinoptikus helyzet északi főnnél (Cetti et al., 2015)

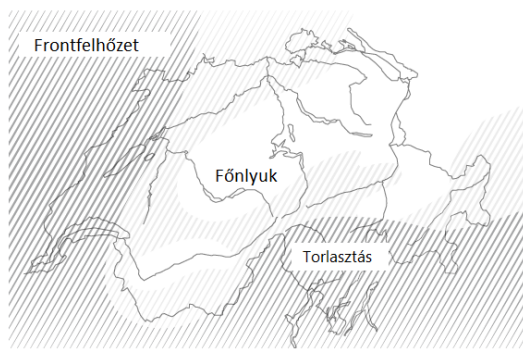


14. ábra Felhőborítottság északi főnnél [4 – meteoschweiz.admin.ch]

A déli főn pont fordítva, délről áramlik, és az Alpok északi oldalán alakul ki (Frey, 1996). A déli főn legfontosabb előfeltétele egy déli – délnyugati magassági áramlás az Alpok felett. Minden déli főnre hasonló szinoptikus helyzet jellemző, amit a 15. ábra mutat be: Egy ciklon található Svájc északnyugati részén Észak-Franciaország, a La Manche csatorna, Dél-Anglia területén. A hozzátartozó fronthullám hidegfrontja Kelet-Franciaország mentén előrenyomul. Észak- Olaszország felett egy kis skálájú magas nyomású terület képződik. Az izobárok lefutása az Alpok felett egy tipikus S alakot, úgynevezett főntérdet ír le. Az alpesi hegygerinc déli részén kimondottan rossz időjárás jellemző. Intenzív csapadéknál a felhőalap csak 100 méterrel van a völgyfenék felett. Az alpesi hegygerinc a felhőben van, az északi oldalon viszont a lesüllyedő levegőnek köszönhetően a felhőzet feloszlik. A „főnlyuk”, azaz a felhőmentes terület és a torlasztásos felhőzet területe közötti átmeneti zónában (16. ábra), amely a főn erősségétől függően különböző szélességű lehet, a szél nem képes felosztatni a felhőket, megmarad a felhőborítottság, a közeledő hidegfront csapadékot hozhat erre a területre [4 – meteoschweiz.admin.ch].

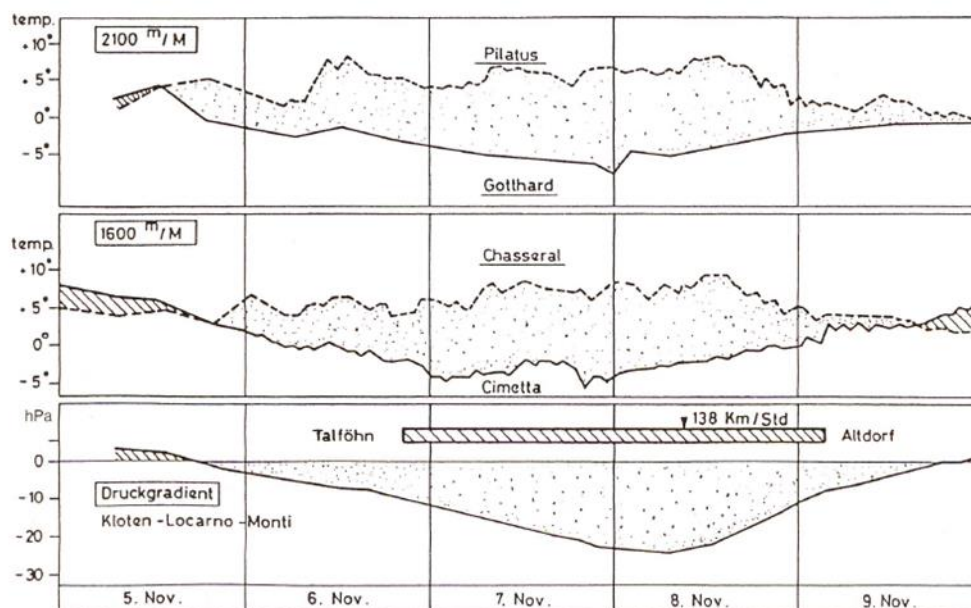


15. ábra Szinoptikus helyzet déli főn esetén (Richner and Hächler, 2006)



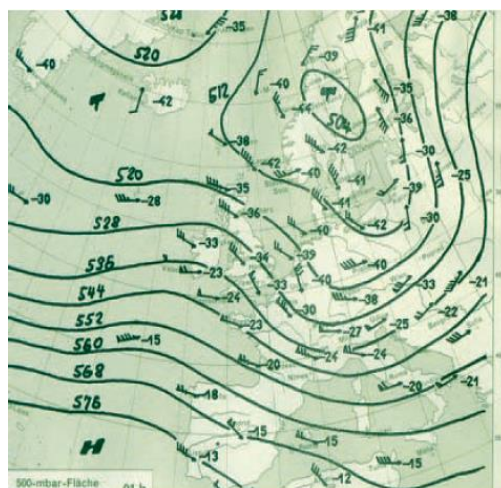
16. ábra Felhőborítottság déli főn esetén [4 – meteoschweiz.admin.ch]

Az északi és a déli főnnek sok közös tulajdonsága van, de egyidejű jelenlétüket sokáig lehetetlennek tartották. 1981. december 13-án azonban ilyen különleges esemény következett be. 16 és 20 óra között egyazon időben Locarno-ban északi főn, Altdorf-ban déli főn fújt (17. ábra). Ez az időjárási helyzet azért valósulhatott meg, mert egy erős északnyugati-nyugati magassági áramlás által egy ciklon 24 órán belül a La Manche csatornán keresztül az egykori Jugoszláviába helyeződött át, ez a ciklon rövid idő alatt az Alpok hegygerince fölé került (Frey, 1996).

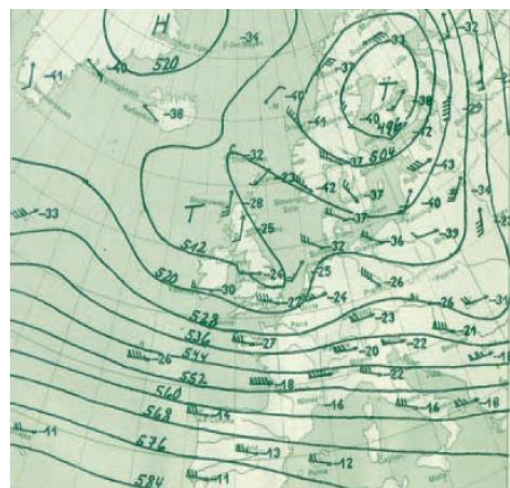


17. ábra Északi és déli fön együttes jelenléte (Frey, 1996)

Az 500 hPa-os topográfia térképen tökéletesen látszott, ahogy az Alpok területén egy északi fön, ami 9 hPa-os északi nyomási többlettel járt, átalakult egy 15 hPa-os déli nyomási többlettel rendelkező déli fönné (18. és 19. ábra). Az északi és déli fön közötti átmeneti időszakban az alpesi területen divergencia volt megfigyelhető, az északi oldalon nagyon magas légnyomással, a délin nyomáseséssel (Frey, 2007).

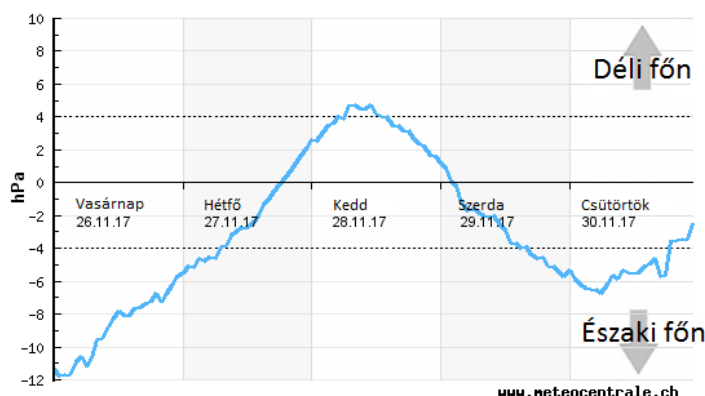


18. ábra 500 hPa topográfia térkép 1981. december 13. 0 UTC időpontban – Északi fön 9 hPa-os északi nyomási többlettel (Frey, 2007)



19. ábra 500 hPa topográfia térkép 1981. december 14. 0 UTC időpontban – Déli fön 15 hPa-os déli nyomási többlettel (Frey, 2007)

A két főntípus előrejelzésének megjelenítéséhez a 20. ábrán látható úgynevezett főndiagramot is használnak. Ez a diagram Lugano és Zürich közötti területre vonatkozik, és a Meteogroup MOS multi-modelljének légnyomás adatain alapul [6 – meteocentrale.ch].



20. ábra Főndiagram, ami Lugano és Zürich légnyomás-különbsége alapján jelzi előre a fön kialakulásának lehetőségét [5 – meteocentrale.ch]

A nyomáskülönbség megadja, hogy milyen szélviszonyok várhatóak az Alpok felett. Ha a nyomáskülönbség pozitív, vagyis Zürich-ben alacsonyabb a nyomás, mint Lugano-ban, akkor déli főnre lehet számítani. Ezzel szemben, ha ez az érték negatív, akkor északi főn jelentkezhet. Minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál erősebb a fön [5– meteocentrale.ch].

3. A fön fejlődési szakaszai

Ficker 1910-ben a fön folyamatában 3 szakaszt különböztetett meg: az előszakaszt, az anticiklonális szakaszt és a valódi főnszakaszt. A kezdeti szakaszban, a magasban, magasnyomású időjárás jellemző száraz, meleg, gyenge széllel, eközben a főnoldalon a hőmérsékleti inverzió miatt hideg levegő található (Damman, 1952). Ilyen esetben a legmélyebb légrétegek a leghidegebbek, a hőmérséklet a magassággal nő, majd a nagyobb magasságokban az inverzió felett megint csökken. Tartósan szép időjárásnál egy közeledő légnyomásminimum miatt a hideg felszíni réteg lefolyó mozgásba kerül a völgy irányába, és a lefolyó levegő pótlásaként a meleg és száraz levegő mélyebb szintre süllyed, és még melegebbé válik. A szelek ezért gyengék, de már főnirányban fújnak. Ám a mélyben még hideg van, így még nem beszélhetünk főnről. Ez a szakasz addig tart, amíg csak lassú felmelegedés tapasztalható a fön áttörése nélkül, amely a jelenség

előfutárának tekinthető. A magasban a hideg talaj-menti légréteg felett már fúj a fön. Mihelyt a hideg levegő legfelső rétegei egy bizonyos szint alá süllyednek - ezen a szinten egy erős felmelegedés következik be - kitör a fön. Ekkor már az anticiklonális szakaszcól beszélünk, amely folyamán a nyomásesés folyamatos. Ebben a szakaszban a déli oldalon nem találni kondenzációt. A fön azonos magasságban, az Alpok előterében és a belső alpesi völgyekben egyszerre tör ki (*Ficker, 1912*).

Ha a hideg levegő a mélyben mindenhol elfolyt, a kezdeti stádiumon túllépve az Alpok fő gerincétől északra már mindenhol a felszín közelében is érvényesül a fön hatása, a magasban még szép idő uralkodhat. Az Alpok déli oldalán még tiszta az ég, ez egy jel arra, hogy a déli oldalon még nem zajlik a légtömegek felemelkedése, hanem a főnáramlást az északi oldalon a magasból lesüllyedő levegő táplálja (*Ficker, 1912*).

