

DEBRECENI EGYETEM

*Baros Zoltán–Bíróné Kircsi Andrea–
dr. Szegedi Sándor–Tóth Tamás*

METEOROLÓGIAI MŰSZEREK



DEBRECEN, 2006

DEBRECENI EGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI KAR
METEOROLÓGIAI TANSZÉK

**Baros Zoltán – Bíróné Dr. Kircsi Andrea -
Dr. Szegedi Sándor – Tóth Tamás**

Meteorológiai műszerek

Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press
2009

Lektorálta:

Dr. habil. Tar Károly
egyetemi docens

Szerzők:

Baros Zoltán: 5., 7., 15. fejezetek
Bíróné Dr. Kircsi Andrea: 6. fejezet
Dr. Szegedi Sándor: 1., 4., 8., 9., 10., 11., 13., 14., 16. fejezetek
Tóth Tamás: 2., 3., 4. fejezetek

Szerkesztette:

Dr. Szegedi Sándor
Tóth Tamás

ISBN 978-963-473-237-2

©Szerzők

© Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press, 2009, beleértve az
egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát

Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press

Felelős kiadó: Dr. Virágos Márta

Felelős szerkesztő: Bálint Ágnes

Készült: a DE sokszorosítóüzemében 2009-ben

Terjedelem: 19,3 A/5 ív

09-455

Bevezetés	5
1. A meteorológiai megfigyelések története	7
1.1 A meteorológiai megfigyelések kezdetei.....	7
1.2. A meteorológiai műszerek, mérési módszerek, állomáshálózatok fejlődése a 16–19. században.....	9
1.3. A légkörről alkotott ismeretek bővülése.....	14
1.4. A szinoptikus meteorológia és a numerikus prognosztika kialakulása	18
2. A meteorológiai megfigyelések nemzetközi és hazai szervezeti keretei	23
2.1. Nemzetközi meteorológiai szervezetek	23
2.2. Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ)	28
2.3. A meteorológiai megfigyelő-hálózat állomásai	31
3. A napsugárzás mérése.....	37
3.1. A napsugárzás fizikai jellemzői.....	37
3.2. A sugárzásmérések jelentősége, fontossága	40
3.3. A napsugárzás mérésének műszerei	40
4. A hőmérséklet mérése.....	49
4.1. A hőmérséklet-mérés néhány gyakorlati problémája	49
4.2. Gázhőmérők.....	52
4.3. Folyadékos hőmérők.....	53
4.4. Fémhőmérők.....	61
4.5. Elektromos hőmérők.....	62
4.6. Lézeres hőmérsékletmérők	64
4.7. Infravörös hőmérők	65
5. A légnyomás mérése.....	69
5.1. A légnyomás fogalma	69
5.2. A légnyomás mérésének műszerei.....	69
6. A levegő mozgásának mérési elvei és eszközei.....	77
6.1. A szél mérésének általános kérdései.....	77
6.2. A szél megfigyelése műszerek nélkül.....	80
6.3. A szélmérés eszközei.....	84
7. A párolgás mérése.....	103
7.1. A párolgás fogalma, a párolgás mérésének egységei	103
7.2. Párolgásmérő berendezések.....	103
8. A légnedvesség mérése	111
8.1. A légnedvesség méréssel kapcsolatos alapfogalmak.....	111
8.2. Abszorpciós légnedvességmérők.....	112
8.3. Pszichrométerek.....	116
8.4. Kondenzációs légnedvességmérők, vagy harmatpont higrométerek	118
9. A látástávolság mérése.....	121
9.1. A látástávolságot meghatározó tényezők.....	121
9.2. Műszer nélküli észlelés.....	122
9.3. Műszeres mérés	125

10. A felhőzet megfigyelése	127
10.1. A felhőzet megfigyelésével kapcsolatos általános feladatok.....	127
10.2. A felhők fajtájának megállapítása, a felhők osztályozása	127
10.3. A felhőzet vonulásának megfigyelése	140
10.4. A felhőalap magasságának meghatározása.....	142
11. A csapadék mennyiségének mérése	145
11.1. Alapfogalmak és a csapadék mérésének célja	145
11.2. A műszerek elhelyezése.....	146
11.3. A hulló csapadékok mérése	146
11.4. Mikrocsapadékok mérése	153
12. Automata meteorológiai állomások	155
12.1. A magyarországi automataállomás-hálózat rövid története.....	155
12.2. A mérőrendszerek.....	160
12.3. Az automata állomások felépítése	161
12.4. Szenzorok	163
12.5. Állomástípusok.....	169
12.6. Az automata meteorológiai állomások telepítése, karbantartása	172
13. A meteorológiai radarok	173
13.1. A radarok meteorológiai alkalmazásának általános kérdései	173
13.2. A meteorológiai radarok működése.....	174
13.3. A meteorológiai radarok alkalmazási területei	178
14. Villámlás-lokalizációs hálózatok	181
14.1. A villámlás-megfigyelés fizikai alapjai	181
14.2. A villámlás-lokalizációs hálózatok felépítése	182
15. Magaslégköri megfigyelések	187
15.1. Az aerológia mint tudományág.....	187
15.2. A magassági légállapot mérése.....	187
15.3. A magaslégkör kutatásának rövid történeti összefoglalása	188
15.4. A magaslégköri kutatások eszközei – direkt aerológia.....	190
15.5. A magaslégköri kutatások eszközei – távérzékelésen alapuló mérések (indirekt aerológia).....	196
16. Meteorológiai műholdak.....	201
16.1. A műholdak helye a meteorológiai megfigyelő alaprendszerben.....	201
16.2. A műholdak csoportosítása.....	203
16.3. A kvázipoláris műholdak.....	204
16.4. A geoszinkron műholdak.....	208
16.5. A földi szegmens	213
Felhasznált irodalom.....	215

Bevezetés

A meteorológia a légkör fizikai folyamatainak megfigyelésével, előrejelzésével foglalkozó tudomány, a meteorológiai műszerek tehát a légkör fizika állapotjelzőinek mérésére alkalmas eszközök. A légkör bizonyos tulajdonságainak műszeres mérése napjainkban sem megoldott teljes egészében, így a vizuális megfigyelés is teret kap a meteorológiai észlelési tevékenységben. A meteorológiai műszerek előtti időben az észlelés pedig nem jelentett egyebet a különböző meteorológiai elemek érzékszervi megfigyelésénél. Az időjárás előrejelzése, a környezet-monitoring napjainkban is igényli a meteorológiai megfigyelési adatokat, amiket egyre újabb technikai eszközök és módszerek alkalmazása révén az operatív (műveleti) meteorológia területéhez tartozó megfigyelési tevékenység biztosít.

A jegyzet a hagyományos oktatási rendszerben geográfus, földrajztanár, környezettan-tanár és környezettudomány, illetve biológia szakos hallgatók számára a meteorológiai műszerek, légkörtan, illetve részben bioklimatológia gyakorlatokon elsajátítandó ismereteket tartalmazza. Az új kétlépcsős rendszerben pedig a földrajz és a földtudományi BSc alapszak, valamint a geográfus és környezettudomány MSc különböző szakirányaiban.

A jegyzet fő fejezeteiben áttekintjük a műszeres meteorológiai mérések rövid történetét, a meteorológiai mérések általános alapelveit, a meteorológia állomások telepítésének gyakorlati szempontjait. Tárgyaljuk az egyes meteorológiai elemek méréséhez használható és ma használatos különböző meteorológiai műszereket. Ismertetjük az adott műszer felépítését, működését, a mérés menetét, az eredmények esetleges korrekcióit, a műszer alkalmazásának gyakorlati lehetőségeit és a mért eredmények felhasználhatóságát. A törzsanyagon túli, hasznos és érdekes háttérinformációkat az apró betűs részek tartalmazzák. A jegyzetet a hallgatók nem csak a gyakorlat anyagának elsajátítása során használhatják fel, hanem később, a diplomamunkájuk elkészítéséhez esetleg szükséges meteorológiai-klimatológiai mérések során is alkalmazhatják.

Debrecen, 2009. november 17.

A szerkesztők

DUPress

1. A meteorológiai megfigyelések története

1.1 A meteorológiai megfigyelések kezdetei

A meteorológia jelenségei iránt már a kezdet kezdetétől érdeklődött az ember, mivel az életfeltételeket a legközvetlenebb módon határozzák meg. *A nem rendszerezett, eseti megfigyelések az emberi történelem hajnaláig nyúlnak vissza.* Az ókor folyamvölgyi kultúráiban (Kína, India, Mezopotámia, Egyiptom) a meteorológia, a hidrológia és a csillagászat összekapcsolódott. Az időszámítás a csillagászati jelenségekhez, a csillagok, a Nap, illetve a Hold járásához, fázisaihoz igazodott. A csillagász papok meteorológiai és a folyók vízjárására vonatkozó megfigyeléseket is végeztek. E társadalmak az öntözéses mezőgazdaságra alapozódtak, ahol a nyári esőzések, a folyók áradási időpontjának és várható nagyságának ismerete döntő fontosságú volt. Ezért, ezeken a területeken már rendszeres és szervezett megfigyelések folytak. Alsó-Egyiptomban például az első dinasztia koráig (Kr. e. 3100 körül) visszamenőleg feljegyezték a Nílus áradásainak szintjét.

Európában a meteorológia tudományának kialakulása a *görögökhöz* kapcsolódik. A milétozi *Anaximander* (Kr. e. 611–547) és *Anaximenész* (Kr. e. 585–525) már bizonyos légköri jelenségeket (szél, felhők, villámlás) próbáltak magyarázni. Később *Xenophanosz*, *Herakleitosz*, *Anaxagorasz*, *Empedoklész* és *Demokritosz* is foglalkozott meteorológiai jelenségekkel. A Kr. e. 5. században az orvostudomány atyjaként tisztelt koszi *Hippokratész* írta meg az *első éghajlattant*, amelyben az éghajlati jelenségek emberi szervezetre gyakorolt hatását vizsgálta.

Kr. e. 350 táján az athéni *Arisztotelész* megírta az első meteorológiai tankönyvet „*Meteorologia*” címmel. Ebben a légköri jelenségek magyarázatát igyekszik megtalálni részben megfigyelésekre alapozva, részben spekulatív úton. A meteorológiai jelenségeket, például a szél vagy a csapadék keletkezését a négy elem (föld, víz, levegő és tűz) egymásba alakulásaival próbálta megmagyarázni.

Ő használta először a *meteorológia* szót az „ég és Föld közötti jelenségek” összességének leírására. A meteorosz eredeti jelentése magasba emelt, magasban lebegő. Nem a bolygóközi térből érkező és a légkörben felizzó égitesteket értette tehát ez alatt, hanem azokat a jelenségeket, amelyek a magasban, de az állócsillagok szférája alatt helyezkednek el.

Tőle ered a *klimatológia* név is, mivel felismerte, hogy a különböző földrajzi területek éghajlatában mutatkozó különbségek oka alapvetően a napsugarak eltérő hajlásszöge (klinein = hajlani). *Munkája alapvetően határozta meg a meteorológia további fejlődését a reneszánszig.* Az első ismert meteorológiai műszereket, a csapadékmérőt és a szélzászlót az ókorban készítették el. Az előbbi Indiában, az utóbbit Görögországban (a Szelek tornya Athénban) használták.

A római *Seneca* (Kr. e 4–Kr. u. 65) is *Arisztotelész* és *Theophrasztosz* nyomdokain haladva egyértelművé tette a légköri szféra elhatárolását az égi és a földi szférától. Az egyébként meglehetősen gyakorlatias gondolkodású rómaiak sem vetették fel még a meteorológiai elemek egzakt mérésének igényét.

A kora középkor időszakában a szellemi életet, a tudományos megismerés hasznosságát teljesen elvető szent ágostoni világkép uralkodott. A görög és római szerzők eredeti művei is nagyrészt elvesztek, eredményeik feledésbe merültek. Arab nyelvre lefordítva maradtak részben fenn. Az arab tudósok, *Al Kindi* (800–870), *Avicenna* (Abu Ali Ibn Szina, 980–1037) és *Al-hanzen* (1000 körül) a légkör optikai jelenségeivel foglalkoztak elsősorban. *Al Fariszi* munkáiban leírta, hogy a szivárvány kialakulásában a fénytörés játszik szerepet.

Európában ebben az időszakban a meteorológiai megfigyelések arra korlátozódtak, hogy a kolostorok annaleseiben megörökítették az adott terület fontosabb meteorológiai jelenségeit. Elsősorban az időjárási extrémumok kerültek feljegyzésre. Az érett középkorban lassú fejlődésnek indult a tudományos megismerés annak köszönhetően, hogy az ókori munkák arab forrásokon át visszakerültek az európai tudományos köztudatba.

Új lendületet a reneszánsz idején vett a meteorológia fejlődése. Az igény egyrészt a *mezőgazdaság*, másrészt a fejlődő *tengerhajózás* részéről támadt fel. A katalóniai hajózási térképeken már 1375-ben nyolcosztatú szélrózsát találhatunk. A meteorológiai műszerek terén mindössze annyi előrelépés történt Európában ebben az időszakban, hogy a szélzászló elterjedt a templomtornyokon. Ugyanebben az időben Dél-Amerikában a maják olyan szélmérő tornyot építettek, amelyből kis gyapotlabdákat elengedve a szél irányát és erősségét is meg tudták becsülni.

A reneszánsz idején a görög–római kultúra virágkorát élte. Újra a természettudományok felé fordult az érdeklődés. A filozófia és a tudomány igazi forradalma, majd a felvilágosodás idején, a 17–18. században következett be. Kialakultak a tudományos megismerésben ma is elfogadott módszerek. *Francis Bacon* a kísérletekből kiinduló következtetés módszerét (indukció), míg *Descartes* az elméleti kutatás deduktív módszerét dolgozta ki.

Kopernikusz elméleti megfontolásai és *Kepler* gyakorlati számításai megalapozták a heliocentrikus világképet, szemben az ókor óta elfogadott ptolemaioszi földközéppontú (geocentrikus) rendszerrel. *Galilei* és *Newton*, a gravitáció elméletének megalkotója új alapokra helyezte a fizikát. *Huyghens* holland fizikus kidolgozta a fény hullámtermészetének elméletét. *Galilei* a légköri jelenségek okainak kiderítése céljából számos meteorológiai kísérletet is végzett. Vizsgálta a levegő összetételét, egyes légköri mozgásfolyamatokat és fényjelenségeket. A hőmérő elődjét a termoszkópot (hőmutató) is ő szerkesztette.

1.2. A meteorológiai műszerek, mérési módszerek, állomáshálózatok fejlődése a 16–19. században

Ebben a szellemi környezetben a meteorológia is fejlődésnek indult, bár az időszak jellegzetessége, hogy a meteorológiai problémákkal inkább fizikusok foglalkoztak, annak ellenére, hogy a meteorológiát már Arisztotelész is önálló tudománynak tekintette.

A természettudományok fejlődésével fokozatosan felfedezték azokat a fizikai jelenségeket, amelyek a meteorológiai folyamatok alapjai és lehetővé teszik azok mérését. A firenzei Medici család jelentős támogatást nyújtott ezeknek a kísérleteknek az elvégzéséhez. Nicolaus Cusanus, majd Leonardo da Vinci 1500-ban tervezett egy gyapotszálas légnedvességmérő műszert. A gyakorlati igény itt is tetten érhető, mivel Firenze gazdagságának alapját a posztóipar jelentette. A posztó alapanyagául szolgáló gyapjú szállítása és feldolgozása során a légnedvesség pedig igen fontos tényező.

1597-ben Galilei termoszkópot konstruált. Ebből később hőmérsékleti skála hozzáillesztésével jöttek létre az első hőmérők. Az első gyakorlatban használható hőmérőt Santorio készítette 1611-ben. Az alkoholos hőmérő a maival nagyjából megegyező formáját a francia Jean Rey munkája nyomán kapta meg (1632). Ennek a műszernek a továbbfejlesztése a természettudományok iránt szenvedélyesen érdeklődő toszkánai nagyherceg, II. Ferdinánd érdeme.

Galilei útmutatását követve Toricelli 1643-ban kidolgozta a légnyomás mérésének módszerét. Egy üvegcsővet higannyal töltött meg, majd szájával lefelé egy higannyal teli kádba állította. A higany felett légritkított tér alakult ki. Megállapította, hogy a tenger szintjében a levegőoszlop súlyával 76 cm-nek megfelelő magasságú higanyoszlop tart egyensúlyt. Korai halála miatt a kísérleteket Pascal és Périer francia kutatók folytatták: meghatározták a légnyomás vízszintes és függőleges irányú eltéréseit. Kísérleteik eredményeit felhasználva Viviani még abban az évben elkészítette az első barométert.

Ezt számos műszer feltalálása követte. Castelli még 1639-ben fejlesztett ki egy csapadékmérő műszert. Az első billenőcsészés csapadékmérőt az angol építész, Wren készítette 1662-ben. 1450-ben az itáliai építész, Alberti, majd két évszázaddal később az angol Hooke olyan szélességmérőt készített, amelynél a szél egy függőleges tengelyű korongot forgatott meg.

Huyghens 1665-ben hőmérsékleti skálája alappontjaként a jég olvadás- és a víz forráspontját választotta. Az első higanyos hőmérőt a Hollandiában élt német fizikus, Fahrenheit készítette. Gyors egymásutánban jelent meg ezután a Fahrenheit- (1710), a Celsius- és a Réaumur- skála (1773). A svéd Celsius skáláját száz részre osztotta, de eredetileg a víz forráspontja volt a 0°, később Linné (más források szerint Störmer) javaslatára fordították meg a beosztást.

Hooke 1662-ben tervezett olyan légnedvességmérőt, amelynek mérőteste egy preparált állati béldarab volt. 1783-ban de Saussure hajszálas légnedvességmérőt készített, míg 1783-ban Edgeworth és 1790-ben Woltmann anemométert, azaz szél-

sebességmérőt. 1805-ben jelent meg *Beaufort* tapasztalati szélskálája. 1825-ben *August* megszerkesztette a száraz-nedves hőmérőpárral felszerelt pszichrométert. 1837-ben *Pouillet* elkészítette az első napsugázmérő pirheliométert. Ugyanebben az évben jelent meg *Robinson* szélességmérője. A napjainkig használatos kanalas szélességmérőt *Romney* szerkesztette szintén még a 19. században.

Ahogy a legalapvetőbb műszereket feltalálták, a meteorológiai műszeres mérések is megkezdődtek a 17. század folyamán.

A korábban említett *II. Ferdinándnak köszönhető az első nemzetközi meteorológiai állomáshálózat létrehozása is. 1650-ben*, a saját műhelyeiben készítettett hőmérőket számos európai jezsuita rendházba (Firenze, Vallombrosa, Párizs, Osnabrück, Innsbruck, Varsó) küldték szét.

II. Ferdinánd támogatásával a Galilei és Toricelli tanítványok alapították az Accademia del Cimento-t 1657-ben. Ez a szervezet meteorológiai állomáshálózatot hozott létre az 1660-as években. Ennek állomásai Toscanában, a Pó-síkságon, Varsóban, Párizsban, Innsbruckban és Osnabrückben működtek hosszabb-rövidebb ideig. A hálózat 1667-ig működött, amikor egyházi nyomásra volt kénytelen beszüntetni tevékenységét.

Legrégebben Angliában, Londonban folynak megszakítás nélkül műszeres megfigyelések 1659 óta. A leghosszabb megszakítás nélküli légnyomásidőssorral Párizs dicsekedhet, ahol a csillagvizsgálóban kialakított megfigyelőhelyen 1664 óta folynak mérések.

Oxfordban és Londonban 1666 és 1692 közt folytattak párhuzamos meteorológiai méréseket. Kielben Leibnitz kezdeményezése alapján 1679 és 1709 közt mérték a hőmérsékletet, légnyomást, a szélirányt és szélességet, és feljegyezték az egyéb időjárási jelenségeket is.

A kontinens első meteorológiai állomását a porosz fővárosban, Berlinben hozták létre 1701-ben. Uppsalában 1722-ben, Páduában 1725-ben, a hollandiai Zwanenburgban 1735-ben jöttek létre meteorológiai állomások, amelyek folyamatos adatsorral rendelkeznek. Ezek mellett Bécsben 1709-től, Sopronban 1711-től, Eperjesen és Besztercebányán 1717-től, Varsóban 1725-ben, Szentpéterváron 1726-ban, a nagyszombati egyetemen 1755-ben alapítottak obszervatóriumokat, amelyek nem folyamatos adatsorokkal rendelkeznek.

A korszak műszerei még nem egységes elvek szerint készültek, a mérések nem azonos módszerekkel folytak, az eredmények tehát még nem voltak összevethetők. Jellemző, hogy a folyadékhőmérőkben alkoholt, olajat és higanyt egyaránt alkalmaztak. Az 1770-es években, Európában 60-féle(!) hőmérsékleti skála volt használatban, melyek közül 27 számított széles körben elterjedtnek. Az azonos elvek szerint, azonos módszerekkel és szabványos műszerekkel végrehajtott méréseket a német Lambert szorgalmazta először 1771-ben. Javasolta egy világméretű megfigyelő hálózat kialakítását is. Ekkor indult jelentős fejlődésnek a meteorológia, klimatológia tudománya is.

Károly Tivadar pfalzi választófejedelem 1780. október 21-én hozta létre Mannheimben a Pfalzi Tudományos Akadémia alosztályaként a „Societas

Meteorologica Palatina” nevű szervezetet. Az 1780-ban felállított hálózat 36 európai városban hozott létre azonos elvek alapján, azonos eszközökkel működő meteorológiai állomásokat.