A fön akkor éri el tetőpontját, az úgynevezett állandó főnszakaszt, ha a levegő az alpesi hegygerinc luv oldalán csapadéktevékenység mellett elkezdi felemelkedni, és a lee oldalon az adiabatikus melegedés következtében megint leszáll, miközben a hideg levegő a völgyekben teljesen vagy nagy részben elfolyik (*Damman, 1952*). Az Alpok fő gerince éles határként helyezkedik el, elválasztva egymástól az északon jellemző főnidőjárást, a délen tapasztalható rossz időjárástól. A főnvölgyekben általában e fejlődési szint kezdetét jelzi a főnfal képződése. A magasban a relatív nedvesség hirtelen növekedése mutatja az átmenetet az anticiklonálisból az állandó főnszakaszba (*Ficker, 1912*). A hőmérsékleti gradiens növekedése azt jelzi, hogy egy szabályos áramlás megy végbe a csúcs és a völgy között (*Ficker, 1909*). A fön végét a hideg levegő betörése okozza nyugatról vagy északnyugatról (*Damman, 1952*). Az, hogy meddig tartanak bizonyos stádiumok, illetve melyek valósulnak meg, esetenként különbözőek lehetnek. Van olyan fön, amely az anticiklonális szakaszban megakad, ekkor általában a luv oldalon nem követi rossz időjárás. A síkságon és az északi oldal völgyeiben, amelyek nem a főnvonalban fekszenek, a fejlődés többnyire egyáltalán nem halad túl a kezdeti szakaszon (*Ficker, 1912*).

Rossmann 4 szakaszt állapított meg, az első nagyjából az elő- és az anticiklonális szakasznak felel meg Ficker elméletében, a második a stacionárius főnszakasz, ami Ficker elméletében hasonlóan jelenik meg. A harmadik és a negyedik szakasz az északnyugatról érkező hideg levegő áramlási viszonyait írja le, ami az Alpok előterében szétrombolja a szolenoid mezőt, a főnt alulról fölfelé kioltja, és ami végül a főhegygerincen átlépve az Alpok déli oldalán északi főnként jelenik meg (*Damman, 1952*).

Karl Frey a fön fejlődését két szakaszra osztotta: anticiklonális vagy előszakaszra és ciklonális vagy főszakaszra.

Az anticiklonális szakasz

A troposzférában, gyakran egy korábbi hidegbetörést követően, a légtömegek anticiklonális lesüllyedésével kezdődik el. Az 500/1000 hPa relatív topográfia erősen pozitív változása és a felső nyomási felület magasságának növekedése a tropopauza lehülésével és ennek felfelé tolódásával párosul, amely egy magasnyomású gerinc képződéséhez vezet, ami elmozdul az alpesi terület felé.

Egy a középső troposzférából lesüllyedő inverzió egy fentről lefelé haladó felmelegedést hoz létre, és a relatív nedvesség egyidejű csökkenésével párosul.

Ezek a folyamatok gyengébben hatnak ki az Alpok déli oldalára, és ott korábban be is fejeződnek, míg a nyomásesés az alpesi hegycsúcsoktól északra, a mélyen fekvő síkságokon kezdődik.

Miközben a magasban a troposzférikus felmelegedés által képződött magasnyomású gerinc keleti oldalán még északias irányú szelek fújnak, a közepes magasságokban egy gyenge nyomáscsökkenés jelenik meg az alpesi hegycsúcsoktól északra. A fön sok esetben az Alpok északi előtere felett „közötte fönként” kezdődik, mivel az alpesi terület felett kialakul a légtömegek divergenciája. Északon a közepes magasságokban egy az Alpok felé irányuló izobárikus hőmérsékletcsökkenés figyelhető meg, ami már a fön előszakaszában 4-8 fokos mértékű lehet. A légtömegek az alpesi hegycsúcsok felett hidegebbek és sűrűbbek, mint az Alpok északi előtere felettiek (Frey, 1996).

A ciklonális szakasz

Az Alpok északi és déli oldala között fokozódó légnyomáskülönbség miatt a magasban megerősödik a déli szél, és a cirkuláció meridionálissá válik. A délről felemelkedő légtömegek által, amelyek nagyon stabil rétegzettségűek, az alpesi hegycsúcsok felett egy száraz illetve nedves adiabatikus lehülés kezdődik el, aminek hatására az Alpok északi előtere felett az izobárikus hőmérsékletkülönbség megnövekszik, és bizonyos esetekben a 10 fok feletti értéket is elérheti.

Az Alpoktól délre általában egy jól fejlett torlasztásos felhőzet alakul ki, csapadékos területtel és főnfallal az alpesi heggyerinc felett. Az Alpok északi oldalán leginkább egy erősen változó, nyugatra növekvő felhőzettel találkozni: Cirrus felhőkkel, melyek egy közeledő atlanti áramlás előfutárai, Altocumulus Lenticularis felhőkkel, és a tényleges főnterületen jellemző hengerszerű Stratocumulus felhőkkel, úgynevezett rotorokkal, melyek területén nagy turbulencia jellemző. A hullámszerű felhőképződmények süllyedő területein sok esetben kiterjedt felhőmentes terület, ún. főnablak található (Frey, 1996).

Főn esetén a hőmérséklet az alpesi heggyerincel szemben, a luv oldalon könnyen csökken, a lee oldalon pedig jelentős mértékben növekszik, a legnagyobb hőmérsékletemelkedés közvetlenül az alpesi heggyerinctől északra jelentkezik (Frey, 1996).

Közvetlen a heggyerinc felett tartózkodnak a leghidegebb és legsűrűbb légtömegek. A lee oldalon az Északi Alpok előtere felett egy baroklin jellegű szolenoid mező jön létre. Ebben és a rendkívül nagy nyomási gradiensben rejlik a főn hatalmas energiájának forrása. Felgyorsítja a főnáramlás lesüllyedését, és a felső részben bora-szerű előrenyomulását a völgyekig (Frey, 1996).

A főnáramlás az alpesi heggyerinc felett nagyon hideg, a leáramlás felső szakaszán bora-jellegű, és csak az alsó részben jelenik meg az adiabatikus hőmérsékletemelkedésnek köszönhetően átlagosnál magasabb hőmérséklet.

A völgyekbe előrenyomuló főnáramlás végül rácsúszik a megmaradt hideg levegőréteg tetejére. Ekkor a völgyben még többnyire gyenge a szél, a főnbtörés előtt gyakran fújnak északi szelek. A hideglevegő-ék ide-oda ingázása a főnvölgyekben többszöri főnszünetet okozhat, erős hőmérsékletingadozással.

Az Alpok déli oldalán található alacsonyabb légrétegek általában nem kerülnek bele az Alpokon keresztülhaladó áramlásokba. Még egy főnhelyzet tetőpontján is, amikor az északi völgyekben viharos erősségű a szél, a luv oldalon a felszín közeli áramlás gyenge marad. Gyakran szélcsend van, vagy 1500 méter tengerszint feletti magasságig egy luv örvény képződik, gyenge északi szeleket okozva az alsó rétegekben (Frey, 1996).

4. Főn és főnszerű szelek

A főnszél tanulmányozása kezdetben csak az alpesi térségre korlátozódott. Később azonban a főn kifejezés általánossá vált, és minden meleg, száraz, hegyről

leereszkedő szél általános neve lett, amelynek jellemzői összefüggésben vannak a topográfiával és a meteorológiai körülményekkel. Ezek a szelek általában helyi nevekkkel rendelkeznek (Norte, 2015).

1. táblázat Főn és főnszerű szelek (eumetrain.org; Norte, 2015; Brinkmann, 1971)

Főn és főnszerű szelek előfordulási helye	Helyi neve
Andok	puelche
Argentína	zonda
Ausztria, Karavankák	jauk
Ádeni- öböl	belat
Csehország, Orlicei hegyek	polak
Dél-Afrika	berg szél
Dinári-hegység	livas
Egyesült Királyság	helm
Feröer-szigetek	glaves
Franciaország, Massif Central hegység	aspr
Görögország, Szaloniki-öböl	vardarac
India	bhoot
Indonézia, Celebes	gending
Kanári-szigetek	levanto
Közép-Ázsia	afganet
Lengyelország, Tátra	wiatr halny
Mongólia	ebe
Nyugat-Kína	ibe
Nyugat-Románia	austru
Spanyolország, Sierra	matacabras
Srí Lanka	kachchan
Szerbia	košawa
Sziklás hegység keleti oldala, Kanada és USA	chinook
Szumátra	bohorok
Új-Zéland, Déli sziget	northwester
USA, Kalifornia	Santa Ana

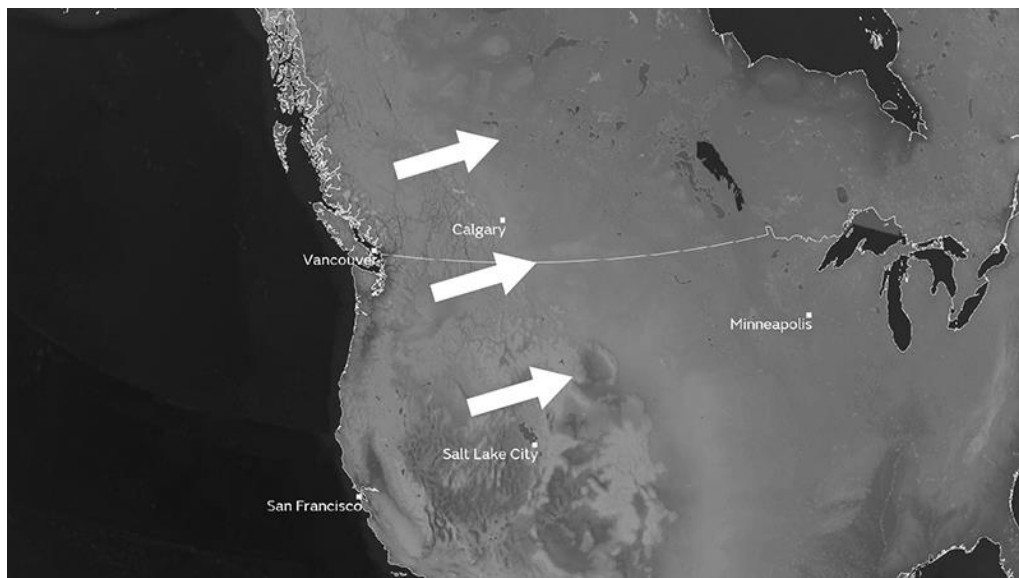
Következzen ezek közül néhány részletesen.

4.1 Chinook

A chinook Észak-Amerika Sziklás-hegységének keleti oldalán jelentkezik. A területe viszonylag keskeny, Új-Mexikó északkeleti részétől Kanadáig terjed, ahogyan a 21. ábrán látható. Akkor alakul ki, amikor a viszonylag meleg levegő a magasban adiabatikusan összenyomódik, ahogy leszáll a hegy szélárnyékos oldalának lejtőin. Mivel a levegő viszonylag meleg, ezért a chinook nem a gravitáció hatására áramlik lefelé. Az erős szelek felemelkedésre kényszerítik az alsó troposzféra stabil levegőrétegét a hegylanc széloldali lejtőin. Amikor a levegő eléri a szélárnyékos oldal lejtőit, akkor a levegő leszáll az eredeti magasságba, és a nagyobb léptékű cirkuláció pedig további leereszkedést okoz. A leszálló levegő összenyomódása és az adiabatikus hőmérsékleti gradiens általi felmelegedése a chinook melegedésének fő forrása. Két igazán domináns jellemzője van ennek a szélnek, az egyik a kezdeti hirtelen hőmérsékletváltozás, a másik a rendkívül nagy erejű szélerejűség. A hőmérséklet gyakran rövid időn belül több mint tíz fokkal megemelkedik. Némely chinook-ban néhány °C-tól egészen 20 °C-ot meghaladó lehet az emelkedés mértéke, a relatív nedvesség pedig általában 50% alá, esetenként 10% alá esik. Például 1966. január 6-án Pincher Creek-ben, Alberta-ban egy chinook 21 °C-os emelkedést okozott mindössze 4 perc alatt. Még drámaibb hőmérsékletingadozást jegyeztek fel Spearfish-ben, Dél-Dakotában 1943. január 22-én, amikor 2 perc alatt 27 °C -ot emelkedett a hőmérséklet. Boulder-ben, Colorado-ban a heves leszálló szelek néha 160 km/h vagy annál nagyobb szélökésekkel járnak együtt. Emiatt évente átlagosan 1 millió dollár értékű vagyoni kár keletkezik (Quaile, 2001).

Az amerikai indián nyelvben a chinook szó jelentése „hóevő”. A szél katasztrofális következményekkel jár a hótakarót tekintve, az összenyomódás miatt bekövetkező melegedés miatt drámaian csökken a relatív nedvesség. A chinook melegsége és szárazsága következtében a hótakaró olvad és gyorsan párolog. Nem szokatlan fél méter hó eltűnése ilyen módon alig néhány óra alatt (Quaile, 2001).

A chinook sokban hasonlít az alpesi főnhöz, de egy fontos különbség, hogy az alpesi főn rendszerint az orográfia hatásának következményeként prefrontális légkörben alakul ki, ami a chinook esetén nem túl gyakori.



21. ábra A chinook előfordulási területe [7- metoffice.gov.uk]

Price 1971-ben a chinook három alaptípusát különböztette meg, a medencét uraló magasnyomáshoz kapcsolódó, a klondike és a frontális chinookot (Oard, 1993).

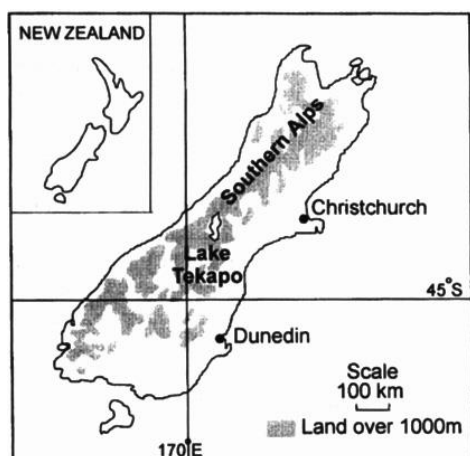
A medencét uraló magasnyomáshoz kapcsolódó chinook főként hideg évszakban fordul elő, amikor egy meleg magassági gerinc dominál az Egyesült Államok nyugati részén. A magas tengerszinti légnyomású területen, részben a hideg légpárnának köszönhetően a völgyekben összegyűlik a hideg levegő, elfoglalva a Nagy-medencét. Ez a szél alacsony relatív nedvességet és enyhe hőmérsékleteket okoz. Viszonylag magas téli maximum hőmérsékleteket eredményez, a normális 0°C helyett időnként a $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ -ot is elérheti (Oard, 1993).

A „Klondike” azután fordul elő, hogy a nyugati Egyesült Államokon keresztül egy poláris légtömeg nyomul délre. A következő magassági teknő előoldalán fújó délies szelek a Sziklás-hegység keleti oldalán megszüntetik az arktikus légtömeget, meleg advekciót okozva. Ezért a hegység ezen oldalán alacsonyabb légnyomás alakul ki, mint a nyugatin, ahol az arktikus légtömeget kevésbé befolyásolja a közeledő teknő. Nevét onnan kapta, hogy rendkívüli hideget hoz magával. A hőmérséklet -30°C -ról -5°C -ra emelkedhet, de a szél miatt kellemetlenül hidegnek érezni. A szél ilyen típusú chinook idején gyenge, ezért kevésbé kell komoly szélkároktól tartani (Oard, 1993).

A frontális chinook mind közül a leggyakoribb, egyike a legerősebb és legnagyobb kárt okozó szeleknek. A valaha mért legerősebb szelet Boulder-ben regisztrálták, ami 55 m/s körül alakult. Ebben a típusban a csendes-óceáni hidegfront végigsöpör Pacific Northwest-en és Montana-n, amíg magas tengerszinti légnyomás

érvényesül a Nagy-medencében, és alacsonyabb légnyomás jelentkezik Dél-Alberta-ban és Saskatchewan-ban. A szélleőkés csúcsértékét általában a felső-troposzférikus teknő és a felszíni frontálzóna előtt regisztrálják. A front átvonulása után a szél iránya általában kissé megfordul, erőssége néhány óráig megmarad, majd fokozatosan lecsillapodik. Néhány esetben rapid ciklogenezis megy végbe Montana északi részén, a szél fokozódik a front átvonulását követően, ami az emelkedő tengerszinti légnyomási gradiensnek köszönhető. A hegység lee oldalán gyakran figyelhetőek meg hullámfelhők a teknő átkelése előtt. Ezek gyakran vonalba rendeződnek, éles szegéllyel, párhuzamosan a Sziklás-hegység frontjával, ezt a jelenséget chinook ívnek hívják. A chinook ív a hegyi lee hullámok erős függőleges feláramlásában alakul ki (Oard, 1993).

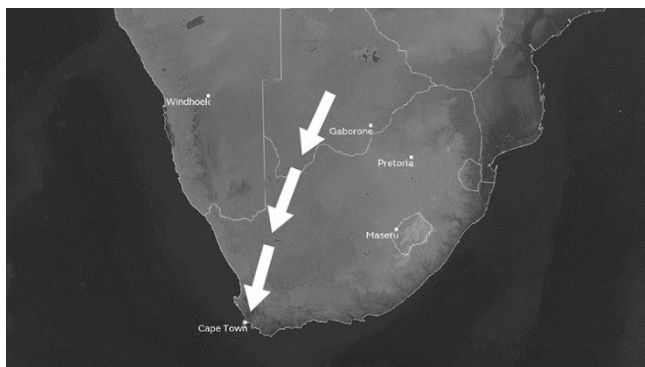
4.2 Nor'wester



22. ábra A nor'wester által érintett területek (Quaile, 2001)

Főn szél Új-Zéland déli szigete felett is megfigyelhető, ahol nor'westernek nevezik szokásos északnyugati irányára utalva. Ezt a szelet főként Lake Tekapo-ban tanulmányozták, amely Christchurch-től 180 km-re délnyugatra található a Déli Alpok középső részén, ezt ábrázolja a 22. ábra. (McGowan and Sturman, 1996). A Déli Alpok akadályt képez, amely felemelkedésre kényszeríti a nyugati-északnyugati légáramlást, és a hegy csúcsa felett felhőképződést, abból pedig orografikus esőt okoz. Ennek következtében a Déli-sziget nyugati lejtőinek évi csapadékmennyisége meghaladja a 10 métert. Ezzel szemben a vízválasztó lee oldalán alig éri el a 600 mm-t. Tipikus főnre jellemző tulajdonságokat figyeltek meg, mint például magas hőmérsékletet, alacsony relatív nedvességet és viharos szelet. A főn először a nagy alpesi folyóvölgyek elején alakul ki, majd gyorsan továbbterjed a néhány km-re lévő völgylejtőkre is (Quaile, 2001). A leghevesebb eseteket front átvonulásakor figyelték meg. A mélyen bevágott folyóvölgyekben, mint például Godley és Macaulay völgyek esetében a szélcsatorna-hatás fokozza az áramlás erősségét. Ennek köszönhetően ezekben a völgyekben extrém erős szélsőségeket regisztrálnak, amely időnként meghaladhatja az 50-60 m/s-ot (McGowan and Sturman, 1996).

4.3 Berg szél



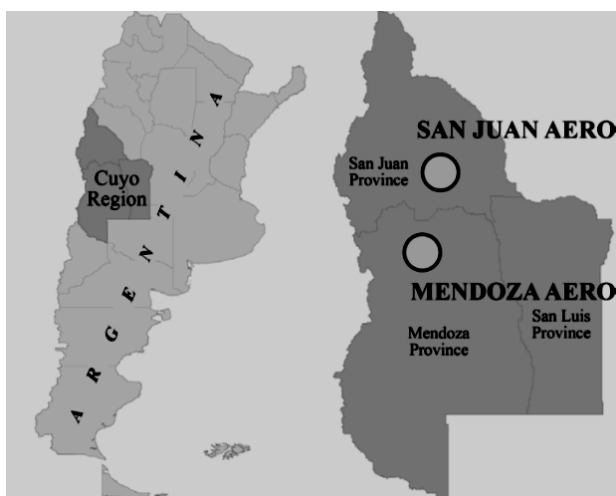
23. ábra A berg szél [7–metoffice.gov.uk]

Dél-Afrikát, a part menti északnyugati áramlás jelentős hőmérsékletemelkedést okoz, amely ha elég erős, létrehozza a berg szelet [8 – eumetrain.org]. A belső területek felett egy magas nyomású terület található, míg a part közelében egy ciklon örvénylik. A két nyomási rendszer közötti területet nagy nyomási gradiens jellemzi, amely a front áthaladásakor tovább erősödik, ez egyesül a berg széllel, amely a Nagy Hasadékvölgygel párhuzamosan fúj. Ez a szél az átlagot meghaladó hőmérsékleteket és csökkenő relatív nedvességet eredményez, amely több órán keresztül fennállhat. Ahogy megérkezik a hidegfront, több mint 10 °C-os csökkenés figyelhető meg, szinte teljesen eltűnteti a hőmérséklet napi menetét (Tyson, 1964).

A berg szél leginkább áprilistól szeptemberig fordul elő Dél-Afrika nyugati lejtőin évente körülbelül ötven alkalommal. Földrajzi elhelyezkedését a 23. ábra mutatja be. Általában egy hidegfront átvonulása-kor figyelhető meg (Tyson, 1964).

Amikor a hidegfront megközelíti

4.4 Zonda



24. ábra A zonda jellemző területei (Norte, 2015)

A zonda egy erős, meleg, száraz szél, amely adiabatikus összenomással párosul az Andok keleti lejtőin Közép-Argentína nyugati részén, főleg télen és tavasszal. Mint a fön esetében, a levegő száraz-adiabatikusan hűl, amíg el nem éri a telítettséget, majd nedves-adiabatikusan hűlve emelkedik, amíg a levegő eléri a hegy csúcsát, ott felhők alakulnak ki, csapadék hullik eső vagy hó formájában. Argentína középnyu-

gati része Cuyo, Mendoza, San Luis és San Juan tartományokból áll. A zonda leginkább

Nyugat Mendoza-t és San Luis tartományokat érinti, amelyek elhelyezkedését a 24. ábra mutatja. A Cuyo térség szélességén az Andok gátat képez a nyugati áramlásnak (*Norte*, 2015).