A műszereket Mannheimben készítették el. A légnyomás mérésére egy redukciós hőmérővel ellátott higanybarométert alkalmaztak. A hőmérséklet mérése Réaumur-fok beosztású hőmérővel történt. A légnedvességet eleinte Retzius-féle tollcsévés légnedvességmérővel, majd 1783 után, mivel ez a műszer meglehetősen pontatlannak bizonyult, a de Saussure-féle hajszálas légnedvességmérővel végezték. Alkalmaztak egy széliránymérő és csapadékmérő műszert, foglalkoztak a zivatarelektromosság kimutatásával, valamint végeztek kiegészítő érzékszervi megfigyeléseket is. Az 1795-ig működő szervezet volt Európa és a világ első egységes elvek szerint működő és egységes műszereket alkalmazó meteorológiai állomáshálózata.

Magyarországon Sopron, Besztercebánya és Eperjes mellett a XVIII. század elejétől rendszeresen naponta több alkalommal történtek hőmérséklet- és légnyomásmérések Késmárkon, Miskolcon és Pécsen is. *Az intézményes meteorológiai mérések 1755-ben kezdődtek a Magyar Királyság területén, a nagyszombati egyetemen. Mária Terézia 1777-ben Budára helyeztette át az egyetemet.*

A meteorológiai mérések a várban épített csillagvizsgáló mellett kialakított meteorológiai obszervatóriumban indultak újra 1780. január 1-jén. *1781-ben az állomás csatlakozott a Societas Meteorologica Palatina hálózatához, és az onnan kapott műszerekkel folytak tovább a mérések. A leghosszabb ilyen műszeres észlelésekre alapozott idősorral hazánkban ezért Buda rendelkezik, ám az 1780-ban kezdődő hőmérsékleti idősorhoz csak 1841-től társul megfelelő csapadékadatsor. Ezen kívül 1809-től légnyomásméréseket is végeztek, valamint feljegyezték a felhőborítottság mértékét is.*

Az állomáshálózat csak kb. 70 évvel később, osztrák irányítással kezdett kiépülni. Az 1850-es években egymás után hozták létre a meteorológiai állomásokat. 1852-ben Esztergomban, 1853-ban Pesten, Pécsen és Debrecenben, 1854-ben Szegeden, 1856-ban Pannónhalmán, 1859-ben Győrött és Magyaróváron, 1860-ban Veszprémben, 1861-ben Egerben, 1864-ben Szolnokon, 1865-ben Sopronban és Szombathelyen, 1867-ben pedig Nyíregyházán jött létre obszervatórium. Az ország egészét átfogó állomáshálózat csak a 19. század utolsó harmadában alakult ki. Debrecenben a pallagi mezőgazdasági akadémia parkjában kialakított meteorológiai állomáson kezdődtek meg a mérések.

A meteorológia fejlődése szempontjából is fontos előrelépés volt a nagy távolságra gyors információtovábbítást lehetővé tevő vezeték nélküli távíró feltalálása (Morse, 1843) és elterjedése. Az amerikai Loomis, a Yale egyetem tanára készített *egy időjárás térképet* egyidőben mért meteorológiai adatok alapján. *Az első távíró továbbított időjárás jelentéseket Angliában, 1849-ben készítették. Az 1851-es Londoni Világkiállításon már néhány, a táviratok alapján készített időjárás térképet is bemutatottak.*

Újabb jelentős lökést adott a megfigyelő hálózat fejlődésének egy a krími háború (1853–56) idején bekövetkezett katasztrófa. 1854. november 14-én a Fekete-tengeren állomásozó angol–francia flotta Balaklavai-öbölben horgonyzó hajóit és a kikötő berendezéseit súlyosan megrongálta egy vihar, a IV. Henrik sorhajó el is süllyedt. *III. Napóleon* arra gondolt, hogy az égitestek mozgásához hasonlóan talán a légköri jelenségek is előre jelezhetők. *Vaillant francia tengernagy és hadügyminiszter ezért megbízta Leverrier francia csillagászt az időjárás-előrejelzés módszerének kidolgozásával.*

Leverrier már korábban megfogalmazta egy időjárásfigyelő-rendszer tervét, a választás azért is esett rá, mivel elméleti számítások alapján megállapította, hogy a Naprendszerben az Uránusz pályáján kívül még kell lennie egy bolygónak, és meg is találta a Neptunuszt.

Leverrier felhasználta a Societas Meteorologica Palatina állomáshálózatának meglehetősen szórványos adatait. A katasztrófát megelőző napok adataiból rajzolt, még persze felettebb kezdetleges időjárás térképeken is jól kirajzolódott a vihar vonulásának pályája. November 12–16. között a vihar kártételei követhetőek voltak Algériától Közép- és Kelet-Európán át a Fekete-tengerig. Ebből adódott a következtetés, hogy jóval sűrűbb állomáshálózat esetén a meteorológiai események valóban előre jelezhetővé válnak.

A bemutatott térképek meggyőzték *III. Napoleont* és a tudományos közvéleményt, így már 1855 februárjától megindult a francia táviróhálózaton a vihartávíratok továbbítása. A francia példát a többi tengeri nagyhatalom is követte: 1860-ban Hollandiában, 1862-ben Nagy Britanniában, 1865-ben Ausztriában indult meg a vihartávíratok továbbítása. Az Egyesült Államokban az 1870-es években alapítottak hasonló intézményeket. A kor legkorszerűbbnek tartott szervezetét, a Hamburgi Seewartot 1873-ban szervezték meg. *Így jöttek létre az időjárás-előrejelzés előfutárainak tekinthető tengeri viharfigyelő-riasztó, illetve időjárás-jelentő hálózatok.* Ezek az adott helyen uralkodó időjárás helyzetre, viharok vonulására vonatkozó megfigyelési adatokat továbbították a szomszédos állomások és a tengeren haladó hajók felé. Ezek azonban még nem tekinthetők előrejelzéseknek.

Az első előrejelzési kísérletek nem hozták meg a várt eredményt Franciaországban, amiből *Leverrier* azt a nem is alaptalan következtetést vonta le, hogy a légköri folyamatokról akkor még nem állt rendelkezésre elegendő ismeret azok megbízható előrejelzésére. Ezért Franciaországban a meteorológiai megfigyelések alapján még sokáig nem készültek előrejelzések. *Leverrier* nézeteit osztották Európa nagy részén. A táviratos viharjelzési tevékenységet ennek köszönhetően még évtizedeken át „időjárás-telegráfianak” nevezték.

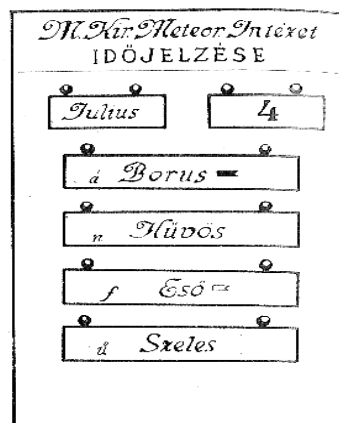
Angliában *Fitz Roy* admirális tevékenységének hatására 1861-től a meteorológiai hivatal nem csak viharjelzéseket, de időjárás előrejelzéseket is kiadott a kikötők és a tengerparti területek számára. Ugyanakkor Párizsban az 1860-as évek közepétől, az amerikai partoktól az Urálig terjedő területre vonatkozó szinoptikus térképeket készítettek, amelyek a kutatásban később nagy jelentőséggel bírtak.

Franciaországban és Angliában a kutatás két nyomvonalon haladt tovább: egyrészt az euléri megközelítés, az *adatmezők egyidejű elemzése* mellett bizonyos meghatározó légköri jelenségek (például viharok) pályáját a lagrange-i módszerrel is nyomon követték, másrészt bizonyos állomásokon az egyes meteorológiai folyamatok (például frontátvonulás) során folyamatos méréseket végeztek, ami egyfajta keresztmetszetet szolgáltatott a vizsgált objektumról. Ezeket az időjárási keresztmetszeteket nevezték „meteorogrammoknak”. Az előbbi az előrejelzés, az utóbbi az elméleti kutatás számára bizonyult felettebb hasznosnak.

Magyarországon az időjárás-jelentések kiadása 1880-ban magánvállalkozás formájában indult.

Amikor az 1887-ben leállt, a közönségigény hatására a Meteorológiai Intézet vette át a feladatot. 1888. július 1-től napi rendszerességgel jelentek meg a jelentések.

Önálló előrejelző szolgálat 1891-től működött. Naponta térképes időjárási bulletin állítottak össze és terjesztettek, melyet a napilapok és a táviróhivatal is átvett (1.1. ábra).

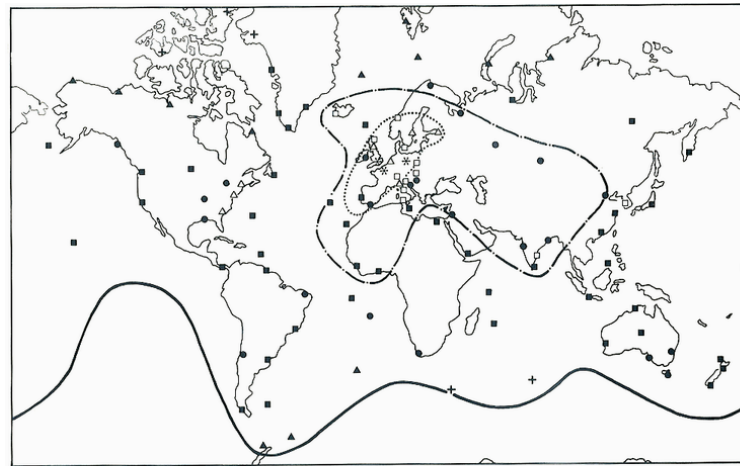


1.1. ábra.

A Magyarországon 1891-től használt távirtdai időjárásjelző tábla
(forrás: Czelnai 1993)

A világméretű állomáshálózat kialakulásával szükségessé vált az egyes országok meteorológiai szervezetei közötti kommunikáció, a munka összehangolása, hogy az eredmények később összehasonlíthatók legyenek.

Így került sor az *első nemzetközi meteorológiai konferenciára Brüsszelben 1853-ban*. A következő két évtizedben sorra alakultak a nemzeti meteorológiai szolgálatok. 1873-ban Bécsben létrejött a Nemzetközi Meteorológiai Szervezet (IMO). Ekkor a legfontosabb feladat a nemzetközi hálózat teljes kiépítése (1.2. ábra) és a mérési módszerek és eszközök egységesítése volt. Magyarországon 1870-ben alakult meg a meteorológiai intézet Magyar Királyi Földdelejtességi és Meteorológiai Központi Intézet néven.



RENDSZERES
MŰSZERES
MÉRÉSEK

MEGBÍZHATÓ
LÉGNYOMÁS ÉS
SZÉLADATOK

* 1700 ELŐTT

△ 1700-1749

□ 1750-1799

● 1800-1849

■ 1850-1899

▲ 1900-1944

+ 1945 UTÁN

..... KB. 1760 ÓTA

·-· KB. 1860 ÓTA

— KB. 1960 ÓTA

1.2. ábra

A nemzetközi meteorológiai állomáshálózat kiépülése
(forrás: Lamb 2002)

1.3. A légkörről alkotott ismeretek bővülése

A középkor és a felvilágosodás korának kutatói néhány gyakorlati problémából kiindulva kezdték meg a légköri jelenségek vizsgálatát. Az egyik ilyen látványos jelenség a *szivárvány*, és vele összefüggésben a *fénytörés* volt. *Freibergi Dietrich* szerzetes, *Francis Bacon*, *Galilei* és *Descartes* is foglalkoztak a kérdéssel. Végül *Newton* híres prizmával folytatott kísérlete alapján *magyarázta a színek természetét*. A *szivárvány tanulmányozásának jelentősége tehát abban állt, hogy segített tisztázni a fénytörés jelenségét és a színek jellegzetességeit*.

A légkörrel foglalkozó természettudósok fontos problémája volt a 18-19. században a *felhők és különböző csapadékok keletkezésének magyarázata*. A kérdéssel

már Arisztotelész is foglalkozott, a négy elem egymásba alakulásaiból próbálva levezetni a felhők és a csapadék kialakulását is.

A hópelyhek hatszög szimmetriáját már a Kr. e. 2. évezredben leírták Kínában. Európában az első erre vonatkozó dokumentáció egy 1555-ből fennmaradt fametszet Uppsalából. Descartes készítette a jégkristályok első, mai napig helytálló tipizálását. A 18. századra tisztázták, hogy a felhők kialakulása a nedves levegő kiterjedésével és lehülésével van összefüggésben. Az amerikai Benjamin Franklin 1751-ben megállapította, hogy a felmelegedés a levegő feláramlásához vezet. A francia de Saussure elméleti úton igazolta, hogy a felemelkedő nedves levegő lehül, benne csapadék keletkezik, aminek mennyisége arányos az emelkedés sebességével. Tudottá vált tehát, hogy összefüggés van a feláramlás, a lehülés és a kicsapódás között.

A csapadékképződés vízfelhőkben lejátszódó ma is elfogadott elméletét a holland fizikus Petrus van Musschenbroek írta le, aki szerint a csapadék keletkezésének oka a felhőben a kis cseppek ütközések által való megnövekedése. Ezt már Arisztotelész is feltételezte, a holland kutató azonban a cseppek kritikus méretét is meghatározta, ami szerinte 6 mm-es átmérőt jelent. Ez igen közel van a ma elfogadott 8 mm-hez.

Bonifas 1780-ban úgy vélekedett, hogy a környezeténél sokkal melegebb levegő intenzív emelkedéssel olyan magasságokba juthat, ahol a vízcseppek egy része megfagy, ezek aztán a túlhűlt vízcseppekkel egyesülve tovább növekednek. Ezzel a csapadékképződés másik, ún. átgőzölgesi elméletét készítette elő.

Franklin – nem kis bátorságról téve tanúbizonyságot – zivatarok közben végzett papírsárkány-reptetési kísérletei segítségével helyesen állapította meg a 18. század közepén, hogy a villámok elektromos kisülések (1.3. ábra). A nevéhez fűződik a villámhárító feltalálása is (1752).



1.3. ábra
Franklin kísérlete a papírsárkánnyal
(forrás: www.wilsonalmanac.com)

A fejlődés felgyorsulásában a gyakorlati igények erősödésének fontos szerepe volt. A 16. században a spanyolok, majd a hollandok és az angolok uralták a tengereket. A 18. századra Anglia vált a vezető tengeri hatalommá. *A hajózás további fejlődése a tenger szélviszonyainak és áramlásainak jobb megismerését, kihasználását igényelte.* Nem volt már elégséges a helyi szelek ismerete, az óceánokon való hajózás az általános légköri megismerését tette szükségessé.

Dél-Ázsia arab és indiai hajósai a középkorban ismerték a szél évszakos irányváltását az Indiai-óceánon. A jelenséget *mauzimnak* (évszak) nevezték, amiből a monszun szó származik. *Ponce de Leon spanyol hajós 1513-ban fedezte fel a Golf-áramlatot.* *Kolombusz* a harmadik és negyedik útján már kihasználta az ÉK-i passzát szeleket, illetve a visszaúton a nyugati szeleket. A trópusi ciklonok első tudományos igényű leírása az angol hajós és kalóz *William Dampiertől* származik, aki 1687-ben Kína partjai előtt figyelte meg egy trópusi vihart.

Az angol Admirális elírta, hogy a brit hajókon a rendszeres földrajzi helymeghatározás mellett meteorológiai méréseket is kell végezni. Az eredményeket naplókban rögzítették (1.4. ábra). Az így előállt óriási adattömeg feldolgozása tette lehetővé a tengerek szél- és áramlásviszonyainak térképes ábrázolását. Az angol csillagász, *Halley* (a Halley üstökös névadója) a rendelkezésre álló megfigyelési sorok segítségével *1686-ban már olyan térképet készített, amin az akkori ismeretek szerint feltüntette az óceánokon uralkodó szélirányokat.* Ezt tekinthetjük az *első meteorológiai térképnek.* Térképén szerepelnek a passzát szelek, melyek kialakulását nem magyarázza. Részben Halley munkájának is volt az eredménye, hogy a

18. század vége és a 19. század közepe közt az Anglia és Ausztrália közti tengeri út 250 napról 150 napra rövidült.

Month	Day	Wind	Sea	Weather	Land	Bearing of the Coast	Remarkable Observations and Accidents
1765	2	SE					1) The wind being strong with light rain
	3	SE					2) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	4	SE					3) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	5	SE					4) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	6	SE					5) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	7	SE					6) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	8	SE					7) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	9	SE					8) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	10	SE					9) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	11	SE					10) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	12	SE					11) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	13	SE					12) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	14	SE					13) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	15	SE					14) The wind fresh with light rain and the sea fresh
	16	SE					15) The wind fresh with light rain and the sea fresh

1.4. ábra
Időjárási események leírása egy 18. századi angol hajónaplóban
(forrás: Lamb 2002)

A passzátszél kialakulására a 18. század elején Hadley angol meteorológus igyekezett választ találni. Megállapította, hogy a passzát irányának kialakításában a Föld forgásának van alapvető szerepe. Ő fedezte fel azt is, hogy az Egyenlítő környékén erősen felmelegedő légtömegek felemelkednek, a magasban a sarkok felé mozognak, majd lehűlve leszállnak és a felszín közelében térnek vissza az Egyenlítő vidékére. A légcirkuláció eme modelljét *Hadley-cellának* nevezzük. Munkáját az amerikai *Ferrel* tette teljessé a 19. században, aki leírta a valóságosnak teljes egészében megfelelő *háromcellás légcirkulációs modellt*.

A légáramlásokkal kapcsolatos kérdések tisztázásához először a *levegő mozgását kiváltó erők azonosítására volt szükség*. Aztán a hatóerők és gyorsulások *mozgásegyenletekben* történő összekapcsolása következett. Ezek a vizsgálatok a 18–19 században zajlottak le. A kutatók többnyire nem légkörrel kapcsolatos gyakorlati problémákat igyekeztek tisztázni, az eredmények légkörre való alkalmazása kezdetben inkább „mellékterméke” a kutatásnak.

A *légköri dinamika alapját jelentő mozgásegyenletek kidolgozása Newton második törvényére alapozódott*, melyet az 1687-ben kiadott latin nyelvű „*Philosophiae naturalis principia mathematica*” (A természetfilozófia matematikai alapjai) című művében publikált. Ez kimondja, hogy *a testek gyorsulása* (és nem a sebessége, mint korábban gondolták) *az adott testre ható erő nagyságával arányos*. Az arányossági tényező a test tömege.

A törvény légköri folyamatokra való alkalmazása szempontjából következő fontos lépést a svájci matematikus, *Euler* tette, azzal, hogy *a newtoni törvényt flui-*

dumokra alkalmazta. Kimondta, hogy a gyorsulás a távolságegységre jutó nyomásváltozás nagyságával arányos. Ez a tétel a légnyomás térbeli eloszlására vonatkozó számítások alapja. A hidrodinamika megalapozásában fontos szerephez jutott még Lagrange és Bernoulli is. A francia Navier és az angol Stokes a súrlódási erő figyelembevételével tették a gyakorlatban használhatóvá az Euler-egyenletet, amiből a Navier-Stokes-egyenlet állt elő.

A termodinamika a 19. században született meg Dalton, Gay-Lussac és Carnot munkájának eredményeként. Mayer és Joule írja le az energiamegmaradás elvét.

Coriolis 1835-ben publikált „Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps” című munkájában írta le a később eltérítő erőnek nevezett erőt a vízkerekekre alkalmazva. A légkört meg sem említi, hasonlóan Eulerhez, aki számításával a szökőkutak tervezését kívánta megkönnyíteni. Az eltérítő erő légkörre való adaptációja az angol Dove (1837) és az amerikai Ferrell nevéhez kötődik (1858). Buys Ballot 1857-ben írta le a bárikus széltörvényt, amely a légnyomáseloszlás és a szél közötti viszonyt határozza meg.

A mozgásegyenletek jelentősége abban áll, hogy ezek teszik lehetővé az időjárás számszerű előrejelzését. A hatóerők a légkör különböző fizikai állapotjelzőinek (például hőmérséklet, légnyomás) térbeli eloszlásától függenek. Az egyenletek idő szerinti integrálása tehát lehetővé teszi a meteorológiai folyamatok időbeli előrejelzését a kiindulási helyzet függvényében. A meteorológiai megfigyeléseken alapuló egy-két napos időjárás-előrejelzések lehetőségét a nagy francia kémikus, Lavoisier már 1765-ben felvetette.

1.4. A szinoptikus meteorológia és a numerikus prognosztika kialakulása

Az időjárás-előrejelzéshez egyfelől szükséges technikai háttér (mérőműszerek, feldolgozási módszerek, állomáshálózat stb.), másfelől a légköri folyamatokra vonatkozó ismeretanyag a 19. század második felére volt együtt.

A légköri folyamatokról rendelkezésre álló ismeretek közé tartoznak azok, amelyek egyrészt a légköri folyamatokban érvényesülő alapvető törvényszerűségeket írják le, valamint azok, amelyek e folyamatok komplex viselkedésével foglalkoznak. Az előbbiek a dinamikus meteorológia, míg az utóbbiak a szinoptikus meteorológia tárgykörébe tartoznak. A korban uralkodott a felfogás, amely a dinamikus meteorológiát magasabb rendű, elméleti területként, a szinoptikus meteorológiát alacsonyabb rendű, alkalmazott területként kezelte. Pozitivistáktól kiindulva, Laplace nyomán a 19. század közepének fizikusai úgy gondolták, hogy bármilyen fizikai jelenség leegyszerűsíthető az érintett részecskék elemi mozgásainak leírására.