A hegység lee oldalán (Argentína területe) a levegő leereszkedik, és száraz-adiabatikusan melegszik, így a levegő száraz és meleg lesz. A hegygerinc felett, attól néhány kilométerre, keletre a felhalmozódott felhők alkotják a "zonda falat". Néhány alacsonyabb szinten a zonda időszakosan fúj ("lűktető zonda"), a síkság elérésekor pedig folyamatosan ("folyamatos zonda") (*Norte*, 2015).

Norte a feljegyzett maximális szélerősségek alapján a zonda eseményeket négy kategóriába sorolta:

- Mérsékelt (FNZ1), ha a maximális szélökés kisebb vagy egyenlő 35 kt (18 m/s).
- Erős (FNZ2), ha a maximális szélökés nagyobb, mint 35 kt (18 m/s) és kevesebb, mint 50 kt (25 m/s).
- Nagyon erős (FNZ3), ha a maximális szélökés 50 kt (25 m / s) vagy annál nagyobb, és kevesebb, mint 65 kt (33 m / s).
- Rendkívül erős vagy katasztrofális (FNZ4), ha a maximális szélökés nagyobb, mint 65 kt (33 m / s).

A zonda szélnek Argentínában a korábbi elméletek alapján két tipikus magyarázata van. Az egyik a „vízesés-elmélet”, a másik pedig a hidraulikus ugrás. Meghatároztak egy úgynevezett Froude számot, amely egyenesen arányos az áramlás kinetikus és potenciális energiájának arányával. A magas Fr ($Fr \geq 1$) azt jelenti, hogy az áramlásnak elegendő energiája van a hegyi akadályon való áthaladáshoz, míg az alacsony Fr jellemzi az "orografikus blokkolás" helyzetét. A dimmerfőn megjelenéséhez szükséges feltételeket nem találták meg Argentínában. Nincsenek zonda események, ha esik, vagy ha hull a hó (*Norte*, 2015).

Lichtenstein tanulmányozta az északnyugati argentin ciklont (NAL) és annak kapcsolatát néhány regionális meteorológiai jelenséggel Nyugat-Argentínában. Úgy találta, hogy a NAL kimélyülése és elmozdulása magasabb szélességi körök felé összefüggésben van a zonda széleseménnyel társuló adiabatikus leszállással. Norte különbséget tett az ún. magas zonda között, amely akkor következik be, amikor a szél a hegyek keleti lejtőin található állomásokat éri el, és a felszíni zonda között, amelyet az Andok keleti részén fekvő síkságokig is eljut, ez különösen Mendoza és San Juan városok

területén detektálható. Seluchi három különböző zonda kategóriát vázolt fel, amelyek három klasszikus epizódot képviselnek: a veszélyes felszíni zonda, a mérsékelt felszíni zonda és a magassági zonda (Norte, 2015).

A zonda szél hatással van az éghajlatra, évszaktól függően kisebb-nagyobb intenzitással. Augusztusban és szeptemberben, amikor leggyakrabban előfordul, erőssége és az általa okozott extrém szárazság árt a mezőgazdaságnak, és a hozzá kapcsolódó hőmérsékletemelkedés felgyorsítja a gyümölcsfák virágzását, amelyek egy későbbi hidegfront érkezésekor fagykárnak vannak kitéve. A magas hegyekben felgyorsítja a hó olvadását és párolgását, hozzájárul a lavinák kialakulásához, és befolyásolja a hidrológiai ciklus alakulását. A zonda a levegő minőségére is hatást gyakorol. Ha a zonda magasabb szinteken fúj, valamint Mendoza és San Juan városok fölött hideg légpárna található, akkor a termikus inverzió fenntartja a légköri homályt, a szmogot és alkalmanként akár a ködöt is. Amikor a zonda eléri a felszínt, ősszel és télen a por és a falevelek csökkenthetik a vízszintes látástávolságot. Tavasszal azonban sem porral, sem légköri homállyal nem jár, az ég intenzív kék színű (Norte, 2015).

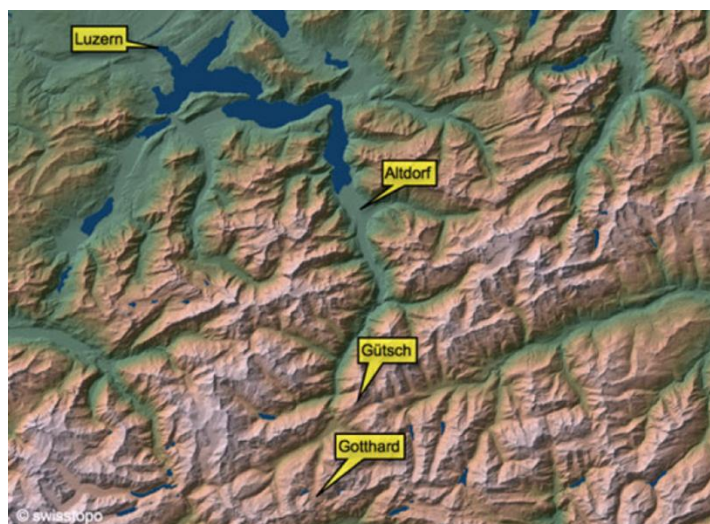
5. A főn klimatológiája

A főn jelenség tér- és időbeli változékonyságának köszönhetően nagyon eltérő mértékben befolyásolhatja az adott terület éghajlatát, ezért nehéz általánosan megfogalmazni a főn klímára gyakorolt hatását. A témával foglalkozó kutatók kiemelten sokat foglalkoztak a svájci Altdorf klimatológiájával, mivel ez az állomás rendelkezik a leghosszabb, 145 éves adatsorral.

5.1 Altdorf klimatológiája

Már a 19. században felkeltette a kutatók érdeklődését e település klímájának vizsgálata (Berndt, 1886), hisz Altdorfban a főnnek köszönhetően sokkal mérsékeltabb az éghajlat, mint ami a települést körülvevő hegyvidéki környezetből adódna.

Altdorf az egyik legfontosabb svájci főnvölgy egyikében, a Reuss völgyben fekszik (25. ábra) (Guttermann *et al.*, 2012).

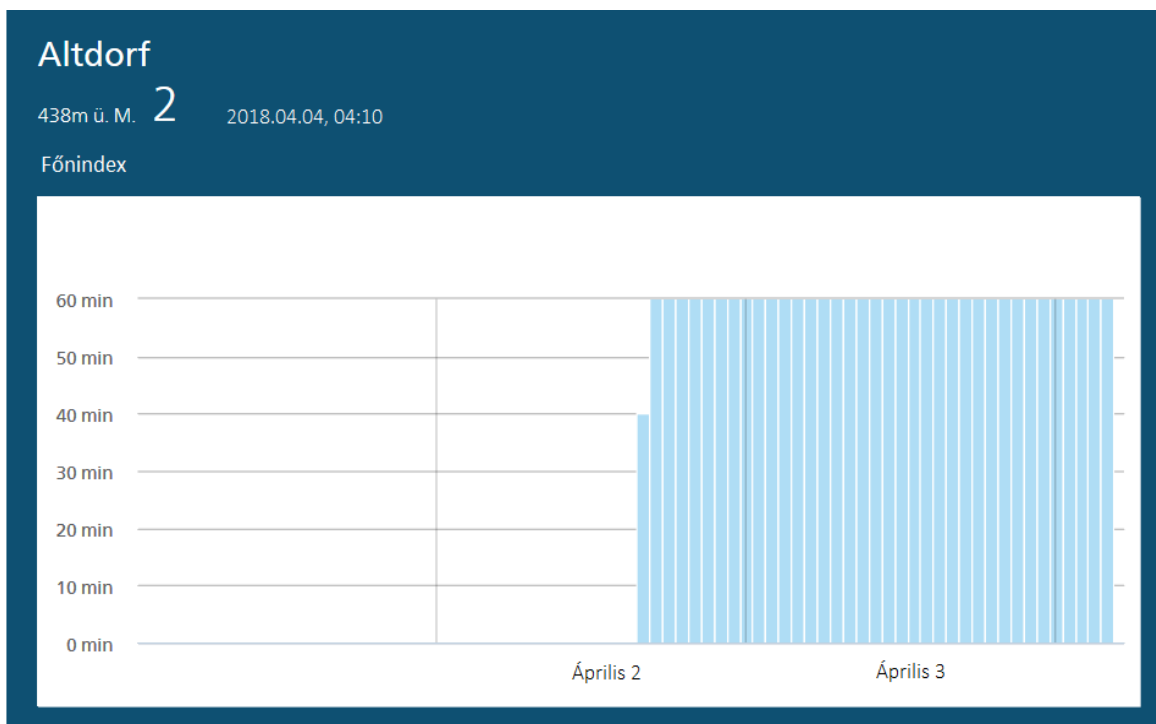


25. ábra Altdorf és néhány további főállomás földrajzi elhelyezkedése (Richner *et al.*, 2013)

Altdorf városa három alkalommal (1400, 1693, 1799) szinte teljesen leégett a fön orkán erejű szélsébségének köszönhetően, amelyek jelentőségét mutatja, hogy még a város címerében is utalnak rá, a három piros sáv ennek emlékét őrzi (Richner *et al.*, 2013; Guttermann *et al.*, 2012; Iten, 1990). Éppen ezért 1864-ben megfigyelő-hálózatot hoztak létre (Richner *et al.*, 2013). Kezdetben a fön megállapítására 3 fő elem értékeit vették figyelembe, ezek a hőmérséklet, a nedvesség és a szél voltak. Eredetileg egy nap három alkalommal, reggel, délben és este végeztek méréseket. Ma azonban már automatikusan, egy számítógépes rendszer segítségével 10 perces időintervallumokban detektálhatják a fönt. Ezt alkalmazva manapság egy úgynevezett fönindexet használnak, amelyet állomásonként a mérések alapján számolnak (26. ábra) [9 – meteoschweiz.admin.ch]. Értékei a következők (2. táblázat):

2. táblázat A fönindex értékei [9 – meteoschweiz.admin.ch]

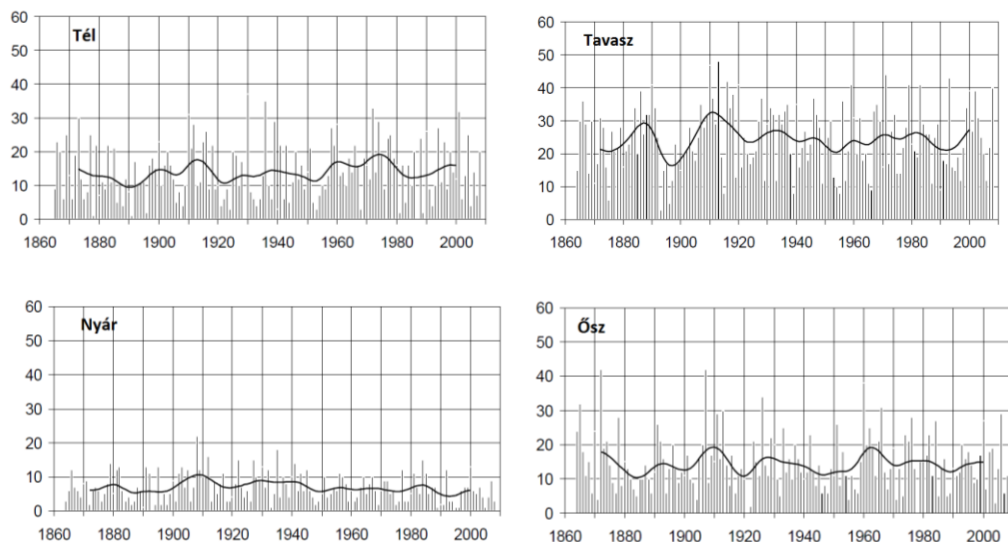
0	Nincs fön	Főnidőtartam: 0 perc
1	Főnnel vegyes levegő, a főnkritériumok részben teljesülnek	Főnidőtartam: 10 perc
2	Fön	Főnidőtartam: 10 perc



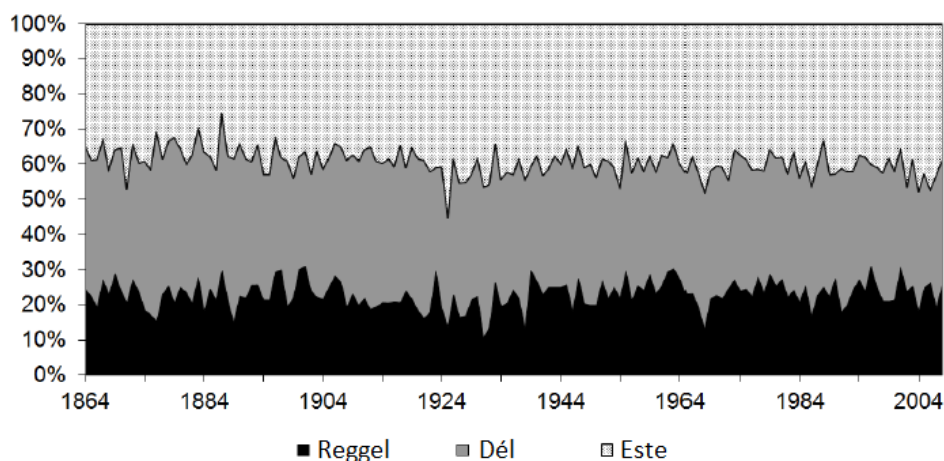
26. ábra Főindex Altdorf-ra vonatkozóan 2018.április 1-4. között [10 – meteoschweiz.admin.ch]

A 145 éves adatsorban szignifikáns trend nem figyelhető meg, de a főn tér- és időbeli változékonyságot mutat. Átlagosan évente 60 főnidőszak fordul elő. A mérési adatok alapján áprilisban és májusban a leggyakoribb, nyáron júniustól augusztusig a legritkább a főn előfordulása. Sokévi átlagban (1864 és 2008 között) tavasszal jellemzően 25, nyáron mindössze 7, télen és ősszel pedig egységesen 15-15 főnidőszakot állapítottak meg (27.ábra) (Guttermann *et al.*, 2012).

A főngyakiság éves menetében a hosszan tartó változékonyság mellett a 30 éves klímaperiódus időintervallumában egy feltűnő évtizedes változékonyság is megjelenik. Ennek alapja abban áll, hogy a főntevékenységekben többé-kevésbé rendszeresen megjelennek a megnövekedett vagy csökkent főngyakiság több éves fázisai. Napi menet kizárólag a két legaktívabb tavaszi hónapban figyelhető meg. A főnminimum délelőtt, a főnmaximum este jelentkezik, a déli és az esti időszakban a főn kétszer olyan gyakori, mint reggel (28. ábra) (Guttermann *et al.*, 2012).



27. ábra Évszakonkénti főgyakoróság Altdorfban 1864 és 2008 között (Guttermann et al., 2012)



28. ábra A főn gyakoróságának napszakonkénti eloszlása az egyes években 1864 és 2008 között (Gutermann et al., 2012)

Az Alpok tavasszal még leginkább hóval fedett. A hó magas albedója miatt a hegyvidéki területen a napsugárzás nagy része visszaverődik. Ezzel szemben a síkságot az intenzív napsugárzás erősen felmelegíti. A vékony növénytakaró miatt a napsugárzás jelentős része szenzibilis hővé alakul. A szenzibilis hőáram a légkör gyors felmelegedéséhez vezet az ország közepe felett. Így délutánonként az ország középső része (Mittelland) felett az Alpok területéhez viszonyítva egy regionális alacsonynyomású terület keletkezik. Így egy gyenge nyomási gradiens jelenik meg az ország középső részének irányában. Ha ehhez még a légkör labilis rétegződése is társul,

akkor a délutáni órákban megnövekszik a főn előrenyomulásának valószínűsége egészen a Mittelland területéig. Az esti és éjszakai órákban a főnáramlás a völgyekben hirtelen kialakuló hideg légpárnák miatt elemelkedik a talajról. Mivel a Mittellandot ilyenkor még csak vékony növénytakaró borítja, ez elősegíti az erős termikus kisugárzás által az éjszakai hideg légpárna kialakulását (*Guttermann et al.*, 2012).

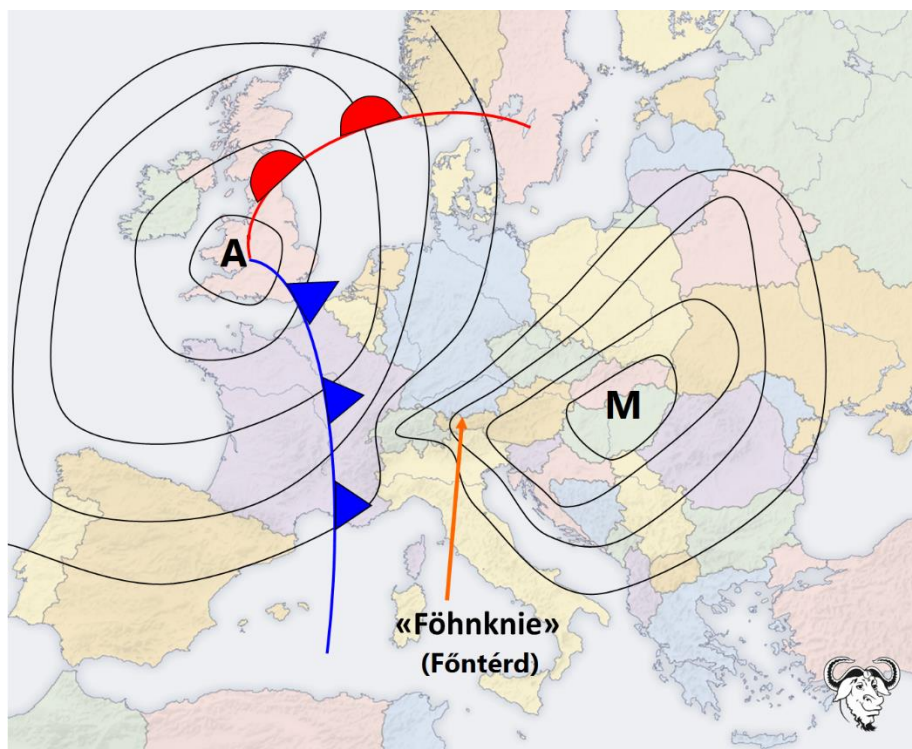
Az éves menetben, az utóbbi időkben, különösen az elmúlt 30 évben egy érdekes változás figyelhető meg. 1871-től egészen 1961-ig a főn előfordulásának maximuma a meteorológiai tavasznak megfelelően márciustól májusig jelentkezett. Ezt követően azonban 2004-ig ezek a gyakorisági csúcsok eltolódtak április-májusra (*Guttermann et al.*, 2012).

Az egyes főnbetörések között megállapíthatók főnszünetek is. A rövidebb mindössze 5 órás szünetek gyakoribbak, mint a hosszabb főnmentes időszakok. Ez összefüggésben lehet azzal, hogy a főn bizonyos szinoptikus, alacsony nyomású helyzetekben időnként összeomlik (*Guttermann et al.*, 2012).

A napi szélsőcsúcsok eloszlása tavasztól ősziig 20 m/s körüli gyakoriságot mutat. Télen a maximumok akár 25 m/s feletti értékeket is elérhetnek. Magas napi szélsőségek mindenekelőtt októbertől februárig adódnak. Decemberben és januárban jegyezték fel a legnagyobb gyakoriságot. Július és augusztus a két legkevésbé szeles hónap. Az abszolút éves szélsőcsúcsok 104 km/h és 157 km/h között mozognak. A legerősebb értéket (157 km/h) 1981. december 13-án mérték (*Guttermann et al.*, 2012).

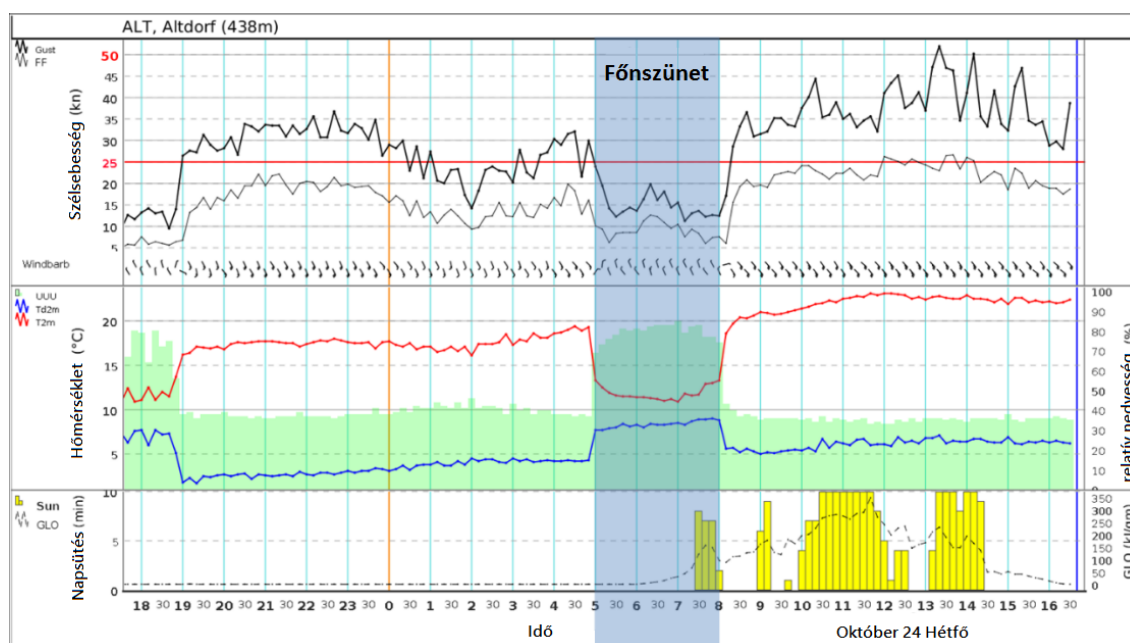
6. A főn jellemzői

A főnt időjárási térképekről is le lehet olvasni, ugyanis az izobárok lefutása az Alpok közelében jelentősen módosul. Egy magas légnyomású ék található a hegység luv oldalán, ezzel szemben a lee oldalon egy teknő figyelhető meg. Az izobár-mezőnek ezt az ék alakú kidudorodását, amely tipikus S alakot ölt, főntérdnek (Föhnknie) nevezik a német szakirodalomban, míg az angol nyelvben a főnorr (foehn nose) kifejezés a használatos (29. ábra) (*Richner and Hächler*, 2013).