A 20. század elejére a fizika Planck, Einstein, Heisenberg és mások az elemi részecskék kutatása (kvantummechanika) terén elért eredményeinek hatására eltávolodott ettől a leegyszerűsítő felfogástól; a meteorológiában ugyanakkor ez a szemlélet tovább élt.

A korszak meteorológiai kutatásának meghatározó személyisége a norvég hidrodinamikus, *Vilhelm Bjerknes épp ekkor tűzte ki célul egy olyan átfogó elmélet megalkotását, amely lehetővé teszi a légkör termodinamikai és hidrodinamikai folyamatainak matematikai leírását. Ezt az elméletet nevezte el dinamikus meteorológiának.*

A probléma megoldásán több kutatócsoport munkálkodott. A 20. század első éveiben a *Margules* vezette bécsi iskola emelkedett ki. 1913 és 1918 közt a Bjerknes vezette lipcsei kutatócsoport volt a legjelentősebb. 1918 után Bjerknes a bergeni egyetemen hozott létre kutatócsoportot, amely 1940-ig meghatározta a dinamikus meteorológia fejlődését.

A hibás kiindulási pont ellenére alapvetően járultak hozzá a dinamikus meteorológia fejlődéséhez. Másrészt az eredeti programmal majdnem ellentétben a szinoptikus meteorológia megalapozásáért is igen sokat tettek. A szinoptikus meteorológia szakkifejezéseinek jelentős része tőlük ered (például időjárás front, légtömeg, ciklon). A korábban Angliában a meteorogramok alapján leírt hidegfront jellegű képződmények mellett a melegfront és az okklúziós front leírása, illetve a mérsékelt övi ciklonok kialakulásának modellje is e kutatók érdeme.

Bizonyos meteorológiai állapotjelzők alakulására vonatkozó előrejelzések készítésével Angliában is megpróbálkoztak ebben az időszakban. Az indiai szubkontinensen éltebevágó jelentőséggel bírnak a monszunesőzések. A monszun érkezésének időpontja, illetve csapadékmennyisége évről évre jelentősen ingadozik. Ezért az 1920-as években az angol *Walker tudományos módszert dolgozott ki az évszakos csapadékmennyiség-előrejelzés céljaira, ami világhorrelációs, vagy távkapcsolatos módszer néven vált ismertté és terjedt el.*

Magyarországon önálló dinamikus, illetve szinoptikus meteorológiai iskola nem alakult ki; a bergeni iskola eredményeinek átvétele *Róna Zsigmond* és *Steiner Lajos* tevékenysége nyomán megtörtént, létrejött az önálló hazai előrejelzési gyakorlat.

Bjerknes hatására a meteorológiai előrejelzési módszerek fejlesztése során fennmaradt és erősödött a törekvés a matematikai-fizikai módszerek széleskörű alkalmazására. *A kialakult időjárás előrejelzési modellekben általában legalább öt légköri állapotváltozót vesznek figyelembe (a szél három komponense, légnyomás és hőmérséklet). Ekkor az előbbi állapotváltozók közti összefüggéseket egy olyan elmélet írja le, ami figyelembe veszi az impulzus-, tömeg-, és energiamegmaradás elvét (a newtoni mozgásegyenleteket), a folytonossági egyenletet és a termodinamika első főtételeit. Így az előrejelzés feladata az előbbi összefüggések felhasználásával egy nemlineáris differenciálegyenlet-rendszer felállítása, amelyet adott kezdeti és határfeltételek mellett az időbeli változások kifejezéseire kell megoldani. Más szóval, előrejelzést az előbb említett egyenletrendszer adott időtartamra vonatkozó integrálása útján nyerhetünk.*

A probléma megoldásának ilyen lehetőségére a külső ballisztika (a lövedék fegyvercsövön kívüli pályájának számítása) hívta fel a figyelmet. A problémát

sikertelenül kísérelte megoldani Galilei, Newton Euler stb.; végül az I. világháború idején a véges differenciálás módszerével lettek úrrá a problémán.

Az angol *Richardson* ennek alapján javasolta a módszert a légköri folyamatok prognosztikus egyenletrendszerével kapcsolatban. *Richardson* kimutatta, hogy az előrejelzésekhez szükséges számítások elvégzéséhez naponta 64 000 ember egy-idejű, jól szervezett munkájára lett volna szükség. Ez nyilvánvalóan lehetetlen volt, így az ilyen irányú fejlődés évtizedekre megtorpant.

A megfigyelésekből származó hatalmas adattömeg azzal a veszéllyel fenyegetett, hogy az előrejelző munka „belefullad” az adatok feldolgozásába. A probléma megoldását *Neumann Jánosnak* sikerült megtalálni azzal, hogy az adatfeldolgozásra a II. Világháború alatt ballisztikai számítások céljaira kifejlesztett elektronikus számítógépeket kell igénybe venni.

1948-ban *Charney* vezetésével megalakult egy meteorológusokból álló csoport, amely a számítógépes előrejelzési módszerek kidolgozását tűzte ki célul. 1950-ben készült el az első számítógépes előrejelzés, hogy aztán a terület hihetetlen gyorsasággal induljon fejlődésnek.

Az előrejelzési tevékenység fokozatosan összefüggő, nemzetközi szinten koordinált tevékenységgé vált. Ezt jelzi, hogy 1947-ben, a svájci Genfben létrejött a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization, WMO). 1950. március 23-án sor került a WMO Konvenció elfogadására, majd 1951-ben a WMO az ENSZ szervezetévé vált. 1967-ben megalakult az Időjárás Világszolgálat.

Fontos új eszköz került a meteorológusok kezébe az eredetileg légtérvédelmi feladatokra létrehozott hosszúhullámú *radarok* alkalmazásával. Az első feljegyzett zivatarmegfigyelés radar segítségével 1941. február 20-án történt, amikor az angol partoktól 7 mérföldre detektáltak egy fejlődő zivatargócot.

Komoly előrelépést jelentett 1960-tól a meteorológiai műholdak megjelenésével a *távérzékelés alkalmazása* a meteorológiában, mivel így a földfelszín addig elérhetetlen területeiről (bolygónk felszínének kb. négyötöde) is adatokhoz juthatunk.

A 19–20. század során tehát a meteorológia drámai fejlődésen ment keresztül. Az elméleti, dinamikus meteorológia eredményeire alapozva kialakult és gyors fejlődésnek indult az időjárás-előrejelzés. Az is *kiderült, hogy a légkör rendkívül sok tényező által meghatározott igen komplex rendszer. Állapotának előrejelzése tehát csak korlátozott időtartamra lehetséges.* Az előrejelzések fejlődésével teret kapott az éghajlat változásának modellezése, ami elvezetett a kaotikus rendszerek elméletének megalkotásig.

A 19. század végére az összegyűlt több évtizedes meteorológiai mérési sorok az éghajlatban, a klimatológia fejlődésének is nagy lendületet adtak. Az egyik fontos irány a dinamikus meteorológiával együtt fejlődő *fizikai klimatológia*, amely az *éghajlat kialakulásának fizikai magyarázatával foglalkozik.*

A másik terület a *leíró éghajlatban újjáéledése*. Ez tekinthető a meteorológia egyik legkorábban művelt területének, hiszen már az ókori és középkori földrajzi munkák is sok ilyen vonatkozású részt tartalmaztak. Most azonban kvantitatív ala-

pon, a különböző földrajzi területek klímájának leírása, a különbségek magyarázása is lehetővé vált. Különböző elvi alapokon nyugvó klímaosztályozási rendszerek születtek.

A *leíró jellegű osztályozások* általában a hőmérsékleti és csapadékviszonyok alapján tipizálnak. Ilyen például *Supan*, *Penck Köppen* és *Trewatha* osztályozása. Sajátos helyet foglalnak el a leíró éghajlat-osztályozásokon belül a *hőháztartási alapon tipizáló rendszerek*. Ilyenek a *Thornthwaite* és *Budiko* által alkotott rendszerek.

Teljesen más szempögből közelítik a kérdést az ún. *genetikus osztályozások*, amelyek az egyes területek éghajlatát kialakító dinamikus okokat (általános légcirkulációban elfoglalt helyzet, légtömegek, frontok stb.). Ilyen genetikus osztályozás például *Hettner*, *Flohn* és *Aliszov* rendszere.

A 20. század második felére a környezeti problémák egyre komolyabb feladat elé állították a tudományt. A légkör összetételének megváltozása, az üvegházhatás erősödése, a globális felmelegedés, az ózonréteg elvékonyodása olyan problémák, amelyek megoldásában a meteorológia igen fontos szerepet játszhat. A klímamodellezés az éghajlatkutatás egyik leggyorsabban fejlődő és legnagyobb gyakorlati jelentőséggel bíró területévé vált napjainkra. Ezt számos környezeti problémákkal foglalkozó konferencia is jelzi.

1972-ben az ENSZ I. Környezetvédelmi Világkonferenciáján a környezetszennyezés kapcsán szó esett a légszennyezés problémájáról, ami előre vetítette a meteorológia előtt álló új feladatokat. 1979-ben került sor az első, 1990-ben pedig a második klíma-világkonferencia megrendezésére.

Az éghajlatvédelem eddigi legjelentősebb (és szinte egyetlen kézzelfogható) eredménye az ózonpajzs elvékonyodásának megállítása céljából az ózonréteg védelméről és az ózont károsító halogénezett szénhidrogének használatának betiltásáról szóló Bécsi Keretegyezmény (1985) és annak részletes kifejtése, a Montreali Jegyzőkönyv (1987).

Az 1992-ben Rio de Janeiroban lezajlott „Környezet és Fejlődés” (vagy Earth Summit: Föld Csúcs) világkonferencia jelentősége abban áll, hogy a környezetvédelem és benne az éghajlatvédelem ügye a nemzetközi politika szintjére emelkedett. A riói konferencia nemzetközi jogi dokumentumot alkotott „*ENSZ éghajlatváltozási keretegyezmény*” címmel. Az egyezmény kimondta, hogy szükséges az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának visszaszorítása, amely megóvjaa a környezetet és a társadalmat az éghajlatváltozás káros következményeitől. *Konkrét kötelezettségként írta elő a csatlakozó országok számára, hogy üvegházhatású gáz-kibocsátásuk 2000-re nem haladhatja meg az 1990. évi szintet.*

A kívánt eredményt nem sikerült elérni, ezért 1997-ben, Kiotóban új megállapodás született az üvegházhatású gázok emissziójának csökkentéséről. A kérdés még további konferenciákon is felszínre került: Buenos Airesben, Bonnban, Hágában, a 2002-es johannesburgi Fenntartható Fejlődés Konferencián pedig a végrehajtás mikéntjéről folyt a vita.

Az éghajlatváltozás előrejelzése napjainkban a klímakutatás egyik legkomolyabb kihívása, és mutatja azt, hogy – mint története során a legtöbb esetben – a meteorológia számára a gyakorlati igények szabják meg a továbbfejlődés irányát. Ez pedig a modellek bemenő adatigényének kielégítése okán megköveteli a megfigyelési módszerek további gyors fejlődését.

DUPress

2. A meteorológiai megfigyelések nemzetközi és hazai szervezeti keretei

2.1. Nemzetközi meteorológiai szervezetek

2.1.1. A Meteorológiai Világszervezet (WMO)

Az 1853-ban Brüsszelben megtartott első nemzetközi meteorológiai konferencia után 20 évvel Bécsben került sor a WMO elődjének, a *Nemzetközi Meteorológiai Szervezetnek* (International Meteorological Organization – IMO) a megalapítására. A szervezet célja a meteorológiai adatok és információk összegyűjtésének és nemzetközi szétosztásának koordinálása volt, ugyanakkor a II. világháborúig a meteorológiai adatgyűjtés, kutatás és szolgáltatások terén a nemzetközi együttműködés kialakításában is elsődleges szerepe volt. Kormányközi jellegét azonban, a meteorológia fokozatosan növekvő szerepe miatt, nem tudta megőrizni.

Jogutódja az 1950. március 23-án alapított *Meteorológiai Világszervezet* (World Meteorological Organization – WMO) lett, amely a következő évtől már az ENSZ szakosított szervezetévé vált. (Később ez a nap lett a *Meteorológiai Világnap*.) Az új kormányközi testület akkori és jelenlegi működési céljai az alábbiakban foglalhatók össze:

- Az egységes, földi méretű és teljes körű meteorológiai és kapcsolódó szakterületekre (hidrológia, geofizika, geokémia, óceanográfia) kiterjedő mérő és megfigyelő rendszer kialakításának és fenntartásának elősegítése.
- A mérések és azok feldolgozásának általánosan elfogadott módszertanának (szabványosításának), a mérési adatok egységes formátumban történő megjelentetésének elősegítése.
- Az operatív hidrológia szakterületével történő együttműködés fejlesztése.
- Az adatok feldolgozását és gyors cseréjét elősegítő rendszerek kialakítása.
- Az alkalmazott meteorológiai tevékenységek támogatása, a társadalmi-gazdasági fejlődés elősegítése a környezetvédelem érdekében.
- Katasztrófavédelem és kármegelőzés.
- Az érintett szakterületeken a kutatás és képzés elősegítése.

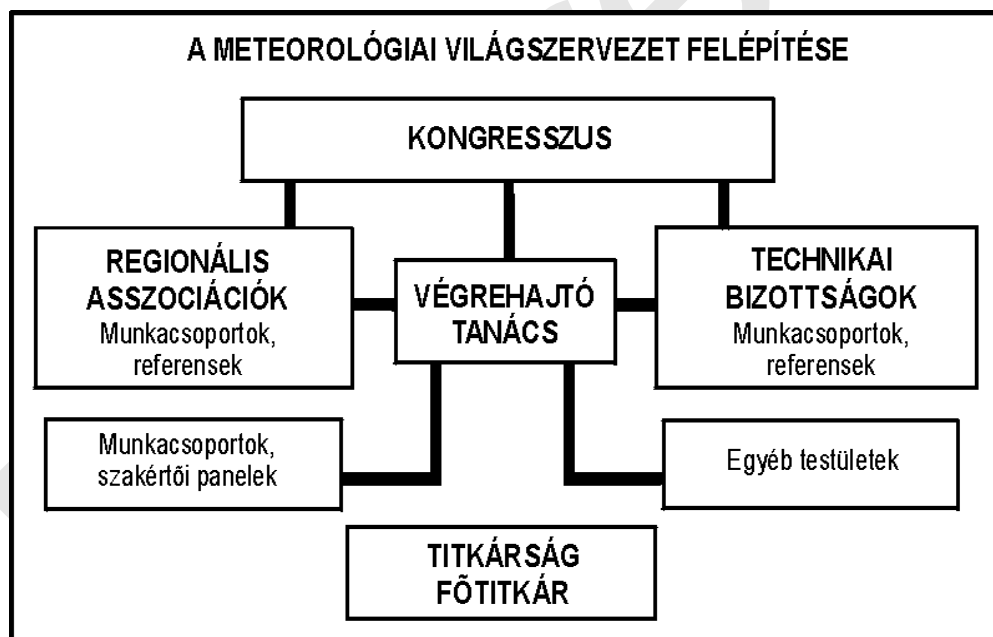
Az ENSZ *speciális szervezete*, amely a meteorológia területén fejti ki tevékenységét. Meteorológia alatt egyaránt érti az időjárás problémáit és az éghajlati kérdéseket, miközben foglalkozik hidrológiával és a geofizika bizonyos területeivel is. Az ENSZ felhatalmazott képviselője a földi légkör viselkedését illető kérdésekben, beleértve a világoceánnal való kölcsönhatást, amely kialakítja az éghajlatot, s hatással van a víz globális eloszlására. A WMO feladatai végrehajtása során együttműködik a nemzeti meteorológiai szolgálatokkal, az akadémiai és egyetemi intéz-

ményekkel, meteorológiai vállalkozásokkal. Ellátja e szervezetek tevékenységének összehangolását – elsősorban a meteorológiában elengedhetetlen adatcserében, a fejlesztési és tudományos kutatási programokban – és érdekképviselését is. Minden ország által elfogadott nemzetközi kapcsolattartási fórum, mely több mint 40 más tudományterülethez tartozó szervezettel írt alá együttműködési megállapodást. Kiterjedt tájékoztatási tevékenységet folytat, közreműködik az oktatásban és képzésben, támogatási rendszert tart fenn a szegényebb tagállamok részére.

A szervezet jelenleg az ENSZ legnagyobb taglétszámmal rendelkező szervezete: napjainkban 181 állam és 6 terület a tagja. A tagság legfontosabb előnye az országok közötti együttműködés lehetősége, ami egyrészt a meteorológiai problémák bonyolultsága, másrészt azok regionális, globális léptéke miatt fontos. A kis tagországoknak ez a közös fejlesztés, képzés és kölcsönös segítségnyújtás fontos a talpon maradás szempontjából.

A WMO jogállása szerint független, kormányközi szervezet, tevékenységét önállóan, önálló költségvetéssel végzi. Működésének alapja a *Konvenció*, mely az alapítás (1950) óta változatlan.

A Meteorológiai Világszervezet szervezeti felépítését a 2.1. ábra mutatja.



2.1. ábra

A Meteorológiai Világszervezet (WMO) szervezeti felépítése

Legfőbb irányító és döntéshozó szervezete a *Kongresszus*, amely négyévente (háromhetes időszakokban) ülésezik. Ülései során választják meg a WMO vezérkárát és a Végrehajtó Bizottság tagjait, ekkor tekintik át a szakbizottságok és regio-

nális asszociációk munkáját, valamint hagyják jóvá a közép- és hosszú távú terveket. A Kongresszus delegátusai a tagországok állandó képviselői a WMO-nál.

A WMO legfőbb választott testülete az évente ülésező *Végrehajtó Bizottság*, amely a két Kongresszus közötti időszakban ügyvezetői funkciót tölt be (határozatokat hoz, ellenőriz). 37 tagja van.

A nyolc *Technikai Bizottság* vezetőit a bizottságok választják. Szakmai súlyuk meghatározó, ajánlásaik képezik a nemzetek meteorológiai együttműködésének alapjait. A bizottságok négyévente üléseznek, ekkor áttekintik szakterületük teljes tevékenységét, továbbá munkacsoportokat, projekteket hoznak létre.

A hat *Regionális Asszociáció* is négyévente ülésezik. Tagjait az adott régió szervezetei alkotják. Tevékenységük a regionális együttműködések fejlesztését, valamint a Kongresszus és a Végrehajtó Bizottság döntéseinek az adott régióban történő megvalósítását foglalja magában.

A WMO egyetlen professzionális szervezete a *Titkárság*, melynek élén a Kongresszus által választott *főtitkár* áll. Lényegében ő nevezi ki a testület többi tagját. A Titkárság 264 fős létszámmal dolgozik Genfben.

A Meteorológiai Világszervezet számos *programot* működtet, melyek témái jól tükrözik a szervezet diverz, az időjáráshoz, éghajlathoz és a vízhez kapcsolódó érdeklődési körét: globális légkörfigyelés, klímakutatás, időjárás szolgálatok, felhőfizika és felhőkémia, agrometeorológia, trópusi ciklonok, az Antarktisz, oktatás és képzés, a megfigyelések eszközei és módszerei, éghajlati adatgyűjtés és monitoring, műholdas tevékenységek stb. Munkája jelenleg 10 nagyobb szakmai és tudományos program köré csoportosul. Az ezekben való részvétel a tagok számára biztosítja, hogy a meteorológiai és egyéb szolgáltatásokhoz lényegesen alacsonyabb áron jussanak hozzá, mintha az adott feladatot egyedül kívánnák megvalósítani.

Programjain keresztül a WMO, az időben pontos és akkurátus meteorológiai és hidrológiai információk által igyekszik hozzájárulni az egyes nemzetek gazdasági és társadalmi jólétéhez. Ide sorolható a vízkészletekkel való fenntarthatóbb gazdálkodás elősegítése, a meteorológiai adatok nemzeti tervezésben való felhasználása, az üvegházgázok, aeroszolok és más légszennyező anyagok monitoringja, a távérzékelés és más új eljárások felhasználása a mezőgazdaságban, a különböző időjárási katasztrófák hatékonyabb előrejelzése. Az új technológiák (műholdas adatgyűjtés, informatika, Internet) által kínált határtalan lehetőségek kihasználásával lehetőség nyílik az egyes programok fejlesztésére és hatékonyabbá tételére.

A Meteorológiai Világszervezet a 21. század fordulóján számos kihívással szembesül. Ezek részben belső (személyi) problémák, részben pedig az elmúlt évtizedek intenzív, politikai, társadalmi-gazdasági, technikai és tudományos területen bekövetkezett változásokból erednek.

Az ötvenévesnél idősebb Konvenció sok tekintetben túlhaladottá vált, a szervezet szakmai felelősségi köre beszűkült, képviseleti súlya csökkent. Óriási szakadék van a tagországok tudásában, anyagi lehetőségeiben és szakmai tevékenységében, de ugyanúgy óriási eltérés mutatkozik az egyes tagországok motiváltságában,

működésében és finanszírozásában. Teljesen új helyzetet teremtett a különböző meteorológiai vállalkozások erőteljes fejlődése, fellépése. A nemzetközi adatcsere kiegyenlítetlen. Az adatpolitikai problémákat a meteorológiai információk üzleti értéke váltja ki. Az értékesítő szervezetek, többségében vállalkozások, nem arányosan vesznek részt az infrastruktúra fenntartásában. A haszon viszont náluk jelentkezik.

A szervezet 1996 és 2005 közötti időszakra vonatkozó fő *célkitűzései* ezen problémákra igyekeznek megoldást találni, felölelve a nemzeti és nemzetközi meteorológiai és hidrológiai szolgálatok, a tágabb értelemben vett ágazatok és ügyek biztosítását és kiemelését, az alábbiak tekintetében:

- globális megfigyelések: a globális és regionális programok hatékony integrálása; a nemzeti meteorológiai és hidrológiai szolgálatok között a megfigyelések korlátlan és ingyenes cseréje,
- közszolgálatok: a korszerű előrejelzések hozzájárulnak az időjárás okozta katasztrófák társadalmi-gazdasági hatásainak mérsékléséhez,
- specializált meteorológiai és hidrológiai szolgáltatások, úgymint a sajátos igényeknek való megfelelés biztosítása, különös tekintettel a földhasználatra, élelmiszer-biztosításra, a szállítási biztonságra, az energiatermelésre és -használatra,
- környezeti minőség: a megfelelő monitoringhoz és kutatáshoz történő hozzájárulás, a légkört károsító folyamatok hatékonyabb megértése és megfigyelése érdekében,
- a fenntartható fejlődéshez való hozzájárulás,
- kereskedelmi tevékenységek: harmonikus kapcsolat kiépítése a köz- és magánszektor között.

2.1.2. A nemzetközi meteorológiai szervezetek struktúrája

A meteorológiai szervezetek világméretű struktúráját három *alrendszer* – Globális Megfigyelő Rendszer, Globális Távközlő Rendszer és Globális Adatfeldolgozó Rendszer – alkotja, ezek gerince a Meteorológiai Világszervezet. Mindhárom alrendszer három szinttel (globális, regionális és nemzeti) rendelkezik.

A nemzetközi adatforgalom csúcán három *világközpont* (Melbourne, Moszkva és Washington) áll, amelyek a légkör globális folyamatainak figyelemmel kíséréséhez szükséges válogatott adatanyagot dolgozzák fel. Egy fokkal korlátozottabb a regionális központok hatásköre, melyek egy-egy „meteorológiai régió” (melyen belül több központ is működik) időjárási folyamatait tekintik át. A fentiekén kívül az egyes országok *nemzeti meteorológiai központjai* ellátják az adott ország társadalmi-gazdasági szükségleteiből fakadó meteorológiai feladatokat.

A különböző szintű központok közötti együttműködés általános rendszere a következőkben foglalható össze. A nemzeti meteorológiai szolgálatok távközlő központjai összegyűjtik a saját megfigyelő hálózatuk adatait és azokat a meghatá-

rozott időpontokban továbbítják a magasabb szintű központok felé. Ezek a beérkező adatok alapján globális, illetve hemiszférikus méretekben elemzik a légköri folyamatokat, és elkészítik e folyamatok nagy léptékű prognózisait. Végül az így kidolgozott analíziseket és prognózisokat szétküldik az érdekelt nemzeti központok számára, amelyek ezeket a nagytérségi és a helyi célok szempontjából általában nem eléggé részletes analíziseket és előrejelzéseket segédanyagként használják fel a megfelelő részletességű prognosztikus térképek kidolgozásához és a konkrét helyi előrejelzések megfogalmazásához.

A globális modellek megfelelő pontossággal írják le egy-egy nagyobb régió (például az észak-atlanti-európai térség) olyan nagyléptékű időjárás-folyamatait, mint a frontok átvonulása és a ciklonok keletkezése, kevésbé pontosan jellemzik azonban kisebb térségek (például a Kárpát-medence) egyes vidékeinek időjárását. Az ennek érdekében jelentkező feladatok megoldására és a modellek továbbfejlesztésére a legfejlettebb számítástechnikával felszerelt előrejelző központok alakultak – eleinte a Meteorológiai Világszervezet keretein belül, az utóbbi évtizedben azonban egyre inkább nemzetközi gazdasági társulások keretében, tehát kereskedelmi alapon.

2.1.3. Az Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ

Ilyen a Readingben felépült *Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ* (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) is, amelyet ma 17 európai ország működtet. (Readingben található egyébként az angol meteorológusképzés központja is.) A központ operatív előrejelző szolgálatként működik, 4-10 napos előrejelzéseket készít az egész világról, de emellett számos kísérlet színhelye is. 1994 óta jelentős összegű tagdíj befizetése révén Magyarország is hozzájut a Központ produktumaihoz, azaz megkapja az időjárás-előrejelzési térképeket. E térképek számítógépes modellek által számított adatok alapján készülnek.

A több napra szóló előrejelzéshez az északi félgömb minden tájáról szükségesek az adatok, és a számítások olyan nagyteljesítményű számítógépet igényelnek, melynek működtetése egyetlen ország számára nem gazdaságos. A modellek felbontása mintegy 60 km-es, ami az előrejelzett adatok térbeli sűrűségére vonatkozik. Ha térben részletesebb előrejelzést akarunk készíteni, ami egyben feltétele annak is, hogy az időjárás-események bekövetkezésének időbeliségét pontosítani lehessen, akkor a nagytérségi modell eredményeire támaszkodva, és a sűrűbb állomáshálózat adataira építve ún. beágyazott modelleket kell alkalmazni.

2.2. Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ)

2.2.1. Az OMSZ rövid története

Magyarországon az állandó műszeres megfigyelések a 18. században kezdődtek el. A magyarországi állomáshálózat kiépítése a 19. század közepén zajlott le (bővebben lásd „A meteorológiai megfigyelések története” c. fejezetben).

Magyarországon 1870-ben alakult meg a meteorológiai intézet Magyar Királyi Földdeleljességi és Meteorológiai Központi Intézet néven. (Elődjének a 20 évvel korábban Bécsben létrehozott osztrák intézetet tekinthetjük, mivel annak nemcsak szervezeti struktúráját, hanem a magyarországi állomásait is átvette.)

A meteorológiai megfigyelő hálózatban az I. világháborút követő határváltoztatások jelentős (anyagi és humán) veszteséget eredményeztek. A hálózat újraszervezését követően a szervezet az újabb háborús konfliktus, valamint az adathiány következtében csak nehezen tudta ellátni feladatait. A magyarországi harcok ideje alatt Debrecenben 1945. február 3-án a szövetségesek fennhatósága alá tartozó területeken Berényi Dénes irányításával megindult a meteorológiai megfigyelések újjászervezése. 1945. március 29-én Réthly Antal újra átvette a szervezet vezetését, és 1945. május végén már a budapesti intézet gyűjtötte az adatokat.

Miután az intézetből 1950-ben kivált a földmágnességgel foglalkozó részleg, a szervezet Dés Frigyes vezetésével felvette a Magyar Meteorológiai Intézet (OMI) nevet.

1970-ben (az intézet centenáriumi évében) nemcsak névváltoztatást hajtottak végre, hanem jelentős változtatások is történtek a szervezet struktúrájában. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) keretein belül három intézetet hoztak létre: Központi Meteorológiai Intézet, Központi Előrejelző Intézet, Központi Légkörfizikai Intézet. (Az így létrejött decentralizált szervezet olyan szervezési nehézségeket is eredményezett, melyre hathatós megoldását az intézet máig sem talált.)

A rendszerváltozás gazdasági szempontból jelentős változásokat eredményezett a szolgálat életében. Az intézet gazdálkodási egyensúlya érdekében a szervezeti változtatások mellett radikális létszámcsoökkentésre, valamint számos OMSZ ingatlan bérbeadására, ill. értékesítésére került sor.

Bár az elmúlt 16 évben jelentős műszaki fejlesztéseket hajtottak végre és jelentős kutatási sikereket értek el, az intézmény nehézkes szervezeti struktúraátalakítását még nem sikerült végrehajtani.

2.2.2. Az OMSZ feladatai, szervezeti felépítése, tevékenységei

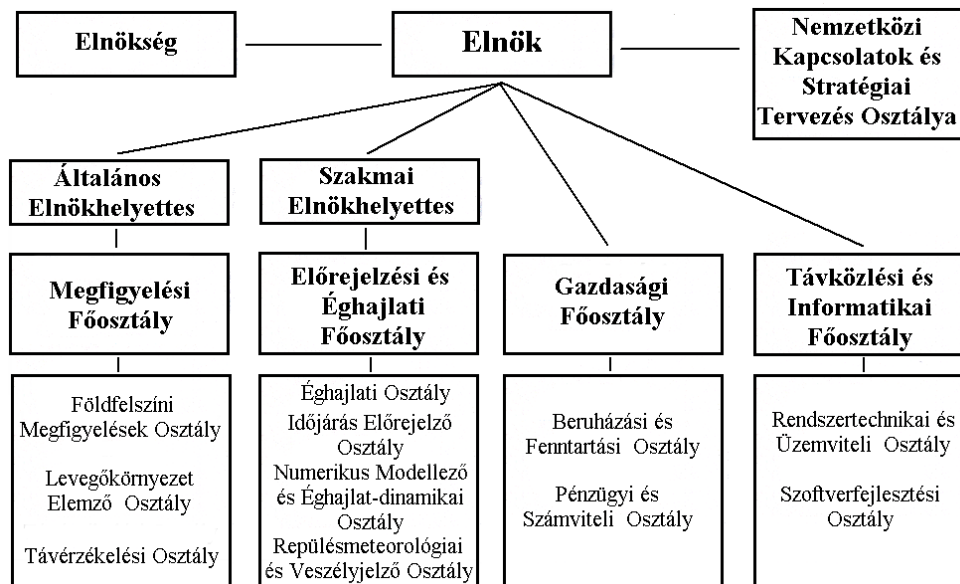
Az Országos Meteorológiai Szolgálat a levegőkörnyezettel és a meteorológiával kapcsolatos kormányzati feladatok ellátásáért felelős, Magyarország területére kiterjedő tevékenységet folytató központi költségvetési szerv. Az OMSZ nemzeti szolgálatként képviseli hazánkat a nemzetközi meteorológiai szervezeteknél.

A szolgálatnak annak érdekében, hogy a légkörben lezajló folyamatok és jelenségek feltárásával a légkör múlt, jelen és várható jövőbeni állapotáról hiteles, szak-szerű és széleskörű tájékoztatást tudjon adni, a következő feladatokat kell ellátnia:

- meteorológiai és levegőkörnyezeti mérő- és megfigyelő rendszer működtetése,
- informatikai rendszer működtetése, a megfigyelési adatok gyűjtése, ellenőrzése, feldolgozása és rendszerezése, az adatok nemzetközi cseréje,
- időjárás-előrejelzések és éghajlati feldolgozások, elemzések készítése,
- meteorológiai információk szolgáltatása a nagyközönség, a média, az állami és a gazdasági/üzleti szféra számára (folyamatos szolgáltatásfejlesztés),
- a meteorológiával kapcsolatos kutató- és fejlesztőmunka,
- részvétel a társ- és határtudományok kutatásaiban,
- együttműködés a nemzetközi meteorológiai szervezetekkel.

2.2.3. Az OMSZ szervezeti egységei és tevékenységük

A 90-es évek elején a radikális gazdasági intézkedések bevezetése mellett megkezdődött a szervezeti struktúra átalakítása is. A jelenleg fennálló szervezeti forma – a szinte évenkénti átszervezések következtében – nem tekinthető véglegesnek. A közeljövőben bevezetésre kerülő újabb gazdasági intézkedések várhatóan jelentős változtatásokat eredményeznek majd a személyi állomány létszámában és a szervezeti struktúrában.



2.2. ábra
Az OMSZ szervezeti felépítése 2006-ban

A tudományos és civil szféra igényeit jelenleg a két főosztályhoz tartozó hét osztály elégíti ki maradéktalanul (2.2. ábra).

A *Megfigyelési Főosztály* alá tartozó egységek fontosabb feladatai:

- az OMSZ meteorológiai megfigyelőállomásainak és obszervatóriumainak fenntartása és üzemeltetése, a mért adatok továbbítása a belső és külső felhasználók, valamint a központi adatarchívum számára;
- a meteorológiai műszerek, automata berendezések rendszeres karbantartása, ellenőrzése, az érzékelők kalibrálása, a mérési eszközök és módszerek korszerűsítése, módszertani fejlesztések végzése;
- a WMO globális megfigyelő rendszere keretében a rádiószondás magaslégköri állapotmérések végzése;
- radarmeteorológiai mérések és feldolgozásuk végrehajtása;
- a Szolgálatnál folyó regionális háttér-légszennyezettség monitoringtevékenység és az ezzel kapcsolatos levegőkémia laboratórium üzemeltetése;
- a Meteorológiai Világszervezet globális megfigyelő rendszerében (GOS) a nemzetközi előírásoknak és a hazai igényeknek megfelelően rendszeres földfelszíni meteorológiai megfigyelések és levegőkörnyezeti mérések elvégzése;
- műholdvevő berendezések üzemeltetése, a meteorológiai műholdak adatainak folyamatos vétele.

Az *Előrejelzési és Éghajlati Főosztály* alá tartozó legfontosabb feladatok:

- ultrarövid, rövid, közép és hosszú távú előrejelzések készítése;

- speciális előrejelzések készítése (repülésmeteorológiai, agrometeorológiai, orvosmeteorológiai, szmog stb.);
- a nyári időszakban balatoni és velencei-tavi viharjelzések készítése, valamint a siófoki meteorológiai főállomás és regionális központ feladatainak az ellátása;
- éghajlati tanulmányok, elemzések, hatástanulmányok készítése;
- tömegtájékoztatás, TV-stúdió működtetése.

2.3. A meteorológiai megfigyelő-hálózat állomásai

A meteorológiai megfigyelőállomások olyan létesítmények, amelyeknek területén, vagy arról kiindulva bármiféle közvetlen (műszeres vagy vizuális) követő vagy távvezérlő módszerrel operatív, illetőleg kutatási célú meteorológiai megfigyeléseket végeznek. A megfigyelőállomások együttesen hálózatot képeznek, amely értelmezhető egyes meteorológiai elemek megfigyelésére vagy az adott állomástípusok összességére. Ennek megfelelően az egyes országok meteorológiai megfigyelő-hálózata többféle hálózat együttesének tekinthető. Természetesen több állomástípus programját párhuzamosan végző állomások egyidejűleg több hálózatnak is alkotóelemei.

2.3.1. A WMO állomásosztályozási rendszere

A Meteorológiai Világszervezet az egyes országok területén működő meteorológiai állomásokat a megfigyelés célja szerint osztályozza.

Szinoptikus állomások: Az ilyen állomásokon az időjárás előrejelzésének céljait szolgáló korrigált világidőben (korábban greenwichi középidejűben) kifejezve szigorúan egyidejű megfigyeléseket végeznek, amelyek lehetővé teszik az időjárás folyamatainak területi áttekintését. E megfigyelések adatait térképre rajzolva szinte pillanatfelvételszerűen mutatják be az észlelés időpontjában fennálló időjárási helyzetet. A szinoptikus állomásokon ún. földfelszíni és/vagy magaslégköri szinoptikus megfigyeléseket végeznek.

A földfelszíni szinoptikus megfigyelések az állomás közvetlen környezetében végzett műszeres mérésekből és az állomás területéről végrehajtott vizuális megfigyelésekből állnak, és általában a következő elemekre terjednek ki: jelenlegi időjárás, elmúlt időjárás, szélirány és szélsébség, felhőzet mennyisége, felhőfajta, felhőalap magassága, felhők vonulási iránya, látástávolság, hőmérséklet, légnedvesség, légnyomás, légnyomás-tendencia, légnyomás-tendencia típusa, globálsugárzás, napfénytartam, extrém (maximum, és minimum), hőmérsékletek csapadékmennyiség, hórétegvastagság, talajállapot, különleges jelenségek.

A magaslégköri szinoptikus megfigyelések feladata általában a magassági szél irányának és sebességének radarral történő meghatározása, valamint a légnyomás és a hőmérséklet rádiószondás meghatározása.

Éghajlatkutató állomások: Az éghajlatkutatás céljait szolgáló megfigyelőhelyek, melyeknek műszerezettség és megfigyelési programjai igen eltérőek lehetnek. Az egyes állomásokon naponta 24 alkalommal tíznél több meteorológiai elemet vizsgálnak, míg a legkisebbeken naponta csak egy alkalommal mérik a csapadék mennyiségét. Az éghajlatkutató állomások esetében általános követelmény, hogy a mérések legalább egy, de lehetőleg tíz évnél hosszabb ideig elfogadhatóan, egységes körülmények között folyjanak.

Az éghajlatkutató állomások megfigyelési programjai a következő elemek észlelésére terjednek ki: jelenlegi időjárás, szélirány és szélesség, felhőzet mennyisége, felhőfajta, felhőalap magassága, látástávolság, hőmérséklet (maximum, minimum), légnedvesség, légnyomás, csapadékmennyiség, hótakaró-vastagság, napsütés (napfénytartam, teljes sugárzás), felszíni, és talajhőmérséklet.

Agrometeorológiai állomások: Különböző rendeltetésű mezőgazdasági kutatóintézetekkel együttműködve dolgoznak. Programjuk a hő- és vízháztartás komponenseinek mérésén kívül kultúr,- és vadnövényfenológiai megfigyeléseket, valamint egyéb különleges feladatokat is tartalmazhat.

Magyarországon a 90-es évek elejéig négy agrometeorológiai állomás működött (Martonvásáron, Kecskeméten, Keszthelyen, Szarvason). A kutatóintézetek fenntartását az OMSZ anyagi nehézségei miatt nem vállalta tovább, ezért részben megszűntek, illetve más intézetek kezelésébe kerültek.

Repülésmeteorológiai állomások: Az utas és áruforgalmi, mezőgazdasági stb. rendeltetésű repülőtereken létesített meteorológiai megfigyelőhelyek, amelyek a repülés biztonságát szolgálják.

Különleges rendeltetésű állomások: A fent említett tevékenységektől gyakran teljesen eltérő feladatokat látnak el. Egyesek radarmeteorológiai-, ózon-, zúzmaraméréseket végeznek, mások profilja a meteorológiai műholdak követése és az általuk továbbított felhőképek, valamint infravörös sugárzási adatok fogadása.

A különleges feladatokat végző állomások közül mindenképp meg kell említenünk az 1976-ban Baranya megyében (a Tenkes-hegyen), majd a sikereken felbuzdulva 1984-ben Bács-Kiskun megyében létesített jégeső-elhárító rendszert. Az OMSZ 1990-es gazdasági átszervezése során mindkét eredményesen működő jégeső-elhárító rendszert anyagi nehézségek miatt felszámolták.

A fent részletezett osztályozási rendszer semmiképp nem jelent zárt kategóriákat, sőt egy adott megfigyelőhely egyszerre több állomástípusnak is megfeleltethető. Például a szinoptikus állomások minden esetben éghajlatkutató állomások is, és sok esetben hajtanak végre olyan bővített programot, amely révén az agrometeorológiai, repülésmeteorológiai vagy akár a különleges rendeltetésű állomások közé is besorolhatók.

2.3.2. Az OMSZ állomásminősítési rendszere

A 2.3.1. alfejezetben bemutatott nemzetközi állomásosztályozási rendszer mellett az OMSZ kialakított egy állomásminősítési rendszert, amelynek alapján az állomásokat a következő két csoportba sorolta:

Meteorológiai főállomások: A gyakorlati vonatkozású és kutatási célú szinoptikus és éghajlati megfigyeléseket szakképzett, főhivatású észlelők végzik. A meteorológiai főállomások értelemszerűen egyidejűleg szinoptikus főállomásoknak és éghajlatkutató főállomásoknak tekintendők.

Meteorológiai állomások: Azok a megfigyelőhelyeket jelenti, amelyek nem tartoznak a szinoptikus állomások közé, de a nemzetközi állomásosztályozás során említett bármely más kategóriába besorolhatók. Ezen állomások műszerezettségük (mérési programjuknak megfelelően) gyengébb, mint a meteorológiai főállomásoké, valamint a megfigyeléseket nem főhivatású, hanem mellékfoglalkozású észlelők végzik.

Az éghajlatkutatás céljait szolgáló hazai állomásokat műszerezettségük és funkcióik szerint a következő sorrendben különböztetjük meg: éghajlatkutató (egyben szinoptikus) főállomások, éghajlatkutató (klíma)állomások, csapadékmérő állomások.

A létesítmény műszerezettségének mértékétől, valamint a megfigyelés programjától függően bizonyos megfigyelőhelyek *obszervatórium* megkülönböztető elnevezést kapnak. Nem szükségszerű, hogy minden obszervatórium egyben főállomás is legyen. Azok az obszervatóriumok, amelyek részfeladatként a főállomások alapvető funkcióit is ellátják, a felsorolásokban és nyilvántartásokban az obszervatóriumok és főállomások között egyaránt szerepelnek.

A fentiekén kívül a hazai gyakorlatban használatos még a nemzetközi definíciónak megfelelően az agrometeorológiai, a repülésmeteorológiai, valamint a különleges rendeltetésű állomások elnevezés is.

Az egyes állomások helye a kialakított minősítési rendszerben nem igazán változik (mindössze új állomásokkal bővül a hálózat, amikor az anyagi erőforrások ezt lehetővé teszik). Azonban az utóbbi 10–13 évben állomások műszerezettségét tekintve jelentős változások következtek be, amelyet az automata állomások megjelenése és széleskörű elterjedése okozott, (bővebben lásd „Az automata meteorológiai állomások” c. fejezetben). Az automata szenzorok mellett a hagyományos műszerek (a velük végzett ellenőrző mérések révén) továbbra is fontos feladatot látnak el a főállomásokon. A hivatalos észlelési időpontokban leolvassák az adatokat, elvégzik a vizuális megfigyeléseket, majd az automatákból származó adatokkal együtt továbbítják a központ felé.