29. ábra Föntérd ábrázolása [11 – idafe.com]

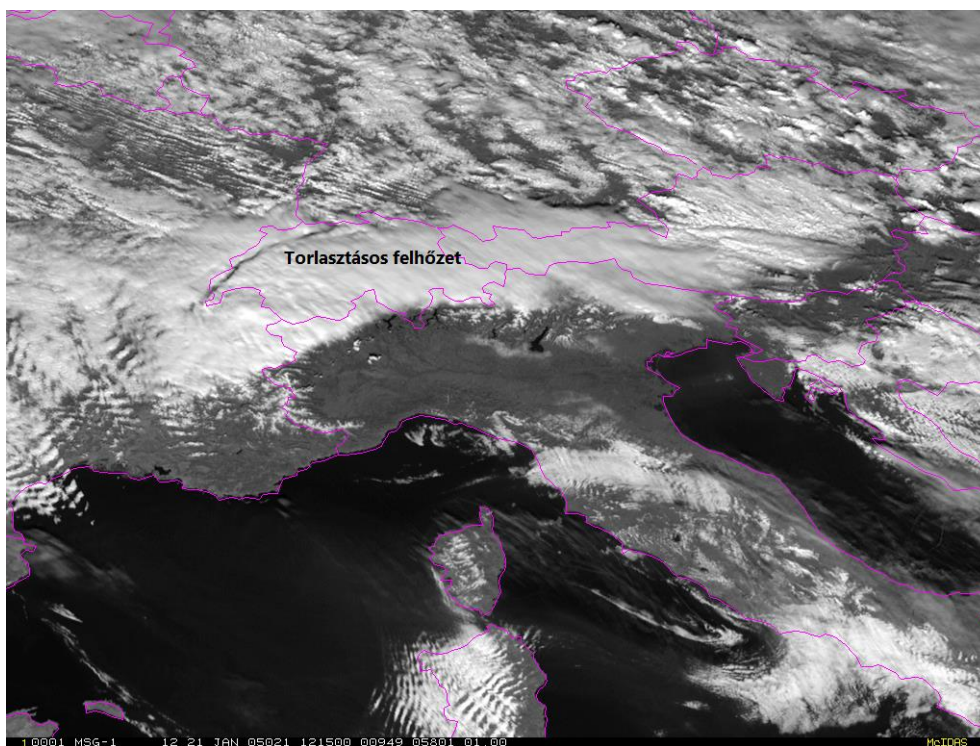
A fön szél nem folyamatosan, hanem változó intenzitással fúj, időnként meg is szűnik, ezt az időszakot hívják fön szünetnek (30. ábra). A fön szünet különösen a kora reggeli órákban, napfelkelte előtt gyakori, amikor a völgyekben a hideg légtömegek nyugalomba kerülnek, és megakadályozzák, hogy a fön eljusson a völgy aljáig (Richner and Hächler, 2013).



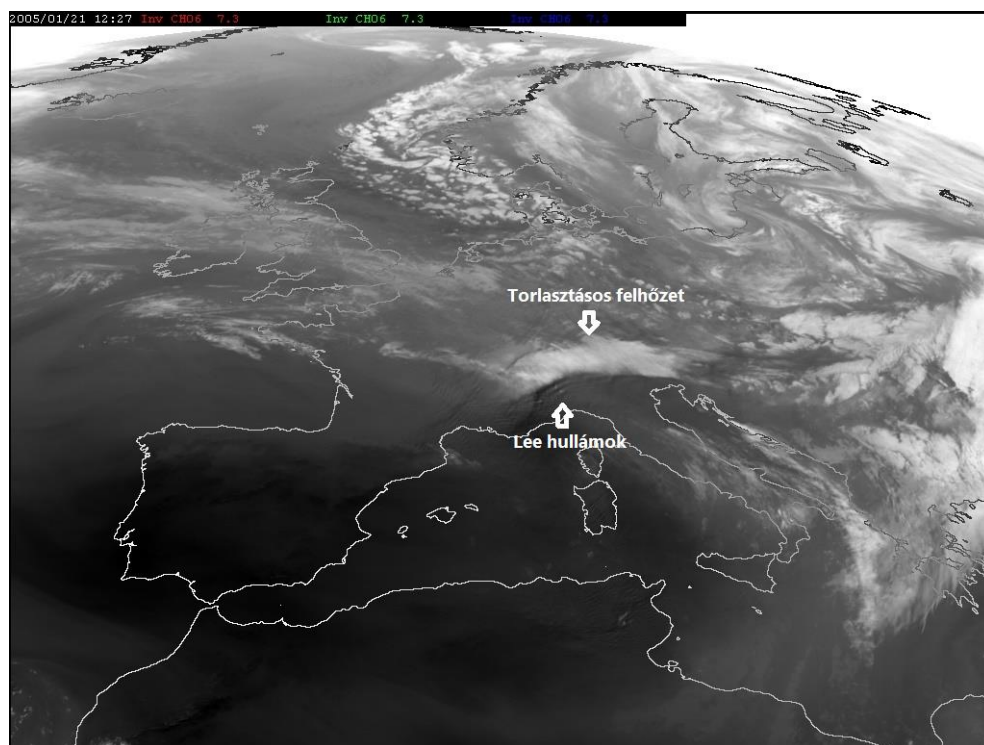
30. ábra A fön szünet ábrázolása meteorológiai paraméterek segítségével [12 – meteoschweiz.admin.ch]

Néhány főn tisztán felismerhető a műholdas megfigyelések segítségével, a felhőzetben lévő széles felhőmentes résekből, amelyek a hegység lee oldalán jelennek meg (Quaile, 2001).

Északi főn esetén a vízgőztartományban (WV)(32. ábra) és a nagyfelbontású látható tartományban készült (HRV)(31. ábra) műholdképen is jól látszik a torlasztásos felhőzet, amelyet az Alpok északi oldalán elhelyezkedő fehér terület jelöl. A WV képen jól kivehető egy alapvetően felhőmentes terület Észak-Olaszország felett, amelyben megjelenik némi felhőzet, amit a lee hullámok alakítanak ki [13 – eumetsat.int]. A torlasztásos felhőzet ekkor gyakran frontátvonulást követően alakul ki, amikor annak visszamaradó felhőzete megerősödik a hegység luv oldalán [14 – eumetrain.org].

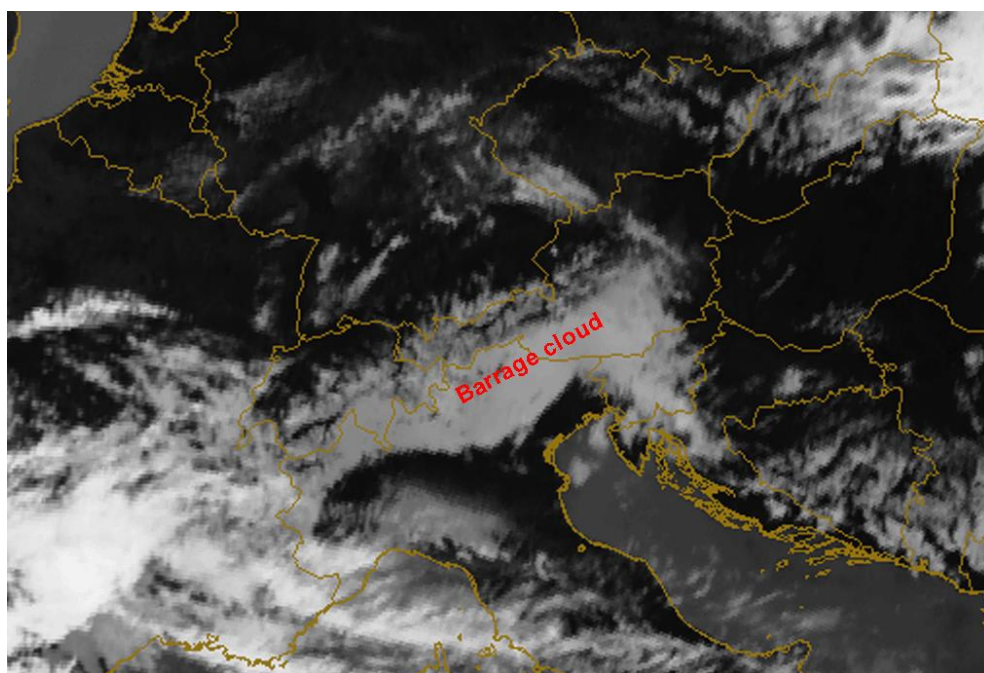


31. ábra Az északi főn megjelenése METEOSAT HRV tartományú műholdképen 2005. január 21-én 12:15 UTC-kor [13 – eumetsat.int]



32. ábra Az északi főn megjelenése METEOSAT vízgőztartományú műholdképen 2005. január 21-én 12:15 UTC - kor [13 – eumetsat.int]

Déli főn esetén a torlasztásos felhőzet kialakulása a déli lejtőkön zajlik le (33. ábra). A Déli Alpok felett heves és tartós csapadékot okoz, köszönhetően a mediterrán térségből érkező nagy nedvességtartalmú áramlásnak [14 – eumetrain.org].



33. ábra Déli főn torlasztásos felhőzete (barrage cloud) [14 – eumetrain.org]

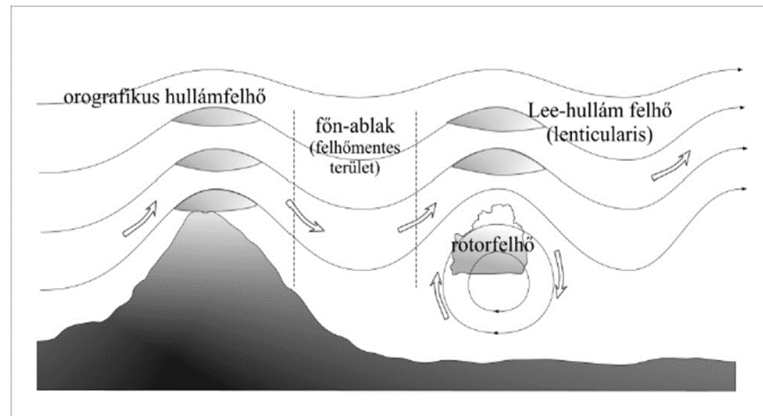
A fön gyakran hullámokat kelt, ahogy a 35. ábrán is látható. Két fő típus van, amelyeket meg kell különböztetni:

1. Lee-hullámok vagy hétköznapi elnevezéssel hegyi hullámok. Ezek olyan álló hullámok, amelyek hullámhosszának nagyságrendje a hegység átlagos szélességének felel meg. Az adiabatikus tágulás miatt lencse alakú felhők (34. ábra) jelenhetnek meg a hullámcúcson (cumulus lenticularis vagy altocumulus lenticularis) (*Richner and Hächler, 2013*). Ezeket jellegzetes formájuk miatt „főnhalaknak” is nevezik [4 – meteoschweiz.admin.ch]. Gyakran a több kilométer hosszan kinyújtott, hegységgel párhuzamosan futó felhőket a Hirschbergi-völgy felett Moazagotl-nek nevezték (*Rosol, 2009*).

2. A főn áramlás és a hideg légtömeg közötti határfelületen, a nyírás gravitációs hullámokat okoz a hideg medence tetején. A hullámok nagyon ritkán láthatóak, csak akkor, ha erős páráság vagy köd van a hideg légtömegben, viszont látható közvetett módon, például sodar-ral, RASS-sal (Radio-Acoustic Sounding System – Rádió-akusztikus szondázó rendszer) vagy lidar-ral (Light Detection and Ranging – Lézerradar) (*Richner and Hächler, 2013*).