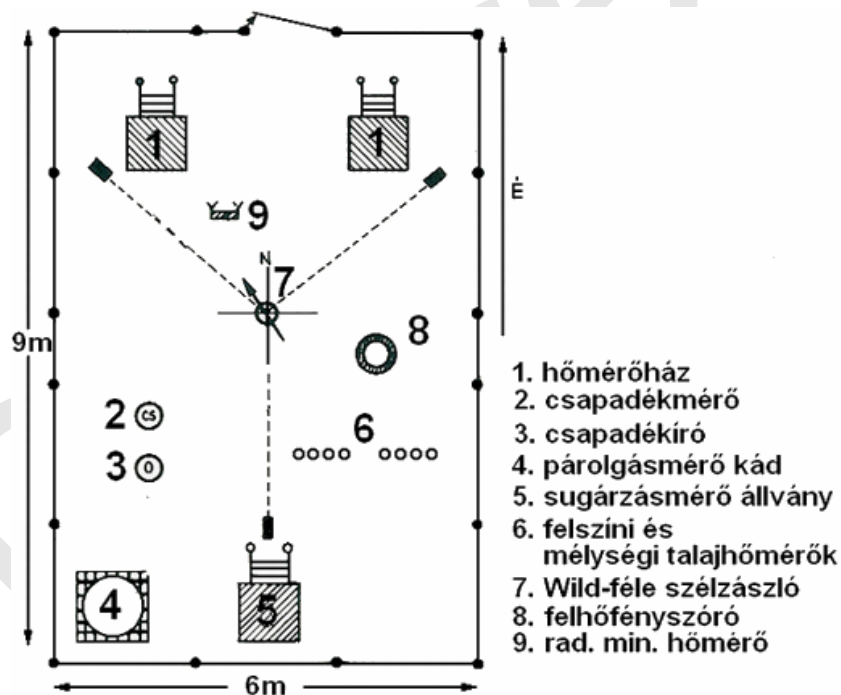
2.3.3. A meteorológiai műszerkert és a megfigyelési időpontok

2.3.3.1. A meteorológiai műszerkert

Mivel a meteorológiai megfigyelések eredményeire hatást gyakorolnak a mérés körülményei, ezért a különböző állomásokon végzett észlelések összehasonlíthatósága érdekében szabványosították a műszerek elhelyezését.

A műszerkert (2.3. ábra) 6 m x 9 m nagyságú területen, fáktól, épületektől és egyéb zavaró tereptárgyaktól távol helyezkedik el. Az állomást a zavartalan működés érdekében (általában nagyszemű dróthálóval) körülkerítik.

Törekedni kell arra, hogy a műszerkert környezete az állomás tágabb környezetéhez hasonló legyen, és lehetőleg minél nagyobb területre vonatkozólag szolgáltatson reprezentatív adatokat. A klímaállomások telepítése során figyelembe kell venni a fent említettek mellett a terület tulajdoni viszonyait is, hogy a klímaállomás mérési programjának megfelelően akár évtizedeken keresztül is képes legyen a megfigyeléseket zavartalanul folytatni.



2.3. ábra

A meteorológiai főállomások és állomások műszerkertjének vázlata
(forrás: Horváth–Kapovits–Weingartner 1987)

A műszerkert tengerszint feletti magasságát pontosan meg kell határozni a szükséges magassági korrekciók végrehajtása miatt. Az egyenetlen területeken a hőmérőház körül elképzelt 20 m sugarú kör átlagos magasságát jelöljük meg. Az így kapott vonatkozási pontunk tengerszint feletti magassága adja az állomás tengerszint feletti magasságát. Az egyes műszerekre vonatkozó tenger- és talajszint feletti magasságokat a vonatkozási pont segítségével lehet meghatározni.

2.3.3.2. A megfigyelések időpontjai

Az egyes megfigyelések megkezdésének és az adatok továbbításának időpontjaira vonatkozó utalások biztosítják, hogy az állomások programjában szereplő megfigyelési és jelentésösszeállítási feladatok végrehajtásához elegendő idő álljon rendelkezésre. A szinoptikus állomások esetében a rádiós adatgyűjtés összehangolt végzése érdekében minden állomás részére külön utasítás adja meg az észlelések és az adatgyűjtések hivatalos időpontját.

Az észlelések hivatalos időpontjai azok az időpontok, amikor az egyes állomások a megfigyeléseket végrehajtják. Az észlelések megkezdésének a földfelszíni szinoptikus állomások esetében a barométer leolvasásának, míg a magaslégköri szinoptikus állomás esetében a rádiószonda felbocsátásának időpontját értjük.

Az adatgyűjtés hivatalos időpontjai azok az időpontok, amikor az észlelések alapján összeállított jelentéseket az egyes állomásokról a központi intézetnek továbbítják.

A nemzetközi megállapodás alapján rögzített és a WMO által a korrigált világidőben (*UTC – Universal Time Corrected*) előírt észlelési időpontok:

- Földfelszíni szinoptikus állomásokon:
 - főterminusok: 00.00, 06.00, 12.00, 18.00 UTC
 - mellékterminusok: 03.00, 09.00, 15.00, 21.00 UTC
- Magaslégköri szinoptikus állomásokon:
 - napi 4 rádiószonda-felszállás esetében megegyezik a földfelszíni szinoptikus állomások főterminusaival
 - napi két felszállás esetében 00.00 és 12.00 UTC

A WMO javaslatára az egyes országok a szinoptikus és az éghajlatkutató megfigyelési program időpontjait – ahol lehet – összehangolják. Magyarországon 1966 január 1-től egységes észlelési időpontokat léptettek életbe. A rendelkezés szerint az éghajlati megfigyelések a szinoptikus észlelések fő terminusaiban, illetőleg az ahhoz tartozó hivatalos észlelési időpontokban történnek. A Magyarországon is használatos közép-európai zónaidőben kifejezett időpontok a következők:

- $06^h 45$, $12^h 45$, $18^h 45$, $00^h 45$

A közép-európai zónaidő (*MEZ – Middle European Zonal Time*) a 15° -os (megközelítőleg Prága felett áthaladó) délkör középideje. Azt a zónát, amelyre ez az időszámítás érvényes, a $7^\circ 30'$ -es és a $22^\circ 30'$ -es délkörök fogják közre. Ezt az időszámítást azonban nemcsak a közép-európai országok használják, hanem több nyugat-európai ország is annak ellenére, hogy néhányuk területe kívül esik e zóna határán.

A naponta csak egy megfigyelést végző csapadékmérő állomások részére előírt észlelési időpont 06^h 45.

DUPress

3. A napsugárzás mérése

3.1. A napsugárzás fizikai jellemzői

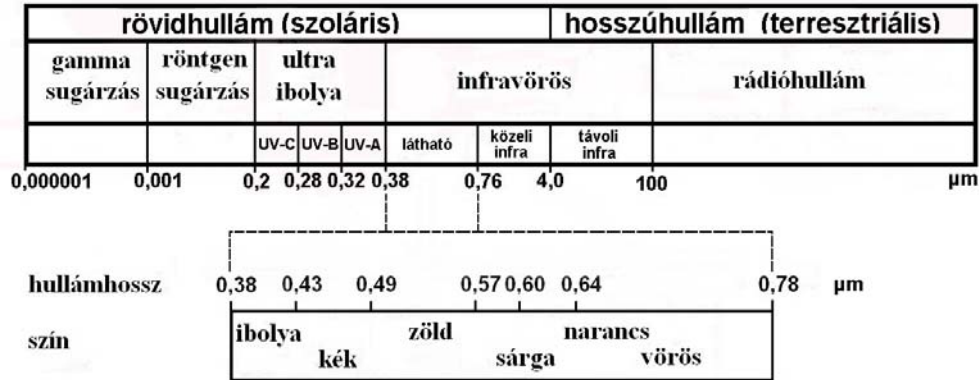
A sugárzás az energiaátadás egyik módja. Minden test, amelynek hőmérséklete nagyobb, mint 0 K (Kelvin), elektromágneses hullámokat bocsát ki és nyel el, miközben saját tömegének és energiájának egy része sugárzási energiává alakul.

A Naptól a földfelszínre érkező sugárzás kisebbik hányadát az anyagi természetű ún. korpuszkuláris sugárzás (protonok, elektronok, ionizált hélium) teszi ki, ami nem éri el a Föld felszínét, mert a légkörbe jutva (többnyire a termoszférában) elnyelődik, és ionizációs folyamatokat tart fenn (sarki fény, zavarok a rádióhullámok terjedésében).

A földi élet számára létfontosságú energiamennyiség elektromágneses hullámok formájában érkezik. Ezek a hullámok a tér minden irányában közvetítő közeg nélkül, tehát a vákuumban is terjednek. A sugárzási energia csak anyagi részecskék jelenlétében alakul át hőenergiává. Az elektromágneses hullám a hullámhosszal, a periódusidővel és a terjedési sebességgel jellemezhető, s ez utóbbi a fény terjedési sebességével egyezik meg (vákuumban 300 000 km/s). A maximális energiát szállító sugárzás hullámhossza a rövidebb vagy hosszabb hullámhossztartományokba a sugárzó test hőmérséklete alapján tolódik el (Wien-törvény).

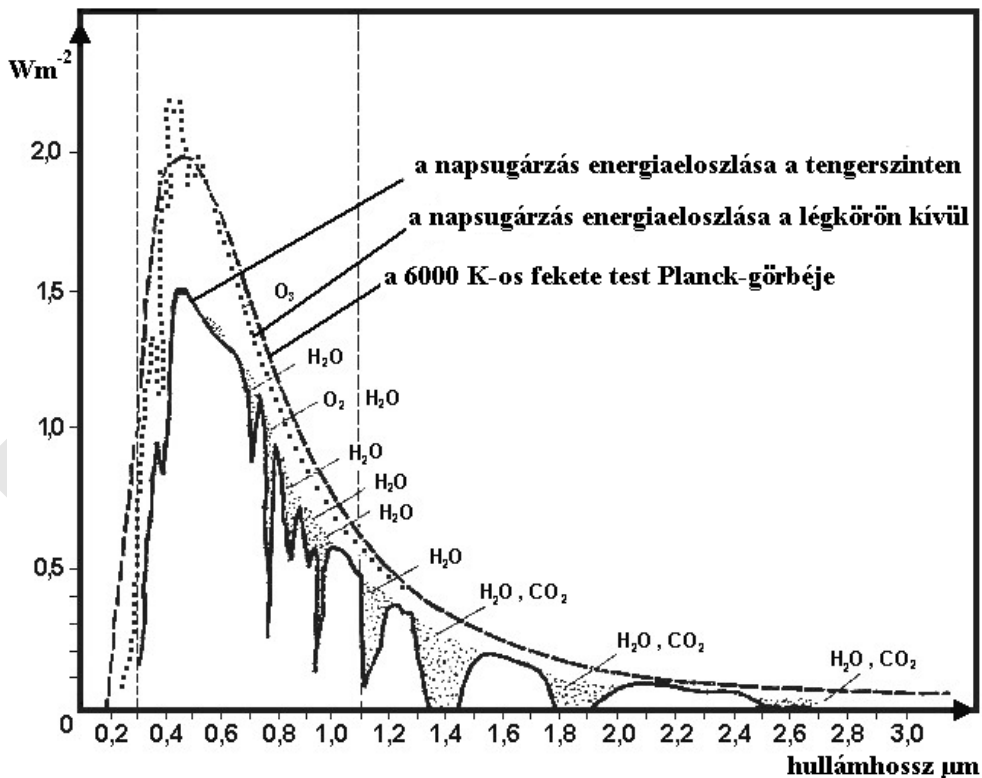
Az elektromágneses sugárzásnak nagyon széles a spektruma, gyakorlatilag 10^{-9} μm -tól 10^9 μm -ig terjed, ennek a 10^{-1} μm és a 10^2 μm közé eső része (ultraibolya sugárzás, látható fény és az infravörös tartomány) meteorológiai szempontból különösen fontos (3.1. ábra).

A *Naptól jövő* (szoláris) sugárzást *rövidhullámú sugárzásnak* nevezzük. Az általa szállított energia több mint 99%-a a Föld felszínén a 0.29–4.0 μm közötti hullámhossztartományba esik. A *földi sugárzás*, azaz a földfelszín és a légkör által kibocsátott (terresztriális) sugárzást a meteorológiában *hosszúhullámú sugárzásnak* nevezzük.



3.1. ábra
Az elektromágneses spektrum meteorológiai felosztása

A napsugárzás a légkörön való áthaladásakor számos módosulást és veszteséget szenved, ennek megfelelően jelentős eltérés mutatkozik a légkör külső határán, illetve a földfelszínen mért mennyiségek között (3.2. ábra).



3.2. ábra
A nap sugárzási energiaspektruma

A földfelszín közelében (szemben a légkör felső határával) a legtöbb energiát a nagyobb hullámhosszok szállítják, mert a légkörön való áthaladáskor a rövidebb tartományokban több az energiaveszteség. Alacsony napállásnál a napsugarak légkörben megtett útja megnő, ezáltal még inkább csökken a rövidhullám által közvetített energia mennyisége. A spektrumból hiányoznak a 0,3 μm -nél rövidebb hullámok, mert a sztratoszférában kialakult ózonréteg ezeket a sugarakat (a röntgensugarak egészét és az ultraibolya sugarak jelentős részét) elnyeli. A sugárzási energiaspektrum nem sima lefutású (amint a 2. ábrán is jól látható), hanem bizonyos hullámhosszoknál ún. *elnyelési sávok* figyelhetők meg. A jelentősebb veszteségek az infravörös tartományba esnek, mivel az ottani jellegzetes elnyelési sávokat túlnyomórészt a légkörben található vízgőz és szén-dioxid okozza.

Az elnyelésen kívül jelentős veszteségeket okoz a *szóródás* vagy diffúzió és a *visszaverődés* vagy reflexió. Az előbbi jelenség olyan részecskéken következik be, amelyek átmérője kisebb, míg az utóbbi olyan testeken jön létre, amelyek átmérője nagyobb, mint a ráeső hullámhossz nagysága.

A következőkben felsorolandó meteorológiai sugárzási fogalmak sugárzási áramsűrűséget jelentenek.

Globálsugárzás: a vízszintes síkra a felső légtérből érkező összes rövidhullámú sugárzás.

Diffúz sugárzás: a vízszintes síkra a felső légtérből érkező összes rövidhullámú sugárzás, kivéve a Nap korongjának térszögét. A diffúz sugárzást *szórt sugárzásnak* nevezzük, de előfordul az *égboltsugárzás* kifejezés is.

Direkt sugárzás: a Nap korongjának térszögéből a Nap irányára merőlegesen álló felületre belépő rövidhullámú sugárzás. *Közvetlen sugárzásnak* nevezzük.

Reflex sugárzás: a vízszintes síkra az alsó féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás. *Visszavert sugárzásnak* is nevezzük.

Rövidhullámú sugárzási egyenleg: a globálsugárzás és a reflexsugárzás különbsége.

Légköri visszasugárzás: a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes hosszuhullámú sugárzás. Az elnevezés arra utal, hogy a légkör a felszíntől kapott energiája egy részét visszasugározza a felszín felé.

Kisugárzás: a vízszintes síkra az alsó féltérből érkező összes hosszuhullámú sugárzás.

Hosszuhullámú sugárzási egyenleg: a légköri visszasugárzás és a kisugárzás különbsége.

Sugárzási egyenleg: a rövid és hosszuhullámú sugárzási egyenlegek összege.

Az eltérő típusú sugárzási paraméterek mérésére alkalmas mérőeszközök köre folyamatosan bővült.

3.2. A sugárzásmérések jelentősége, fontossága

A sugárzás (azon túl, hogy a földi élet számára alapvető fontosságú) több szempontból is az egyik leginkább vizsgált meteorológiai elem. Mivel egy adott hely klímájában objektív adottság, a sugárzási adatok *a globális klímaváltozást előrejelző modellek bemenő paraméterei*. Emellett a sugárzás (direkt vagy indirekt) módon az egyik legjelentősebb *megújuló energiaforrás*, ezért kutatása és jelentősége a jövőben még inkább fontossá válik. Ezen túl a sugárzással kapcsolatos ismeretek a műholdas mérések felszíni verifikálásához (ellenőrzéséhez) elengedhetetlenek. A spektrális intenzitásmérések pedig információt adnak a különböző hullámhossztartományokban az elnyelő légköri anyagok koncentrációjáról (például légköri ózszózon, SO₂, aeroszol optikai mélység stb.).

A sugárzásmérés célja a felületegységre eső elektromágneses hullámok által szállított energiamentiség meghatározása. A mérés elve, hogy az érzékelők által elnyelt elektromágneses hullámok hatására létrejövő jelenségek egyenesen arányosak az elnyelt energia mennyiségével.

3.3. A napsugárzás mérésének műszerei

3.3.1. A mérési elvek

A műszerek egyik típusa azt használja ki, hogy *a fotonokból álló sugárzás befolyásolja az érzékelő elektromos tulajdonságait*. Az ilyen elven működő sugárzásérzékelők (a fotocella, a fényelem, a fotodióda, a fototranzisztor, a fotoellenállás és a foto-elektronsokszorozó) megfelelő áramkörbe kapcsolva a sugárzással arányos elektromos jelet produkálnak, melynek nagysága feszültségmérővel pontosan megadható. A fotonhatáson alapuló műszerek (mérési szempontú) hátránya, hogy szelektívek, azaz keskeny spektrális sávban érzékenyek.

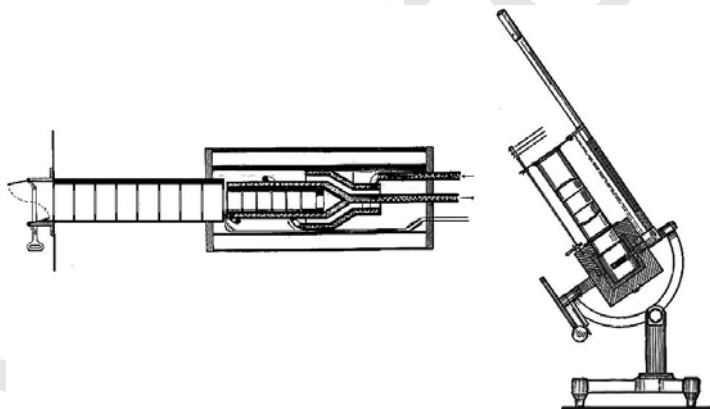
A műszerek másik csoportja az elnyelt *energia hőhatásán* alapszik. A teljes rövid- és hosszuhullámú spektrumtartományban egyenletes elnyelést biztosító optikai fekete lakkal vonják be az érzékelőt. A hőhatás eredményeként létrejövő *hőtágulás vagy az elektromos jellemzők megváltozása* (ellenállás, termofeszültség) révén következtethetünk a sugárzás mennyiségére.

A műszerek a mérni kívánt hullámhossznak megfelelő sugárzásszűrővel vannak ellátva. Az érzékelőt és a szűrőt a műszertest úgy fogja össze, hogy gondoskodjon a látótér megfelelő elhatárolásáról, védjen a nemkívánatos egyéb hatásoktól (szél, csapadék), és lehetővé tegye leolvasó vagy regisztráló műszer csatlakozását.

3.3.2. A sugárzás intenzitásának mérése

A meteorológiai sugárzásmérés alaplászerai az ún. *pirheliométerek*. Ezek a Nap közvetlen (azaz direkt) sugárzását mérik, ami azt jelenti, hogy a műszer érzékelő részét nem érheti az égbolt egésze felől érkező sugárzás. Többféle pirheliométer közül ki kell emelnünk az abszolút mérőműszereket, amik a nagymértékű pontosság mellett a sugárzás erősségét közvetlenül joule-ban adják meg. Az *abszolút műszer* elnevezés arra utal, hogy a műszer kalibrálása nem más sugárzásmérővel való összehasonlítás, hanem fizikai alaplászerések után történik.

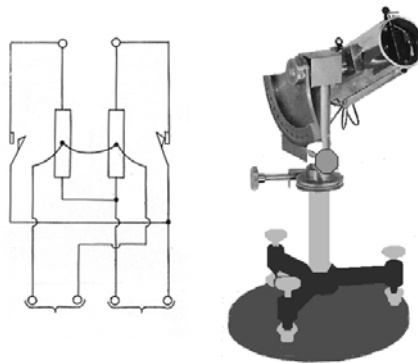
Az egyik ilyen etalonműszer az *Abbot-féle pirheliométer* (3.3. ábra), amely egy felül nyitott fémhenger. A feketére festett belső részben elhelyezett kör alakú nyílással ellátott fekete lemezek csak a direkt sugárzást engedik be. A kormozott fémhenger falát ismert sebességével spirál alakban áramló víz veszi körül, amely a hengerbe hatoló sugárzástól felmelegszik. A víz hőmérsékletét a henger falával történő érintkezés előtt és után elektromos hőmérővel mérik meg, és a víz fajhőjének ismeretében a fölmelegedés mértékéből a sugárzás hőegyenértéke kiszámítható. A műszer hátránya, hogy nem méri pontosan a kapott hőmennyiséget, mert annak egy részét a levegő a henger megvilágított faláról elvezeti.



3.3. ábra

Az Abbot-féle pirheliométer sematikus rajza
(forrás: Robinson 1966)

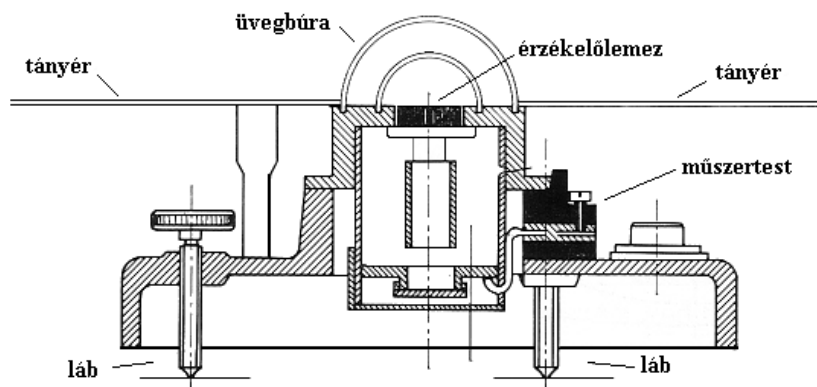
Az *Angström-féle abszolút sugárzásmérő* érzékelőjét két egymás mellett elhelyezett fekete fémszalag alkotja (3.4. ábra). A két lemez egy termoelem aktív és passzív forrasztási pontját képviselik, amelyből az egyiket közvetlen napsugárzásnak teszik ki. Az árnyékban lévő fémszalagot elektromos árammal ugyanolyan hőmérsékletre fűtjük, mint amilyen a napsütötte érzékelőé. Az árnyékban lévő fémszalag fölmelegítésére fordított és ampermérővel lemert áram erősségének hőegyenértéke megadja a napsugárzás erősségét. A műszer hátránya az Abbot-éval szemben, hogy a fémszalag nem olyan jó sugárzáselnyelő, mint a fémhenger.



3.4. ábra
Az Angström-féle pirheliométer vázlata és a mérőműszer
(forrás: Robinson 1966 alapján)

A relatív mérőműszerek a sugárzás erősségét nem közvetlenül joule-ban, hanem valamely a sugárzás erősségével egyértelműen összefüggő olyan mértékszám-ban adják meg, amely abszolút műszerrel való összehasonlítás útján számítható joule-ra. Ennél a műszercsaládnál mindenképpen meg kell említeni a *Michelson–Martin-féle műszert*, ami kizárólag direkt sugárzás mérésére alkalmas, valamint a *Moll–Gorczyński-féle sugárzásmérőt*, ami a direkt sugárzás mellett a szórt és globálsugárzás mérésére is egyaránt használható.

Valamely féltérből érkező *összes rövidhullámú* (globál- és reflex) sugárzás mérésére alkalmas műszer a *piranométer*. A műszer felépítése (3.5. ábra) jól meghatározza a vizsgálandó síkot, hiszen a műszer tányérja megakadályozza, hogy a másik féltérből érkező sugárzás az üvegburán keresztül az érzékelőbe jusson. (A későbbiekben bemutatandó műszerek többsége a piranométerhez hasonló szerkezetű, a különbség mindössze a védőbura eltérő anyagából adódik.)



3.5. ábra
A piranométer sematikus rajza
(forrás: Robinson 1966 alapján)

Az üvegbura a hosszuhullámú sugárzás elnyelésével és a rövid átérésztésével biztosítja, hogy az érzékelőbe csak a mérni kívánt spektrum juthasson be. A bura másik funkciója az érzékelő védelme a légáramlástól, csapadéktól, kondenzációtól és a különféle szennyeződésektől.

A direkt és szórt sugárzás mérésére és regisztrálására évtizedeken keresztül a *Robitzsch-féle sugárzásíró*t használták. A műszer érzékelője két különböző elnyelő képességű, többnyire fehér és fekete színű, vízszintesen elhelyezett fémlap, melynek hőmérséklet-különbségét mechanikusan regisztrálja. A régebbi típus (3.6. a ábra) üvegbura alatti mérőeleme három bimetall lemez, amelyből a középső fekete, a két szélső pedig fehér színű. A fekete lemez egyik vége szabadon marad, amihez áttétel segítségével írókar csatlakozik. Ha a műszert sugárzás éri, a fekete lemez jobban felmelegszik, meghajlik, és az írókar egy óraműtől forgatott, hengerre erősített papírlapra a sugárzás erősségével arányos kilengéseket rajzol. Ezzel az eszközzel a direkt szórt, sőt még a reflex sugárzás is mérhető. Az újabb típusú műszer (3.6. b ábra) függőleges felépítésű és érzékelő része hat bimetall lemezből áll, ebből három fehér, három fekete, melyek közül az utóbbi közvetlen sugárzásnak van kitéve. Az érzékelés úgy történik, hogy a felfogó és az árnyékolt bimetall szabad végét egymáshoz kötik. A külső hőmérséklet-változás hatására mindkettő ugyanannyit görbül, így a műszer mutatója bármilyen külső hőmérséklet mellett alapállásban van, ha nem éri a Nap sugárzása. A sugárzásírók szalagjának kiértékelési módja, hogy a regisztrált görbe alatti területet kis téglalapok összegével fejezzük ki.



a



b

3.6. ábra
(a) A Robitzsch-féle sugárzásíró régebbi és (b) újabb modellje

A jelenleg használt piranométerek szinte kizárólag termoelektromos érzékelővel működnek. Két típusuk létezik: az egyiknél a hőmérséklet-különbséget az érzékelő és a műszertest között regisztráljuk, a másiknál az érzékelő egy része feketére, a másik fehérre van festve, ebben az esetben a két eltérő színű rész hőmérsékletének különbségét mérjük.

A globálsugárzás mérésére szolgáló piranométerek közül a jelenleg a legmegbízhatóbbak és egyben legelterjedtebbek a Kipp & Zonen gyártmányú sugárzásmérők. A piranométerek esetében törekedni kell a teljesen korlátozatlan horizontú felállításra, azaz a műszernek a mérőhely közelében lévő fák, lakóházak, egyéb horizontot korlátozó objektumok felett kell helyet kapnia. Az ideális elhelyezés körülményes és költséges, ezért olyan kis mértékű horizontkorlátozások, amelyek a nappályákat nem érintik, megengedettek.

A szórt vagy diffúz sugárzás mérésére is piranométereket használunk, azonban valamilyen eszközzel el kell érniünk, hogy a műszer érzékelőjét a közvetlen napsugárzás ne érje. A leárnyékolás kétféleképpen történhet. Az egyik esetben egy fémlemezről készült korongot megbízhatóan működő óraszerkezet mozgat úgy, hogy az minden időpillanatban az érzékelő és a Nap között legyen. A korong méretét és az érzékelőtől való távolságát úgy kell meghatározni, hogy az lehetőleg ugyanannyi szórt sugárzást zárjon ki a direkt sugárzással együtt, mint amennyit a standard pirheliométerek együtt mérnek a tényleges direkt nyalábbal. Mivel a diffuzométer érzékelője állandóan merőleges a direkt sugárzásra, ezért ez a követelmény csak bizonyos hibával elégíthető ki. A diffúz sugárzás kiszűrésének a másik módja, hogy árnyékolókorong helyett árnyékológyűrűt alkalmazunk (3.7. ábra).



3.7. ábra
Diffúz sugárzásmérést végző Kipp & Zonen piranométer

Ez a gyűrű a teljes napi nappályát takarja, ezért nem kell mozgatni, csak akkor, ha a nappálya magasabbra vagy alacsonyabbra tevődik át. A gyűrű az égbolt jelentős részét is elárnyékolja az érzékelő előtt, emiatt külön korrekciót kell alkalmazni.

A reflex sugárzást állványra szerelt vízszintes elhelyezésű, a földfelszín felé fordított piranométerrel mérjük. Gondoskodnunk kell róla, hogy az állvány vékony legyen és az árnyéka minél messzebb essen a műszer alatti ponttól. A piranométer

csak néhány négyzetméternyi felszín által visszavert sugárzást érzékel. Amennyiben a műszert 1 méter magasságba helyezik el a reflektáló felszín fölött, akkor a műszerbe jutó sugárzás 90%-a a talppont körüli 5 méter sugarú körből származik, míg 2 méteres magasság esetén ez a sugár 10 méter.

A piranométerek által mért globálsugárzás és reflex sugárzás különbsége a *rövidhullámú sugárzási egyenleget*, míg hányadosa az *albedo* értékét adja meg.

Mivel a földfelszín átlagos hőmérséklete 288 K (15 °C), ezen a hőmérsékleten kisugárzott energia 99%-a a 4–80 μm spektrális tartományba esik. A légköri gázok (elsősorban a vízgőz és a szén-dioxid) az 5–7 μm közötti és a 14 μm nél nagyobb hullámhosszokban teljesen, míg a 7–8 μm és 11–14 μm közötti sávban 50%-ban nyelik el a földfelszín sugárzási energiáját. A *felszín által kisugárzott* (alsó féltérből érkező) és a *légkör által visszasugárzott* (felső féltérből érkező) *energia* mérésére a *pirgeométer* használatos. Szerkezeti felépítését tekintve szinte teljesen megegyezik a korábban ismertetett piranométerrel, az egyetlen különbséget mindössze a műanyag bura jelenti, ami a rövidhullámú sugarakat elnyeli, így csak a hosszúhullámúak juthatnak el az érzékelőbe.

A felszín által kisugárzott és a légkör által visszasugárzott energia különbsége megadja a *hosszúhullámú egyenleget*.

A *rövid- és hosszúhullámú tartományból együttesen érkező sugárzás* mérésére szolgáló műszer a *pirradiométer*. Szerkezete azonos a piranométerével, azonban a bura anyaga a rövid és hosszú hullámokat is átteresztani képes lupolen. Ez a polietilén filmből készült bura néhány erős és szűk sávától eltekintve közel egyenletesen, 85%-os hatásfokkal engedi át a teljes 0,3 μm -tól 100 μm -ig terjedő spektrumot. A *(teljes) sugárzási egyenleg* meghatározására két egyforma érzékenyséű pirradiométert használnak, az egyiket felfelé, a másikat lefelé fordítva. A műszer említett hibája miatt a teljes sugárzási egyenleg meghatározására a gyakorlatban csak ott alkalmazzák, ahol a kisebb pontosság is megengedhető, vagy ahol nincs elég műszer a rövid- és hosszúhullámú tartományban a lefelé és felfelé haladó sugárzás lehető legpontosabb meghatározására. A *legtökéletesebb sugárzási egyenleget négy sugárzásmérő segítségével készíthetjük el*, hiszen a globálsugárzás, a reflex sugárzás, a légköri visszasugárzás és a kisugárzás meghatározásával ismertté válik a sugárzási egyenleg mind a négy összetevője.

Az intenzitásmérések során kell megemlítenünk azokat a speciális vizsgálatokat, amelyek nagy jelentőségűek, de a műszer költséges volta miatt Magyarországon csak Pestlőrincen, a Marczell György Főobszervatóriumban végeznek ilyeneket. Az e vizsgálatokhoz használt speciális műszer a *Brewer-spektrofotométer*, amellyel a légköri ózontartalom, az UV-B sugárzás, a kén-dioxid-koncentráció és az aeroszol optikai mélység meghatározása történik.

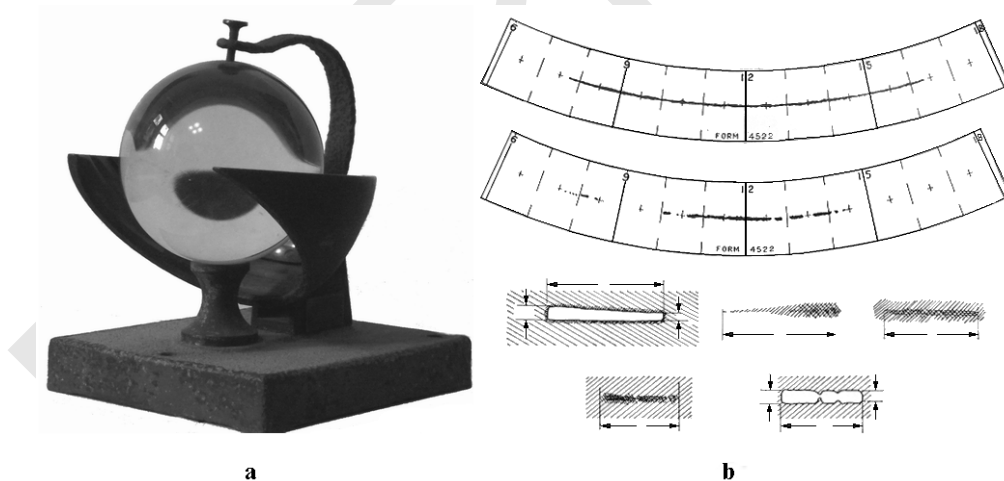
3.3.3. A napfénytartam mérése

A földfelszínre érkező sugárzásnak nemcsak az intenzitását, hanem az időtartamát is mérjük. A földfelszínre érkező napsugárzás mértékét a csillagászati tényező mellett az orográfiai viszonyok és a meteorológiai tényezők határozzák meg.

A földrajzi helyzet a csillagászati lehetséges napfénytartamot adja meg, azonban a földfelszínen mért értékeket az orográfiai akadályok (a hegyvidéki területen a domborzat a nappali ív egy részét eltakarja) és a meteorológiai tényezők (a felhőzet típusa, a felhőzettség mértéke) még jelentősen befolyásolják.

A napfénytartam megadja, hogy valamely időtartam (nap, hét, év) alatt hány órán át sütött a nap. A *jelenlegi definíció* szerint pirheliográfal kellene regisztrálni a direkt sugárzást úgy, hogy a 120 W/m^2 feletti értékek időtartamát és időszakait meghatározzuk. Mivel korábban másként határozták meg a napfénytartamot, ezért jóval egyszerűbb műszerekkel folyták a mérések. A jelenlegi napfénytartammérők pedig igyekeznek olcsóbban eleget tenni a definíciónak.

Közvetlenül az elektronikus napfénytartammérők megjelenése előtt a magyarországi megfigyelő hálózat legelterjedtebb műszere a *Campbell–Stokes-rendszerű* (3.8. a ábra) napfénytartammérő volt, amely a napsugárzás hőhatását használja ki. A műszer érzékelője egy fémállványra szerelt 96 mm átmérőjű, 1,52 törésmutatójú üveggömb, amely a ráeső párhuzamos direkt sugárnyalábot a fókuszfelületének a nappal ellentétes oldalára gyűjti össze.



3.8. ábra
(a) Campbell–Stokes napfénytartammérő és (b) a hozzá tartozó papírszalagok, valamint a rajtuk megjelenő égetésnyomok
(forrás: Robinson 1966)

Az üveggömböt gyújtótávolságban egy fémből készült gömbhéjrésszel fogja körül, amely úgy állítható be, hogy az észlelési hely földrajzi szélességén bármely napállás mellett a belső oldalra essen a gyújtópont. A belső oldalra papírszalagot

helyeznek, amit az összegyűjtött direkt sugarak megpörkölnek (3.8. b ábra). A Nap járásának megfelelően az égetés helye meghatározott pályán vándorol. A napfénytartammérő a regisztráló műszerek azon típusa, amelyben az adatok tárolására szolgáló papírt (jelen esetben a papírszalagot) nem mozgatja külön óramű, mint a többi meteorológiai íróműszer esetében. A szalag helyben marad, a Nap látszólagos mozgása közben, pedig a Nap pályájának centrálisan tükrözött íve a papírra ég.

A műszer gömbhéjrézletében három sín pár található, melyekben a nappálya évszakonként változó magassága miatt eltérő hosszúságú szalagot használnak. Nyáron a leghosszabb szalag a legalsó mélyedésbe, télen a legrövidebb a felsőbe, tavasszal és ősszel a középső szalag a köztes sín párba kerül.

A napfénytartammérő felállításakor is nyílt horizontra, pontos tájolásra van szükség. A téli és a nyári napforduló nappályái által határolt égboltsávban semmiféle horizontkorlátozás nem lehetséges. Az üveggömb tisztántartásáról, valamint a szalag napnyugta utáni cseréjéről minden egyes napon gondoskodni kell.

A napfénytartamszalag jó minőségű papírból készült, hogy a nedvesség hatására méretei ne változzanak meg. A nedves szalag azonban nehezebben pörkölődik, mint a száraz, ezért a Campbell–Stokes-rendszerű napfénytartammérők küszöbérzékenysége 70 és 300 W/m² direkt sugárzási tartományban változik. Mivel a papírszalagos műszerek pontatlanok, a jelenlegi napfénytartam definíciójának nem képesek eleget tenni, és nem köthetők adatgyűjtőkhöz, ezért hálózatban történő használata egyre inkább háttérbe szorul.

A napfénytartam mérése manapság egyre inkább háttérbe szorul, amennyiben mégis szükség lenne rá, célszerű a globálsugárzási adatokból megadni. Az automata meteorológiai állomások által regisztrált intenzitási adatok közül a 120 W/m² feletti értékekkel rendelkező időpontokat összeadva kaphatjuk meg a napsütés időtartamát.

DUPress

4. A hőmérséklet mérése

4.1. A hőmérséklet-mérés néhány gyakorlati problémája

A hőmérséklet a levegő fizikai állapotának egyik alapvető termodinamikai jellemzője. *A levegő hőmérsékletében annak hőtartalma, a levegőrészecskék belsőenergiája fejeződik ki.* A hőtartalom miatt a levegő részecskék mozgást végeznek. A mozgás sebességének a négyzete a belsőenergiával arányos.

A testek, – beleértve a levegőt és a talajt – hőmérsékletének mérése során nem az energiatartalmat, hanem valami más, ezzel arányosan változó, azonban közvetlenül mérhető mutató megváltozását mérjük. A hőmérséklet mérést a következő tényezők teszik lehetővé:

- I. A testek hőmérsékletváltozásait bizonyos fizikai jelenségek kísérik. *Ezek: testek térfogatának megváltozása, a gázok állandó térfogaton bekövetkező nyomásváltozása; a elektromos vezetők ellenállásának növekedése, a félvezetők ellenállásának csökkenése a hőmérséklet növekedésével; a termoelektromosság függése a hőmérséklettől.*
- II. *Az egymással érintkező testek hőmérsékletének kiegyenlítése teszi lehetővé, hogy a hőmérő eszköz felvegye a mért közeg hőmérsékletét.*
- III. *Olyan folyamatok létezése, amelyek mindig ugyanazon a hőmérsékleten mennek végbe.* Ide főképp a halmazállapot-változások, a jég olvadása, a víz forrása tartoznak.

Annak ellenére, hogy a hőmérséklet az egyik legfontosabb, az ember számára is közvetlenül érzékelhető meteorológiai elem, az első hőmérők viszonylag későn, a 17. században készültek. Addig a hőmérsékletet tapintás alapján „hidegnek”, vagy „melegnek” határozták csak meg.

Az első terv a hőmérőre vonatkozóan Leonardo da Vincitől származik a 16. századból. Az első elkészült műszer Galilei nevéhez fűződik, akinek elképzelése alapján 1591 Páduában született a termoszkóp. Ez egy gömb fejű, szűk nyakú palack, amibe kb. félig színes vizet, vagy alkoholt öntenek, majd egy ugyancsak színes vízzel teli kádba fordítják szájjal lefelé. Így a felülre került levegős részben a folyadékszint a levegő hőmérséklet változásától emelkedik, vagy csökken. A műszer még nem hőmérő (termométer), csak „hőmutató”, vagyis termoszkóp, mivel a hőmérsékletváltozást jelzi, de az nem olvasható le róla egzakt mértékegységben megadva.

Galilei nyomdokain haladva, firenzei tudósok 1640-ben készítették el az első igazi hőmérőt. Tőlük függetlenül 1643-ban Kircher is hasonló műszert hozott létre. Az elkészült műszerek legproblémásabb eleme a hőmérsékleti skála volt. Eleinte a nyár melege, a tél hidege közti különbséget, állatok testhőmérsékletét próbálták vonatkoztatási pontként felhasználni. Később, a 18. század első felében a francia Réaumur, a svéd Celsius és a német Fahrenheit 1 bar (1 atm) légköri nyomáson a jég olvadáspontját és a víz forráspontját tette meg alappontul. A két pont közötti

különbséget Réaumur 80, Celsius 100, míg Fahrenheit 180 fokra osztotta fel. Az olvadó jég hőmérséklete az első kettő szerint nulla fok, Fahrenheit ezt +32 foknak vette, mivel skáláját Danzig 1709 telén mért legalacsonyabb hőmérsékletétől indította. Az ő skáláján ezért, a forrásban lévő víz hőmérséklete 212 F.

A Fahrenheit-, Réaumur- és Celsius- skálán megadott hőmérsékletek a következőképpen számíthatók át egymásba.

A skálák arányszámai a következők:

$$180:100:80=9:5:4$$

Így Fahrenheit fokból Celsius fokba így számíthatjuk át a hőmérsékleti értékeket:

$$C=5/9 \cdot (F-32)$$

Ellentétes átszámításnál:

$$F=9/5 \cdot C+32$$

A Celsius és Réaumur skála között a

$$C=5/4 \cdot R \text{ és } R=4/5 \cdot C$$

képlet segítségével, míg a Fahrenheit és a Réaumur skála között a

$$R=4/9 \cdot (F-32) \text{ és az } F=9/4 \cdot R+32$$

összefüggések felhasználásával végezhetünk átváltást.

Az SI rendszerben a mértékegység Kelvin, a jelölés K. Az elvileg lehetséges legalacsonyabb hőmérséklet 0 K (-273,14°C). Minden gáz ennél magasabb hőmérsékleten válik cseppfolyóssá, illetve a hőmozgás megszűnik ezen a hőmérsékleten. Ezt a mértékegységet a fizikusok, Lord Kelvin javaslatára, már 1852 óta használták Kelvin fokként.

Mivel a hőmérsékletváltozás fokokban kifejezve a Celsius és a Kelvin skálán ugyanakkora ($K=C+273$, ill. $C=K-273$), ezért megengedett a Celsius skála használata is. A magyar meteorológiai gyakorlatban a hagyománynak megfelelően *az Európa-szerte elterjedt Celsius skálát használjuk.*

A léghőmérséklet mérésénél figyelembe kell venni a hőmérséklet változását a talajfelszíntől távolodva, illetve a napsugárzás hatását.