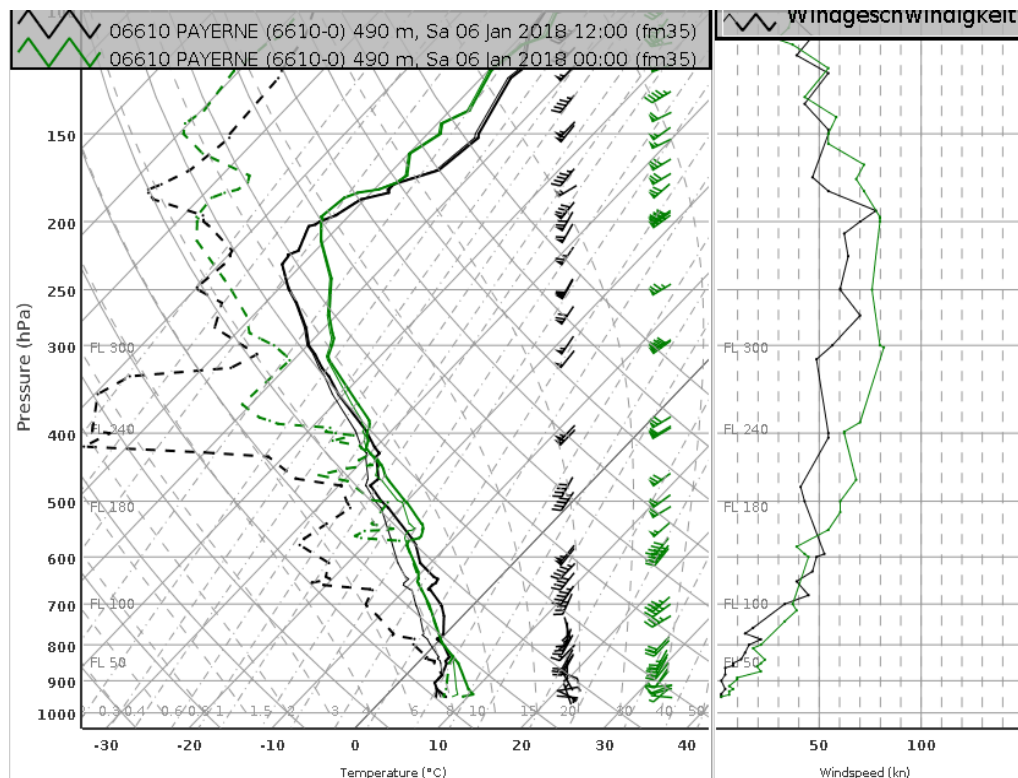


34. ábra Tipikus „főnhalakat” formázó *Altostratus lenticularis* felhők [15 – fotometeo.ch]

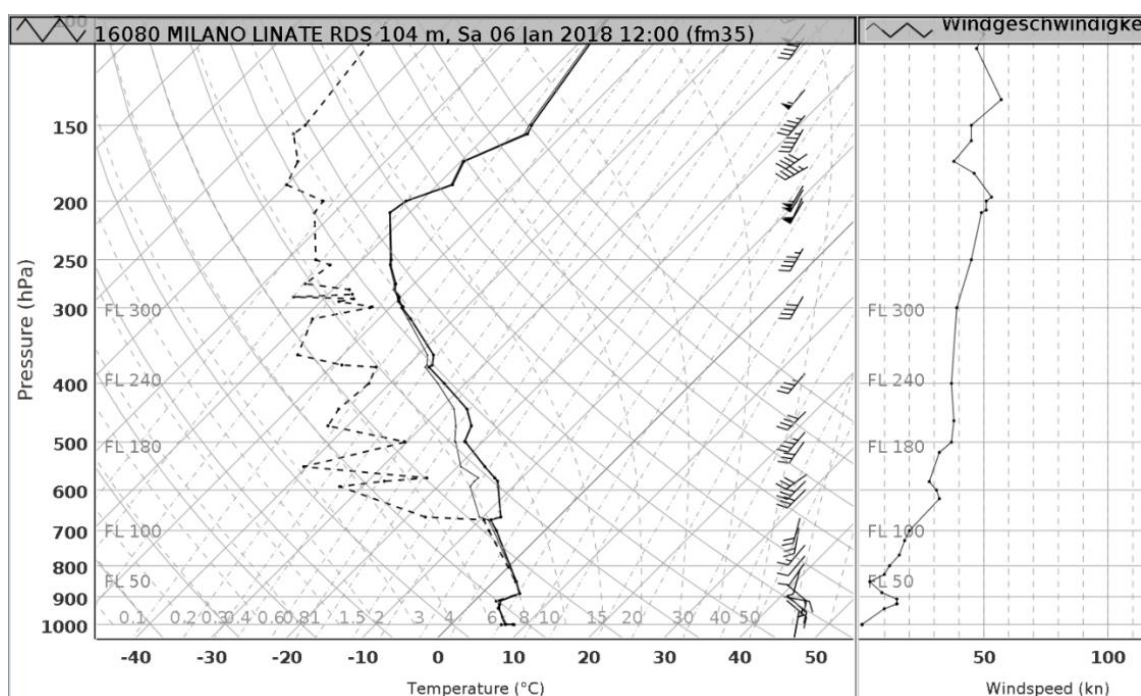


35. ábra Főn keltette hullámok (Bartholy et al., 2013)

A főn rádiószondás felszállások segítségével is felismerhető. A lee oldalon fekvő Payerne feletti felszálláson (36. ábra) a vastag vonal a hőmérsékletet, a szaggatott vonal a harmatpontot jelöli. Jól látható rajta a kiszáradás és megfigyelhető a szélfordulás is északnyugatiról délnyugatira. Míg a luv oldalon lévő Milánó felett készült mérésen (37. ábra) jól látható egy nedves réteg, ami a talajtól egészen a 3300 méteres magasságig tart [16 – meteoschweiz.admin.ch].

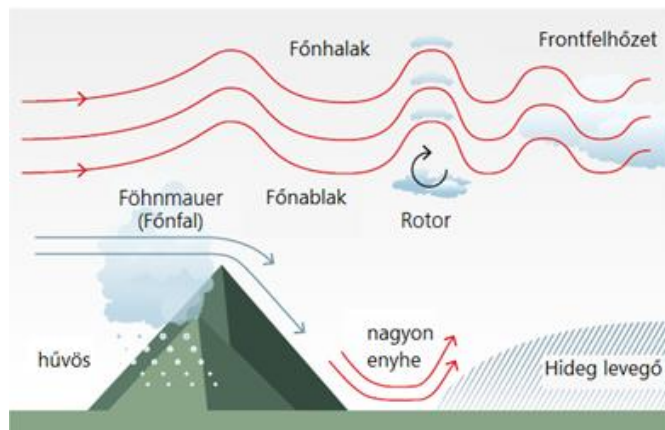


36. ábra Payerne feletti rádiószondás felszállás 2018. január 6-án 0 UTC-kor (zöld) és 6 UTC-kor (fekete) [16 – meteoschweiz.admin.ch]

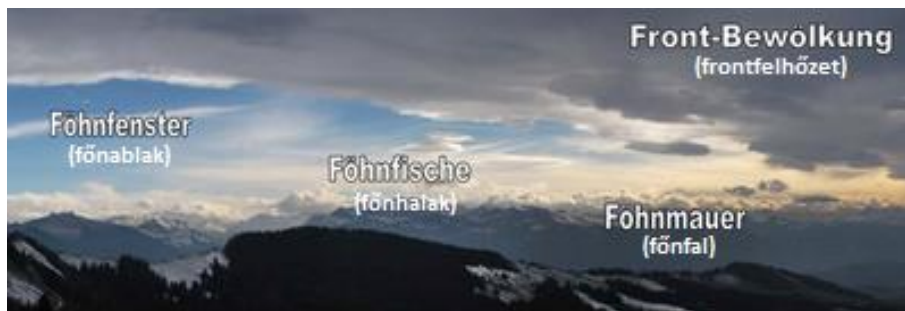


37. ábra Milánó feletti rádiószondás felszállás 2018. január 6-án 12 UTC-kor
[16 – meteoschweiz.admin.ch]

A főnnek számos jellegzetes kísérőjelensége van, ezeket szemlélteti a 38. és 39. ábra. Fontos ismertetőjegyei közé tartozik az alpesi hegység felett megjelenő érdekes, mozdulatlan henger alakú felhőforma, a főnfal, amely a főn közeledését jelzi. A felszálló levegő kondenzációjának következményeként jön létre a hegység lúv oldalán (Prohaska, 1947). Hasonló jelenség az úgynevezett „asztalterítő”, amely Dél-Afrikában az Asztal-hegy felett figyelhető meg (Quaile, 2001). Időnként déli főn esetén a felhők északi irányban valamivel túlnyúlnak az alpesi hegységen, ezért az Alpok északi oldalán csapadék is eshet. A légtömegek lesüllyedésével az északi oldal völgyeiben feloszlanak a felhők. Ezt a területet, amely nagyon hideg levegővel rendelkezik, és felette intenzív kék ég figyelhető meg, főnablaknak hívják [4 – meteoschweiz.admin.ch]. Az alsó légrétegekben az alpesi hegységgel párhuzamosan horizontális forgástengelyű örvények, rotorok keletkeznek a hegység lee oldalán (Dörnbrack und Kuettner, 2006). Ezekben a fel- és leáramlási sebességek a 90 km/h-t is elérik [5 – meteoschweiz.admin.ch].



38. ábra Főnhöz kapcsolódó jelenségek [5 – meteoschweiz.admin.ch]



39. ábra Főnjelenségek [17 – planet.ch]

Összefoglalás

Szakdolgozatomban igyekeztem egy átfogó ismertetést adni a főnről. A főn jelensége már ősidők óta foglalkoztatta az embereket, azonban rendkívüli erejét akkor még valami fajta hatalmas szellemnek tulajdonították. Az 1850-es évektől kezdtek el tudományosan foglalkozni vele. Több elmélet is született az idők során. Hann termodinamikai elmélettel magyarázta a főn melegségét, Heinrich Wild volt, aki felismerte az északi főn létezését. Robert Billwiller szerint egy alacsony nyomású központ beszívó hatásának köszönhető a légtömegek leereszkedése a hegység lee oldalán, és nevéhez fűződik az anticiklonális főn bevezetése is. Heinz von Ficker volt, aki először szakaszokra osztotta a főn fejlődési folyamatát, számszerűleg háromra. Küttner 1939-ben rámutatott a lee hullámok létezésére. Rudolf Streiff-Becker megalkotta a főn injekciós elméletét, amelynek lényege, hogy a hideg levegőréteg felett lévő magassági áramlás a turbulens erózió következtében fokozatosan távolodik, aminek hatására a magasban lévő levegő elindul lefelé. Karl Frey a lee oldalon képződő szolenoid mezőhöz kötötte a főn leszálló mozgását, létrehozva ezzel szolenoid elméletét. Fritz Rossmann és Walter Schüepp nevéhez fűződik az úgynevezett vízesés teória, amelyben a főnfalnak tulajdonították a leáramlást. Schweitzer a hidrodinamika irányából közelítette meg a főnt. Scorer és Klieforth a gravitációs hullámok hatásait vizsgálta a főnre vonatkozóan. Ezeknek az elméleteknek egy részéről idővel azonban kiderült, hogy csak bizonyos feltételek mellett használhatóak, vagy hogy a gyakorlatban egyáltalán nem is állják meg a helyüket. Végül a tudósok arra jutottak, hogy nincs egyetlen egy elmélet, amely minden főnesetre magyarázatul szolgálna, csak a különböző elméletek kombinációja képes erre. A 20. század ötvenes éveitől nem született új elmélet, azonban két kutatási programnak is része volt a főn tanulmányozása, ezek voltak az ALPEX és a MAP.