A levegő lehülése hajnalban, illetve felmelegedése koradélután a felszín közelében a legerősebb. A hőmérséklet változása a nap során egyre kisebb mértékű a felszíntől távolodva. *Ezért a léghőmérsékletet, hogy a felszín hatását mérsékeljük egyezményesen 2 méter magasan mérjük.*

A sugárzásnak kitett testek anyagi minőségüktől, színüktől, alakjuktól stb. függő mértékben a levegőnél jobban felmelegszenek, mivel az elnyelt sugárzási energia növeli belső energiájukat (ezért érzékelünk a napsütésben állva melegebbet, mint árnyékban). *A léghőmérsékletet ezért mindig árnyékban mérjük.*

Arra is ügyelni kell, hogy a hőmérő szellőzött, a környező levegővel kapcsolatban levő térben legyen elhelyezve, hogy annak valós hőmérsékletét mérhesse.

Ezeknek a kritériumoknak a teljesítésére leginkább az ún. *Stevenson-féle*, vagy *angol-típusú hőmérőház* felel meg (4.1. ábra). A házikó fehér színű, kettős zsalu-zású, fából (ritkábban műanyagból) készül. Körülbelül 180 cm magasságú lábakon áll, hogy benne a hőmérőket 2 méteren lehessen elhelyezni. *Ajtaja az Északi-féltekén Észak* (a Déli-féltekén Dél) *felé néz*, hogy leolvasásnál ne érje közvetlen nap-sugárzás a hőmérőket a házikóban.

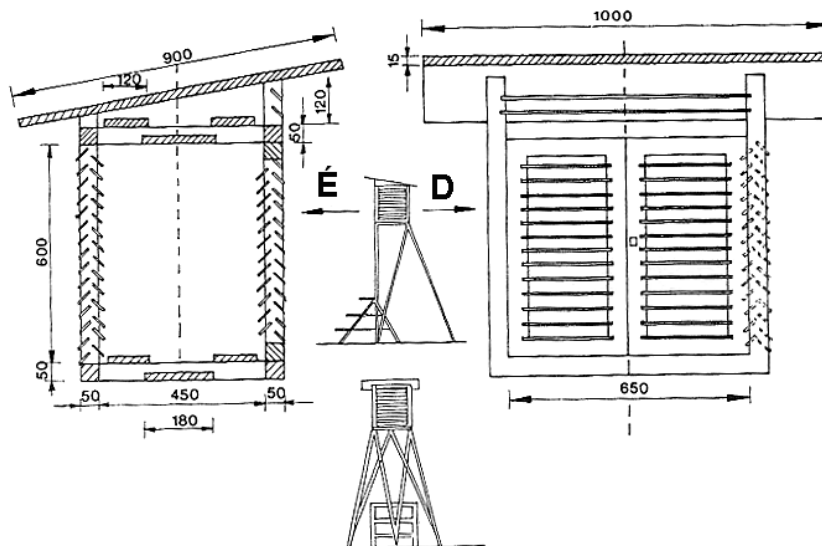
Az automata meteorológiai állomások kombinált hőmérsékleti és légnedvesség szenzorait speciális műanyagból készült, lefordítva egymásra helyezett tányérokra emlékeztető alakú hővédő pajzzsal látják el.

Terepi mérésnél a 2 méteres mellett gyakran más (1,5; 1; 0,5; 0,25 méter) magasságokon is hajtunk végre hőmérsékleti profilméréseket. Ezeknél is különösen ügyelni kell *a hőmérő sugárzásvédelmének és szellőzöttségének biztosítására*. Célszerű a hőmérő érzékelője számára fehér színű, rossz hőelnyelő anyagból (papír, műanyag) olyan árnyékolót készíteni, ami a légmozgást nem akadályozza az érzékelő körüli térben.

A hőmérők érzékelő felszínét mindig tisztán kell tartani. A lerakódó por és szennyeződések hőszigetelőként működve a valóságosnál alacsonyabb hőmérséklet mérését idézhetik elő. A hőmérőn lerakódó víz, vagy jégbevonat ugyanakkor a párolgási hőveszteség révén hűtő hatású. Ilyen esetben a mérés előtt száraz ruhával az érzékelőt meg kell tisztítani, majd pár percig várni, hogy visszaálljon a környező léghőmérsékletre.

A szerves folyadékkal töltött hőmérők esetében nem ritkán előfordul, hogy szállítás közben a szál megszakad, vagy a pálcika kiszalad a folyadékból. Ezeket a problémákat a lázmérőhöz hasonló lerázással szüntethetjük meg.

A higanyos hőmérők általában szállítás során a rázkódás hatására bekövetkező szálszakadást már nehezebben, centrifugálással küszöbölhetjük ki. *A melegítés sohasem vezet célra, mivel mindig a kapilláris töréséhez vezet.*



4.1. ábra.
A meteorológiai állomáson a hőmérők elhelyezésére szolgáló stevenson-féle,
vagy angol típusú házikó
(forrás: Czelnai 1993)

4.2. Gázhőmérők

Alapjuk a *hőtágulási törvény* (Boyle, Mariotte és Gay-Lussac). E szerint a gázok igen nagy nyomás és hőmérséklet tartományában azonosan viselkednek. Állandó nyomáson minden gázra érvényes a

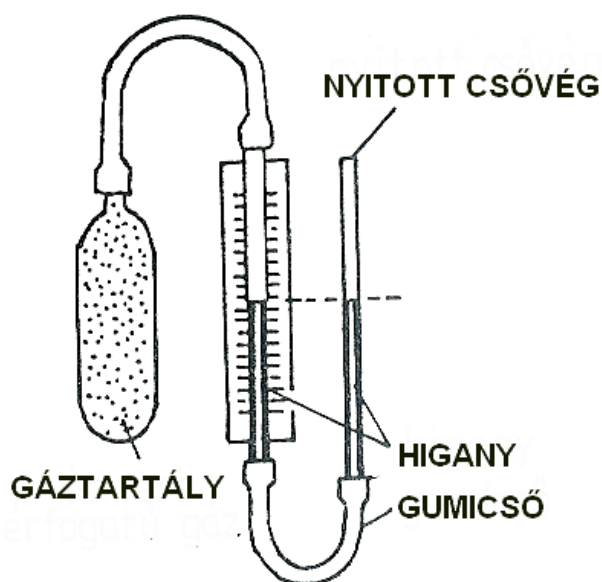
$$v = v_0(1 + \alpha t)$$

összefüggés, ahol t a gáz hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban, v_0 a gáz 0°C -on v pedig a t hőmérsékleten felvett térfogata. Az α hőtágulási tényező minden gázra $1/273$ -nak adódik.

A gázhőmérő egyik legfontosabb eleme a gáztartály, ami a műszer érzékelő teste. Elég szilárd ahhoz, hogy a gáz térfogatváltozása ne okozzon rajta alakváltozást. Ugyanakkor vékonyfalú, jó hővezető anyagból készül, hogy a benne levő gáz könnyen felvegye a környező levegő hőmérsékletét. A tartály egy U alakú cső függőleges szárához csatlakozik. Az U alakú cső alsó részén higany van, a cső másik függőleges szára nyitott. Így a kitáguló gáz a tartályból az üvegcsőbe áramlik és lenyomja a higany szintjét. Mivel az üvegcső mögött/mellett hőmérsékleti skála van a higany szint változása mutatja a hőmérséklet változását (4.2. ábra).

A gázhőmérők nagy méretük és bonyolult szerkezetük miatt laboratóriumi műszerek, meteorológiai mérésekre nem használhatók.

Mérési pontosságuk (10^{-2}°C) alkalmassá teszik őket laboratóriumi és hitelesítő mérésekre, a többi hőmérő kalibrálására. A hőmérsékletmérés abszolút műszereinek tekintendők.



4.2. ábra
A gázhőmérő felépítése
(forrás: Makra 1995 alapján)

4.3. Folyadékos hőmérők

Ezek a leggyakrabban használt hőmérők mind a meteorológiai, mind a hétköznapi felhasználásban. Egyszerű felépítésűek, kevés a hibaforrásuk, könnyen kezelhetők és megbízhatók. Megbízhatóságuk miatt, a gyakorlatban, mivel gázhőmérő többnyire nem áll rendelkezésre, a higanyos hőmérőket szoktuk más hőmérők ellenőrzésére használni.

A folyadékok előnye a fémekkel szemben a hőmérő készítése szempontjából, hogy a folyadékok hőtágulási együtthatója 1-2 nagyságrenddel kedvezőbb a fémeknél (a folyadékoknál ez 10^{-3} - $10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{K}^{-1}$ a fémeknél $10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{K}^{-1}$. Elvileg bármelyik folyadék alkalmas hőtáguláson alapuló hőmérő készítésére. Az alkalmazott típust a folyadék hőtágulási együtthatója, fagyás- és forráspontja dönti el. A folyadék higany, vagy valamilyen szerves folyadék (etil-, vagy metilalkohol, petroléter stb.). A higany forráspontja magas (357°C), azonban -39°C -on dermed, tehát az alacsony hőmérsékletek mérésére csak korlátozottan alkalmas. Az alkoholok ezzel

szemben már 100°C alatt forrnak, viszont -100°C körül van a fagypontjuk, ezért a Földön előforduló legalacsonyabb hőmérséklet mérésére is alkalmasak.

4.3.1. Higanys hőmérők

Közös jellemzőjük, hogy egy henger, vagy gömb alakú higanytartó edény hajszálcsőben folytatódik, és ezt úgy töltik meg higanyal, hogy az beleérjen a kapillárisba is.

A hőmérséklet változásával, hőtágulás miatt, a higanyoszlop végének domború felszíne, a *meniszkusz* a kapillárisban emelkedik, vagy süllyed a hőmérsékletnek megfelelően.

A higanyoszlop feletti hajszálcsövet légritkítottá teszik, megakadályozva a Hg oxidálódását.

Mérési tartományuk -39°C - +155°C

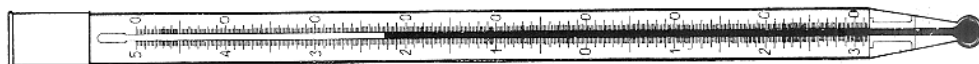
4.3.1.1. Az állomáshőmérő

A léghőmérséklet meghatározására szolgál a meteorológiai állomásokon. *A hőmérő házban, 2 méter magasságban helyezik el.* Felső végén fémkupak van, ami lehetővé teszi a felfüggesztését, illetve szükség esetén ennél lehet megfogni (4.3. ábra). Külső, üveg védőburkolata kis üveggömbben végződik, ami a higany fő tömegét tartalmazza. A gömb felfelé légüres terű kapillárisban folytatódik. *A kapilláris mögött van a 0,2°C-os beosztású számlap. Skálájának hossza az éghajlattól függ, Magyarországon -35°C-tól +45°C-ig terjed. Hibájának a 0,1°C-ot nem szabad meghaladnia.*

Bár skála 0,2°C beosztású, lehetővé teszi a hőmérséklet meteorológiában megkívánt 0,1°C pontosságú leolvasását. Ha a higanyszál domború meniszkuszának a magaspontja a páros tizedes osztások közt van, akkor a közük eső páratlan tizedes értéket jegyezzük fel. Mindig a pillanatnyi hőmérsékletet mutatja, mivel a higany hőtágulása folyamatosan követi a hőmérő környezetének hőmérséklet változásait.

Leolvasása a meteorológiai állomásokon 6:45-kor, 12:45-kor és 18:45kor történik. Az éjjel 0:45-ös adatot a termográf adatokból határozzák meg.

Az állomáshőmérő a pszichrométer száraz hőmérőjeként is működik.



4.3. ábra

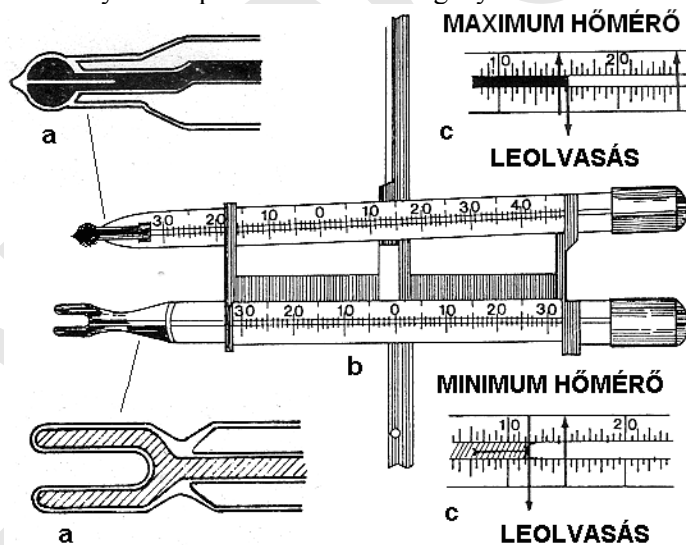
Az állomáshőmérő

(forrás: Horváth–Kapovits–Weingartner 1987 alapján)

4.3.1.2. A Fuess-rendszerű maximumhőmérő

Szintén higannyal töltött, a lázmérőhöz hasonló működésű hőmérő. *Egy időszak alatti legmagasabb levegőhőmérséklet meghatározására szolgál. Leolvasása naponta kétszer, 6:45 -kor és 18:45 -kor történik. A napi maximum a kettő közül a magasabb érték.* Skálája félfokos beosztású, a tized fokokat csak becsléssel állapíthatjuk meg. A skála számozása vízszintes irányú. Közel vízszintes, csak egész enyhén a higany tartály felé döntött helyzetben kell használni, hogy a higanyszál ne „szaladhasson előre”. *Elhelyezése a hőmérő házban 2 méter magasan történik a minimum hőmérővel közös állványon (4.4. b ábra).*

Lényeges szerkezeti sajátossága a higanytartály aljára forrasztott üvegszál, amely benyúlik a kapillárisba is (4.4. a ábra). A kapilláris a skála elérése előtt még kétszer meg van hajlítva derékszögben, ami tovább növeli a higany sűrűdését a hajszálcsőben. A szűkített nyíláson a növekvő hőmérséklet hatására kitáguló higany még felmegy. A hőmérséklet csökkenésekor azonban nem tud visszahúzódni, mert a tartályban összehúzódó higany és a kapillárisban lévő kis mennyiségű higany közti kapcsolat a szűkületben megszakad, így *a csőben a higany meniszkusza továbbra is legmagasabb hőmérsékletet mutatja (4.4. c ábra).* Ezért, *leolvasás után a hőmérőt – a lázmérőhöz hasonlóan – le kell rázni,* vagyis néhány határozott suhintással juttathatjuk vissza a tartályba a kapillárisban rekedt higanyt.



4.4. ábra.

- (a) A Fuess-féle maximum és minimum hőmérő folyadéktartályának kialakítása,
(b) elhelyezése a hőmérő házikóban, és (c) leolvasása

4.3.1.3. A talajhőmérők

A talaj hőmérsékletének különböző mélységekben való meghatározására szolgálnak. Felépítésük, kezelésük és elhelyezési mélységük alapján csoportosíthatók: felszíni, és mélységi talajhőmérők.

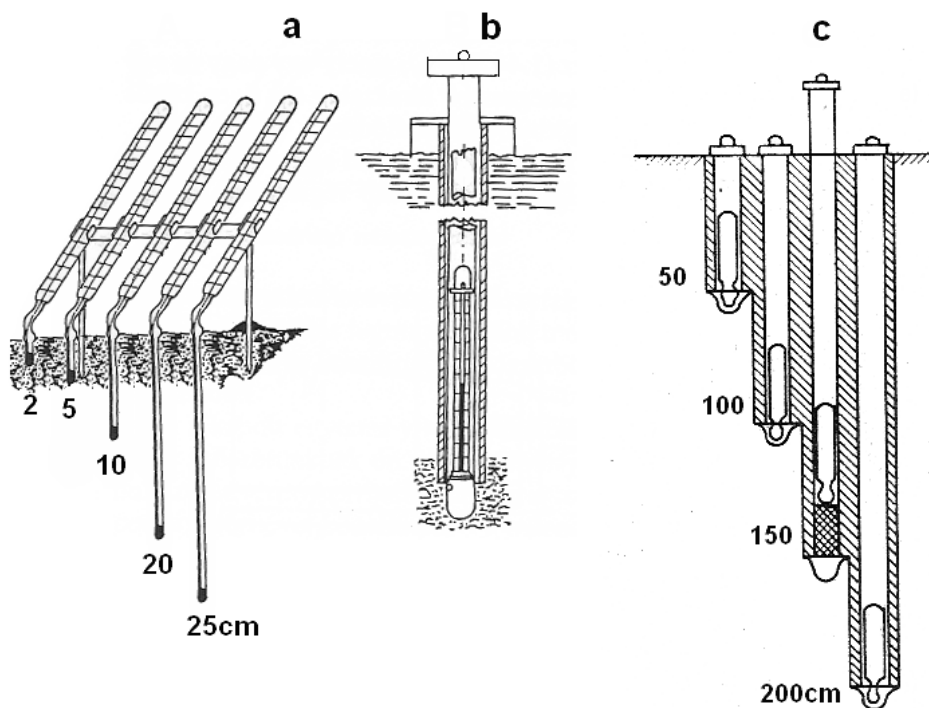
*Felszíni talajhőmérők: A felszíni talajhőmérők görbített nyakú egyszerű higanyos hőmérők. Skálájuk $+45^{\circ}\text{C}$ -tól -30°C -ig terjedő mérési tartományú, $0,2^{\circ}\text{C}$ -os beosztású. A felszíntől számított 2, 5, 10, 20 (esetleg 25, 30) cm-es talajrétegek hőmérsékletének meghatározására szolgálnak. A higanytartály és a skála közötti ún. benyúló rész 2, 5, 10, 15 stb. cm hosszúságúra van megnyújtva, hogy a megfelelő mérési mélységet elérje. A benyúló rész végénél két üveggyűrű jelzi a lehelyezési mélységet. A benyúló rész a talajban függőlegesen áll, a skála rész ehhez képest meg van törve, a talajfelszínnel 60 fokos szöveget zár be (4.5. a ábra). Így egyszerűbb és pontosabb a leolvasás, *elkerülhető a nem merőleges rálátásból eredő ún. parallaxishiba*. Állandó helyre telepítésnél beásással, terepi mérésnél a luk előfűrészával kel a talajba helyezni. A hőmérőt közvetlenül a talajba leszúrni még látszólag laza talaj esetében sem ajánlatos. Az állandó helyre telepített felszíni talajhőmérő sor számára célszerű gyenge hővezető képességű anyagból (például fa) nem merev alátámasztást készíteni (4.5. a ábra).*

Naponta 3-szor, a nappali terminusidőekben kell leolvasni a felszíni talajhőmérőket.

*Mélységi talajhőmérők: A talaj hőmérsékletének 50, 100, 150 és 200 centiméteres mélységben történő mérésére szolgáló hőmérők. Sokban hasonlítanak az állomáshőmérőre: ezek is $0,2^{\circ}\text{C}$ -os beosztású higanyos hőmérők. Sajátosságuk a nagy higanyzsák (4.5. b ábra). Ez a nagyobb hőtehetetlenség miatt szükséges. Így a hőmérő a talajban a felszíntől lényegesen eltérő hőmérsékletről a felszínre emelve még viszonylag sokáig megtartja a talajban felvett hőmérsékletet, lehetővé téve *először a tized, majd az egész fokok leolvasását. Mérési tartományuk $+30^{\circ}\text{C}$ -tól -30°C -ig terjed.**

A mérési mélységbe a hőmérők védő tokban jutathatók le. Erre a célra régebben az ún. *Lamont-szekrény* szolgált. Ez egy tölgyből készült 50, 100, 150 és 200 cm hosszú, 5×5 cm-es rekeszekkel ellátott tok, amit a talajba ástak. A tok azonban néhány év alatt elkorhadt, másrészt a leásással megbolygatták a talajt, ami annak hővezetésében idézett elő változásokat. Manapság ezért inkább talajfűróval mélyített megfelelő mélységű lukakba helyezett műanyag béléscsőben, kisebb átmérőjű műanyagcső végébe erősítve, hővezető anyagból (réz) készült védőkupakkal ellátva helyezik a talajba a mélységi talajhőmérőket (4.5. c ábra).

A mélységi talajhőmérőket naponta egyszer 12:45-kor olvassák le.



4.5. ábra
A felszíni (a) és a mélységi talajhőmérők (b, c) elhelyezése

4.3.2. Szerves folyadékkal töltött hőmérők

Előnyük a higanyos hőmérőkkel szemben az, hogy az alkalmazott folyadékok (metilalkohol, borszesz, petroléter stb.) fagyáspontja alacsonyabb a higanyénál (-100°C körül). Több hátrányos tulajdonságuk is van ugyanakkor.

Ezek a következők:

1. A folyadék egy része a mindig a kapilláris falára tapad, így, – főképp gyors lehűléskor – a hőmérő a valóságosnál alacsonyabb értéket mutat. Hogy az összehúzódnás során a folyadékoszlop ne szakadhasson meg, a folyadékoszlop feletti teret levegővel, vagy valamilyen kémiaiilag semleges gázzal töltik meg.
2. A folyadék a növekvő ill. csökkenő hőmérséklet és nyomás miatt kapcsolatba léphet a felette elhelyezkedő gázzal. Ha a hőmérséklet és nyomás nő, a folyadék felveszi a felette elhelyezkedő gáz egy részét, ami a folyadék térfoga növekedését okozza, tehát magasabb hőmérsékletet mutat a valósánál. Másrészt a folyadék a kapillárisban a hőmérséklet növekedésével ará-

nyos mértékben párolog és lecsapódik a cső falára, ami ismét néhány tizedfokos hibát okozhat.