A főn különböző szempontok szerint osztályozható. Streiff-Becker 3 típusát különböztette meg a magassági és a völgyi főnt, valamint a dimmerfőnt. A leszállás okát tekintve ciklonális és anticiklonális, leereszkedésének helyét figyelembe véve északi és déli főnre lehet csoportosítani.

A főn fejlődése 2, 3, sőt akár négy részre is osztható. Karl Frey egy anticiklonális, más néven előszakaszra és ciklonális, vagyis főszakaszra osztotta; Ficker egy elő-, egy anticiklonális szakaszt illetve egy állandó főszakaszt különböztetett meg, Rossmann pedig egy Ficker elő- és anticiklonális szakaszának megfelelő szakaszt, egy stacionárius

szakaszt, valamint két olyan periódust állapított meg, amely az északnyugatról érkező hideg levegő viszonyait tükrözi.

Bár a főnt sokáig az alpesi térség sajátos jelenségének tekintették, korántsem csak erre a térségre korlátozódik. A főn elnevezés ma már általános jelentéssel bír, minden hegyről leereszkedő, meleg, száraz szélre alkalmazzák. A világ szinte minden táján, ahol magashegység található, megfigyelhető ez a szél. Ezek közül én négyet emeltem ki és mutattam be részletesen, amelyek a következők: a chinook, a nor'wester, a berg szél és a zonda. Összehasonlítva őket megfigyelhető egy lényeges különbség a „főn” által érintett lejtők földrajzi elhelyezkedését tekintve. A főn az Alpok északi és déli oldalát érinti, attól függően, hogy északi vagy déli főnről van szó. A chinook esetében a Sziklás-hegység nyugati lejtőin, a nor'wester-nél a Déli-Alpok (Új-Zéland) szintén nyugati területein, valamint a berg szél is Dél-Afrika nyugati lejtőin fordul elő. A zonda pedig az előbb említett „főn” szelektől eltérően az Andok keleti oldalán fejti ki hatását. Természetesen sok közös tulajdonsággal rendelkeznek, ilyen például a csökkenő relatív nedvesség, a hőmérsékletemelkedés és a viharos szellőkések a lee oldalon.

A főn nem kis mértékben befolyásolja az általa érintett terület éghajlatát. Az egyik legrészletesebben vizsgált és leghosszabb adatsorral rendelkező állomás, a svájci Altdorf klimatológiáján keresztül igyekeztem ezt bemutatni.

A főn felismerését segítik a műholdképek, a rádiószondás felszállások, a fronttérképek (a főntérd vagy főnorr kirajzolódása a nyomási mezőben), illetve a hozzákapcsolódó kísérő jelenségek, mint például a főnfal vagy a lenticularis felhők.

A főnt a mai napig kutatják, és igyekeznek minél inkább pontosítani előrejelezhetőségét, ezzel segítve az érintett terület lakosságának egyre pontosabb tájékoztatását.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Soósné dr. Dezső Zsuzsannának, hogy ötletet adott a szakdolgozatom témájához. Időt és energiát áldozva rám, tanácsaival, észrevételeivel, szakmai tudásával segített szakdolgozatom megírásában és tökéletesítésében.

Továbbá köszönöm a családomnak, hogy biztattak és támogattak az alapképzés és a szakdolgozat megírása alatt.

Irodalomjegyzék

- Bartholy J, Mészáros, R., Geresdi, I., Matyasovszky, I., Pongrácz, R., Weidinger, T., 2013: Földrajzi viszonyok szerepe a helyi légköri áramlások kialakulásában In: Meteorológiai alapismeretek. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 104-109.
- Berndt, G., 1886: Der Alpenföhn in seinem Einfluß auf Natur- und Menschenleben. Perthes, J., Gotha, 66 p.
- Billwiller, R., 1899: Über verschiedene Entstehungsarten und Erscheinungsformen des Föhns. Meteorologische Zeitschrift, 34, 204.
- Brinkmann, W. A. R., 1971: What is Foehn? Weather, 26, 230–239.
- Dammann, W., 1952: Der Föhn als Randproblem der Atmosphärischen Dynamik. Geofisica pura e applicata, 23, 162-173.
- Dörnbrack, A., Heise, R., Kuettner, J. P., 2006: Wellen und Rotoren. Promet, 32, 18-24.
- Ficker, H. V., 1909: Weitere Beiträge zur Dynamik des Föhns. In: Innsbrucker Föhnstudien IV. Wiener DS, Wien, 85, 113-150
- Ficker, H., 1912: Die Erforschung der Föhnerscheinungen in den Alpen. Eine meteorologische Studie. Z. Deutsch. Österr. Alpen-Vereins, 43, 57–77.
- Frey, K., 1992: Entwicklung und Eigenschaften des Südföhns. Geogr. Helvetica, 2, 57–63.
- Frey, K., 1996: Der Föhn. Seine Eigenschaften und Erscheinungsformen. Mitt. Naturforsch. Ges. Solothurn, 37, 185–199.
- Frey, K., 2007: Geheimnisvoller Föhn, Beschreibungen - Wissenschaftliches - Merkwürdiges. Mitt. Naturforsch. Ges. Kt. Solothurn, 40, 65-88.
- Gombos, B., 2011: Hidrológia – hidraulika. Szent István Egyetem, Budapest, 188p.
- Gubser, S., 2006: Wechselwirkung zwischen Föhn und planetarer Grenzschicht, ETH Diss. Nr. 16286, 133 p.
- Gutermann, T., B. Dürr, H. Richner, S. Bader, 2012: Föhnklimatologie Altdorf: die lange Reihe (1864–2008) und ihre Weiterführung, Vergleich mit anderen Stationen. e-collection ETH Zürich, 53 p.
- Hann, J., 1866: Zur Frage des Ursprung des Föhn. Z. Oester. Ges. Meteorol., 1, 257–263.
- Hann, J., 1906: Lehrbuch der Meteorologie. Tauchnitz Verlag, Leipzig, 472-482.
- Iten, K., 1990: Adieu Altes Uri. Gamma, Altdorf, 43.
- Klein, H.J., 1905: Der Wind. In: Allgemeine Witterungskunde. Salzwasser-Verlag, Paderborn. 57-58.
- Küttner, J., 1939: Moazagotl und Föhnwelle. Beitr. Phys. Atmos, 25, 79-114.
- Lehmann, O., 1937: Zur Geschichte der Föhntheorie. Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich, 82, 45–76.

- Lothon, M., Druilhet, A., Bénéch, B., Campistron, B., Bernard, S., & Saïd, F., 2003: Experimental study of five föhn events during the Mesoscale Alpine Programme: From synoptic scale to turbulence. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 129, 2171-2193.
- McGowan, H. A., & Sturman, A. P., 1996: Regional and local scale characteristics of foehn wind events over the South Island of New Zealand. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 58, 151-164.
- Mörikofer, W., 1950: Zur Meteorologie und Meteorobiologie des Alpenföhns. *Verhandlgn d. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, 130, Versammlung Davos, 11-32.
- Norte, F. A., 2015: Understanding and forecasting Zonda wind (Andean foehn) in Argentina: a review. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5, 163-193.
- Oard, M. J., 1993: A method for predicting chinook winds east of the Montana Rockies. *Weather and forecasting*, 8, 166-180.
- Prohaska, F., 1947: Neuere Anschauungen über die Meteorologie und Klimatologie des Föhns. *Experientia*, 3, 232-237.
- Quaile, E. L., 2001: Back to basics: Föhn and Chinook winds. *Weather*, 56, 141-145.
- Richner, H., B. Dürr, 2015: Facts and fallacies related to dimmerfoehn. e-collection ETH Zurich, doi: 10.3929/ethz-a-010439615.
- Richner, H., Dürr, B., Gutermann, T., Bader, S., 2014: The use of automatic station data for continuing the long time series (1864 to 2008) of foehn in Altdorf. *Meteorologische Zeitschrift*, 23, 159-166.
- Richner, H., P. Hächler, 2013: Understanding and Forecasting Alpine Foehn. In *Mountain Weather Research and Forecasting*. Springer, Dordrecht. 219-260.
- Róna, Zs., 1923: A fön fogalmának történeti fejlődése. *Természettudományi Közlöny*, 55, 1-4 pótfüzet, 43-51.
- Rosol, C., 2009: Rotoren und Leewellen. *Figuren der (In-) Stabilität um 1937*. *ilinx*, 1, 71-97.
- Sprenger, M., B. Dürr, H. Richner, 2016: Foehn studies in Switzerland. In: *From weather observations to atmospheric and climate sciences in Switzerland: Celebrating 100 years of the Swiss Society for Meteorology*, Zürich. 215-248
- Steinacker, R., 2006: Alpiner Föhn - eine neue Strophe zu einem alten Lied. *Promet*, 32 (1/2), 3-10.
- Streiff-Becker, R., 1925: Über den Glarner Föhn. *Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 70, 85-103.
- Streiff-Becker, R., 1942: Neue Untersuchungen über den Föhn in den Schweizer Alpen. *Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, 74, 291-294.
- Streiff-Becker, R., 1947: Der Dimmerföhn. *Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 92, 195-198.
- Tyson, P. D., 1964: Berg winds of South Africa. *Weather*, 19, 7-11.
- Volkert, H., 2006: Fortschritt durch Feldkampagnen—von ALPEX über PYREX zu MAP. *promet*, 32, 54-60.

Internetes hivatkozások

[1 – br.de]

<https://www.br.de/themen/wissen/meteorologie-wetter-foehn-106.html>

[2 – cloudatlas.wmo.int]

<https://cloudatlas.wmo.int/glossary.html>

[3 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/blogs/2016/10/verkorkste-foehnlage.html?query=f%C3%B6hn+2016+okt+14>

[4 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/blogs/2018/4/foehnsturm--eine-druckwelle-und-gewitter-im-westen.html>

[5 – meteoschweiz.admin.ch]

http://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/Web_Wetterlagen_DE_low.pdf

[6 – meteocentrale.ch]

<http://www.meteocentrale.ch/de/wetter/foehn-und-bise/foehn.html>

[7 – metoffice.gov.uk]

<https://www.metoffice.gov.uk/learning/wind/wind-names>

[8 – eumetrain.org]

<http://www.eumetrain.org/satmanu/CMs/SACF/navmenu.php?page=3.0.0>

[9 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/messwerte/messwerte-anstationen/foehnindex.html?query=f%C3%B6hn+>

[10 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/messwerte/messwerte-anstationen.html?param=foehn>

[11 – idafe.com]

http://www.idafe.com/German/31a_Foehn_de.html

[12 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/blogs/2016/10/nebel--foehn-und-suedstau.html?query=f%C3%B6hnpause+24.+Oktober++&topic=0>

[13 – eumetsat.int]

https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_IL_05_01_21_A.html

[14 – eumetrain.org]

<http://eumetrain.org/satmanu/CMS/Stau/navmenu.php?page=1.0.0>

[15 – fotometeo.ch]

<http://www.fotometeo.ch/wp-content/uploads/2014/09/03055c.jpg>

[16 – meteoschweiz.admin.ch]

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/blogs/2018/1/mit-foehn-bis-17-grad.html?query=f%C3%B6hn+6.+Jan+2018+&topic=/content/meteoswiss/tags/topics/wetter>

[17 – planat.ch]

<http://www.planat.ch/de/wissen/sturm/foehn/>