3. A folyadékba a könnyebb leolvashatóság érdekében színezőanyagot kevernek. Hosszabb idő múltán, ennek kiválása miatt, a kapilláris cső keresztmetszete csökken, ezért a hőmérő a kellenél magasabbat mutat, ez a hiba a meteorológiában alkalmazott hőmérőknél 2°C is lehet.

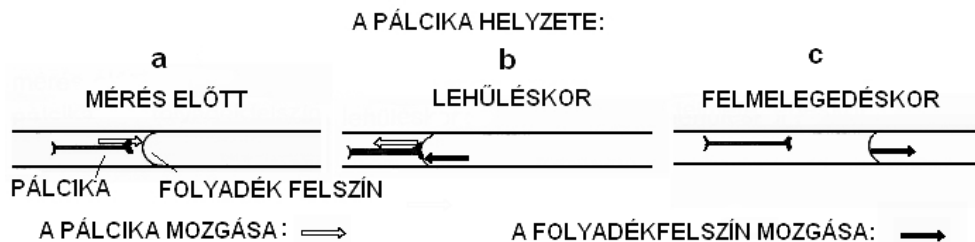
4.3.2.1. A Fuess-féle minimumhőmérő

Két észlelés közötti időtartam legalacsonyabb hőmérsékletének meghatározására szolgál. A leolvasása, beállítása 6:45-kor és 18:45-kor történik. A napi minimum a kettő közül az alacsonyabb érték.

A maximum hőmérőhöz hasonlóan, skálája félfokos beosztású és vízszintesen számozott. A hőmérő folyadék tartó edénye kétágú villás kialakítású, hogy felülete nagyobb legyen, így a levegő hőmérsékletváltozásait gyorsabban követhesse (4.4. a ábra).

Mérőfolyadékba színezett alkohol vegyület. A kapillárisban sötét üvegpálcikát helyeznek el. A pálcika keresztmetszete akkora, hogy a csőben könnyen csúszhat, és mellette az alkohol is tud áramlani. A pálcikát mérés előtt az alkohol felszínéhez húzzuk a hőmérő fémkupak felőli vége felé való megbillentésével (4.6. a ábra). Rázni azonban nem szabad, mivel a pálcika elhagyná a folyadékot, és nem mutatná a hőmérséklet csökkenést. Ha a hőmérséklet csökken, az alkohol összehúzódik. A felületi feszültség következtében homorú meniszkusza a pálcát magával húzza (4.5. b ábra). Amikor a hőmérséklet emelkedni kezd, az alkohol kitágulva a pálcikát a legalacsonyabb hőmérséklet helyén hátra hagyva a kapillárisban előre halad. (4.6. c ábra).

Leolvasás után a pálcikát az alkohol meniszkuszához állítjuk, majd a maximum hőmérővel közös állványra (4.4. b ábra) helyezzük. Először mindig a fémkupakos végét tegyük az állványra és csak aztán a villás edényt, hogy a pálcika ne csúszhasson vissza. Kezelés közben nem szabad megérinteni a folyadéktartályt, mert a pálcikát így a valóságosnál magasabb hőmérsékletet jelző folyadékszinthez igazítanánk hozzá.

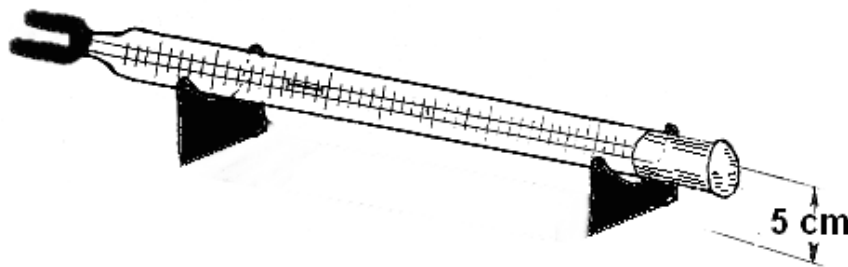


4.6. ábra
A minimum hőmérő működése

4.3.2.2. Radiációs minimum hőmérő

A talajfelszín közvetlen közelében a kisugárzás következtében lényegesen alacsonyabb hőmérséklet alakulhat ki, mint 2 méter magasságban. Ennek mérésére szolgál az ún. *radiációs minimum hőmérő* (4.7. ábra).

Ez szintén egy *Fuess-féle minimum hőmérő*, amit a vízszintes, szabad, árnyékolástól mentes területen, kis favillákon, vagy drót állványon helyezünk el. Kihelyezésénél figyelni kell arra is, hogy tengelye pontosan vízszintesen a talajfelszín felett 5 cm magasan legyen. Kihelyezése 18:45-kor, leolvasása másnap reggel 6:45-kor történik. A nappal kinnt maradó hőmérőben az alkohol gyorsan párologni kezd, ezért a valósánál jóval alacsonyabb hőmérsékletet mér, ezért a minimum hőmérő nem maradhat a közvetlen napsugárzásnak kitett helyen! A radiációs minimum hőmérőt mindig számlapjával lefelé helyezzük ki, hogy dér, vagy harmat ne akadályozza a leolvasást. Leolvasáskor a hőmérőt a hossz tengelye mentén elfordítva hozzuk megfelelő helyzetbe.



4.7. ábra.
A radiációs minimum hőmérő

4.3.2.3. Speciális folyadék hőmérők

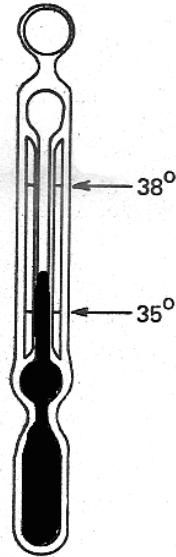
Hill-féle katatermométer:

Orvosmeteorológiai, humánbioklíma vizsgálatok céljait szolgálja. Az emberi test 36,5°C-os hőmérsékletén levő test felületegységén a légkör be- és kisugárzása, nedvessége és mozgásai révén beálló hővesztés mértékét méri. Alkalmos annak megállapítására, hogy a hideg munka- és tartózkodási helyek milyen hatást gyakorolnak az emberi szervezet hőháztartására.

A műszer egy igen nagy mérőtesttel ellátott alkoholos hőmérő, amelynek a kapilláris felső vége jelentősen kitágul egy kisebb edényé (4.8. ábra). Számlapján mindössze két beosztás van: 35 és 38°C. A mérés során először felmelegítik 50-80°C-ra, hogy a felső edénykét a folyadék legalább harmadáig kitöltse, majd a mérés helyén megméri, hogy a folyadékszál a két beosztás közötti utat mennyi idő alatt teszi meg. Az

$$L=k/t \text{ (w/cm}^2\text{)}$$

formulával számítható a leadott hőmennyiség, ahol k a műszerre jellemző állandó, t a mért idő másodpercben, L a lehülés mértéke, vagyis a másodpercenként 1 cm²-ről távozó hőmennyiség (Joule).



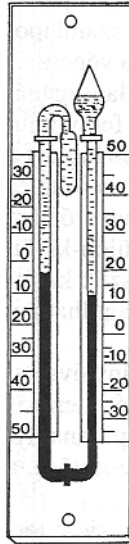
4.8. ábra
A Hill-féle katatermométer
(forrás: Makra, 1995 alapján)

Six-féle maximum-minimum hőmérő:

A legolcsóbb és legegyszerűbb maximum-minimum hőmérő. Pontatlansága miatt (skálája 1°C-os beosztású) a meteorológia gyakorlatban már nem alkalmazzák.

A hőmérő egy zárt, U alakú üvegcső, aminek egyik ága a maximum, másik a minimum hőmérő (4.9. ábra). A minimum ág visszahajlik, míg a maximum ág felső vége kiszélesedik. A csőben alul higany, felül szerves folyadék van. A lehajtott végű minimum szárban az alkohol kitölti a csövet, a maximum ágban nem. Ebben a szárban az alkohol feletti teret levegő, vagy más gáz tölti ki. Mindkét szárban a higanyoszlopok felett egy-egy acél pálcika tapad a cső falához, amit csak az elmozduló higany tud eltolni.

Mérés előtt a pálcikákat egy mágnessel a higany szintjéhez kell vinni. Ha a hőmérséklet emelkedik, a minimum ágban lévő alkohol tágulása átnyomja a higany egy részét a maximum ágba, ahol a higany szint ennek hatására emelkedik maga előtt tolva a pálcikát az elért legmagasabb hőmérsékleti értékig, ahol az megáll jelezve a maximum hőmérsékletet. Ahogy a hőmérséklet csökkenni kezd, a maximum ág tartályában összenyomott gáz visszatolja a higanyoszlopot a minimum ágba és a higany szint most ott tolja el az acélpálcát a minimum hőmérséklet értékéig.



4.9. ábra

A Six-féle minimum-maximum hőmérő
(forrás: Szász-Tökei 1997alapján)

4.4. Fémhőmérők

Ezek működése a *fémek különböző mértékű hőtágulásán* alapszik. Ha két eltérő hőtágulású (általában réz és vas), de azonos vastagságú, szélességű és hosszúságú szalagot egymás mellé helyezve összehegesztünk egy ún. *bimetall szalagot* kapunk.

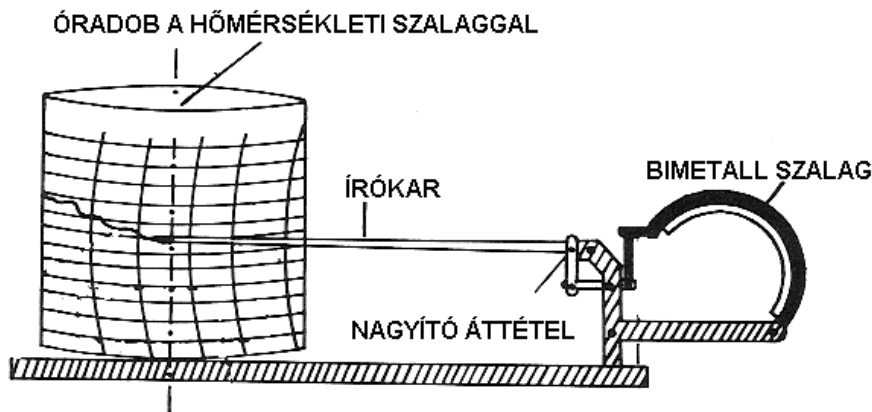
Az ilyen kettős fémszalag a hőmérséklet változásakor meggömbül, mivel a le-hűléskor a nagyobb hőtágulású szalag jobban összehúzódik, felmelegedéskor ugyanez jobban kitágul. (Olyan egyszerűbb változata is ismert, ahol a mérőtest egyfajta, kérdőjel alakban meghajtott fémszalag.)

A görbület iránya és mértéke a hőmérséklet-változástól függ, így alkalmas annak mérésére. A szalag különböző áttételeken keresztül egy számlap előtt mutatót mozgat leolvashatóvá téve a hőmérséklet változásait.

4.4.1. Termográfok

A bimetall szalagot a meteorológiában regisztráló hőmérsékletmérő műszerek szerkesztésére használják (4.10. ábra). A termográfok, vagy hőmérsékletíró műszerek alkalmasak a két észlelés közti hőmérsékletek rögzítésére is. Az ilyen műszereknél a bimetall szalag meghajlását nagyító áttételek segítségével egy írókarra

viszik át. Az írókar végére illesztett tollfej egy óradobon körbeforgó, időbeosztással ellátott papírszalagra rajzolja a bimetall görbületeinek megfelelően futó hőmérsékleti görbét.



4.10. ábra

A bimetall szalaggal működő hőmérsékletíró (termográf)
(forrás: Horváth–Kapovits–Weingartner 1987 alapján)

4.5. Elektromos hőmérők

A gáz-, folyadék- és fémhőmérők viszonylag szűk hőmérsékleti tartományban működnek megbízhatóan. A korszerű automata meteorológiai állomások és terepi műszerek olyan hőmérsékletmérő szenzorokat igényelnek, amelyek pontosak, kis hőtehetetlenségűek, kis méretűek és a mért meteorológiai elem értékét elektromos jellel alakítják. Ezeket az igényeket az elektromos hőmérők elégítik ki.

A hőmérséklet elektromos úton történő meghatározására három lehetőség áll rendelkezésre:

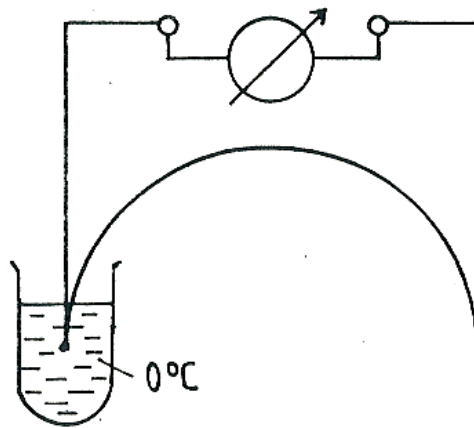
- termoelektromos jelenség,
- a fémek hőokozta ellenállás-változása,
- a félvezetők hőokozta ellenállás-változása.

4.5.1. Termoelem-hőmérők

A magyarul hőelem-hőmérőnek nevezett műszerek a *termoáramok* alapján működnek (4.11.). *Ha két különböző fémzárból álló áramkörbe áramerősség-mérőt iktatunk, és a fémzárak végei között hőmérséklet-különbséget hozunk létre, vagyis az egyik vezetősálat fűtjük, vagy hűtjük, akkor az árammérő mutatója kitér, a vezetőben áram halad át. A létrejövő áramerősség arányos a két vezetősál közötti hő-*

mérséklet különbséggel. Ezt használjuk a hőmérséklet mérésére. Ha az egyik vezetőszálat állandó hőmérsékleten tartjuk (például egy olvadó jeget tartalmazó pohárban), akkor a létrejövő áram erőssége kizárólag a másik vezetőszal hőmérsékletétől függ. Ebben az esetben a másik vezetőszálnak kell felvenni a mérendő közeg (például levegő) hőmérsékletét.

A felhasznált fémshálak típusától függően eltérő érzékenységu műszerek készíthetők. Például a réz-konstantán 600°C-ig, míg a platina és platina-rhodium ötvözet kombinációjával 1600°C-ig alkalmazható termoelemet állíthatunk elő. Ezek az eszközök a meteorológiai kutatás mellett az iparban (például kohászatban) is elterjedtek.



4.11. ábra
A termoelem
(forrás: Makra 1995)

A termoelem hőmérők számos előnyös tulajdonsága közül kiemelkedik, hogy hőérzékelőjük kis hőkapacitású és kicsi a sugárzási hibája. A mért hőmérsékleti értékek regisztrálása könnyen megoldható. Kis méretüknek köszönhetően nehezen hozzáférhető helyen is alkalmazhatók. Hátrányaik közé tartozik, hogy az érzékelő és a leolvasó berendezés közötti távolság, a vezetékshossz, korlátozott; illetve, hogy az ún. hidegpontot állandó hőfokon kell tartani.

4.5.2. Ellenálláshőmérők

Működésük alapja, hogy a fémek elektromos ellenállása a hőmérséklet emelkedésével növekszik. Ha ismerjük a huzal ellenállását egy adott hőmérsékleten (például +100°C-on), akkor a huzal anyagától függő állandó ismeretében bármilyen más hőmérsékleten meghatározhatjuk annak ellenállását. Ebből következően, ha a huzal ellenállását mérni tudjuk, meghatározhatjuk a huzal hőmérsékletét. Általában,

olyan anyagból készült huzalokat alkalmaznak, amelyek a hőmérséklet hatására jelentősen változtatják az ellenállásukat. A nikkel és platina ötvözetből készült huzalok terjedtek el leginkább. Ezeknél 100°C hőmérsékletváltozás hatására 30-60%-os ellenállás változás következik be. Alapellenállásuk rendszerint 100 ohm.

Mivel a jelet továbbító vezetéknek is van ellenállása, ezért ezek az ellenállások a vezetékkel együtt hitelesítendőek. Előnye a kis hőtehetetlenség és a távmérés lehetősége. Kis tömege, kompaktsága a terepen való alkalmazásra is megfelelővé teszi. Digitális adatgyűjtővel összekötve a további számítógépes adatfeldolgozás számára közvetlenül felhasználható formában gyűjtheti az adatokat. Hátránya ugyanakkor az, hogy az elektromágneses erők zavarhatják a mérést, illetve, ha a kábel megsérül, az ellenálláshőmérő hibás adatokat mér.

4.5.3. Termisztorok

Nevük a „termikus érzékenységu rezisztor” kifejezésből ered, vagyis *hőérzékeny ellenállást jelent*. Az előzőkben bemutatott fém ellenállás-hőmérők is ilyenek, a *termisztor elnevezést* ennek ellenére csak a *félvezető ellenállás-hőmérőkre alkalmazták*. A *félvezetők ellenállása a hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan csökken*, ellentétben a fémekkel. A termisztorok hő okozta ellenállás változása kb. egymilliószor nagyobb, mint a fémeké. A hőmérséklet növekedésével a termisztorok hőérzékenysége jelentősen csökken, de a meteorológiai mérésstartományban még így is kb. tízszer jobb, mint fém ellenállás hőmérőké.

A termisztorok hőérzékelője az ún. termisztor massa. Többnyire valamilyen fémoxid, aminek kristályai közé szennyezőanyag ékelődik, ezáltal vezetőképessége csökken. Előnyeik: kis méretük és nagy hőérzékenységu miatt alkalmasak kis kiterjedésű testek, kis légterek hőmérsékletének mérésére és gyors hőmérsékletváltozások követésére. Hátrányaik a termisztor massa szerkezetéből adódnak. A termisztor massa kristályaiban az idő múlásával átrendeződések következnek be, melyek a vezetőképesség, az ellenállás megváltozását idézik elő. Az instabilitás oda vezet, hogy a termisztor ellenállása adott hőmérsékleten időben nem állandó, így minden termisztornak egyedi ellenállási jelleggörbéje van.

4.6. Lézeres hőmérsékletmérők

Ezeket a berendezéseket turbulensen áramló folyadékok igen gyors hőmérsékletváltozásainak mérésére fejlesztették ki. Alapjuk az áramló folyadék sűrűség változásainak mérése. A sűrűségváltozások az általános gáztörvény szerint egyértelmű kapcsolatban vannak a hőmérsékletváltozásokkal.

A lézersugarat két részre bontják, a nyaláb egyik felét a folyadékon, a másikat levegőn bocsátják keresztül, majd újra egyesítetik. Az eltérő sűrűségű közegen áthaladó két fénynyaláb között a sűrűség különbséggel arányos fáziseltolódás jön

létre. A fáziseltolódásból a sűrűség különbség, abból a hőmérsékleti különbség határozható meg. A műszer néhány °C-os hőmérsékletváltozásokat ezredmásodperc alatt képes megmérni.

A műszert gyors reaktorok hirtelen hőmérséklet-változásainak ellenőrzésére használják.

4.7. Infravörös hőmérők

Az infravörös sugárzás az elektromágneses spektrum része. A látható fénynél hosszabb, a mikro- és rádióhullámokénál rövidebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás tartozik ide 0.78 μm és 1000 μm között (lásd még „A napsugárzás mérése” c. fejezetet). Az infravörös hőmérsékletmérés fizikai elméleti alapjait még a 20. század fordulóján Planck, Boltzmann és Wien dolgozták ki. Minden 0 K-tól magasabb hőmérsékletű test bocsát ki és nyel el elektromágneses sugárzást. A sugárzó testek igen széles spektrális tartományban bocsátják ki (emittálják) az elektromágneses sugárzást, azonban van egy jellegzetes hullámhossz (λ_{max}), ahol a test a legnagyobb energiát bocsátja ki. Ezt a hullámhosszat Wien szerint a

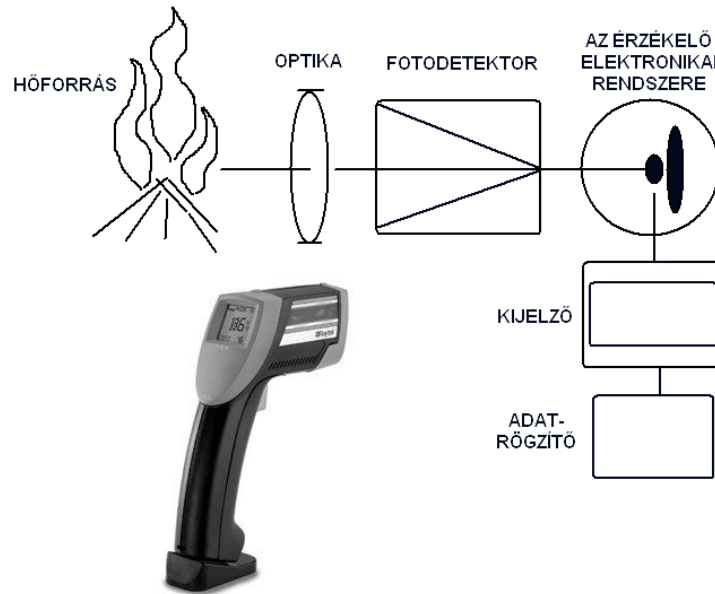
$$\lambda_{\text{max}}=2884/T$$

összefüggés segítségével határozhatjuk meg, ahol λ_{max} a legnagyobb energiát szállító hullámhossz, T a sugárzást kibocsátó test hőmérséklete K-ben kifejezve. A testek felületi hőmérséklete, és az általuk kibocsátott sugárzás spektrális összetétele tehát összefügg. A több ezer K felszíni hőmérsékletű csillagok a látható fény, esetleg az ultraibolya, gamma, vagy akár a röntgensugarak tartományában sugároznak legintenzívebben. A Föld légkörének közéghőmérséklete 15°C, vagyis 288 K, tehát a légkör 10 μm körül, a távoli infravörös tartományban sugározza ki a legtöbb energiát. Ugyanígy, a Föld felszínén és a légkörben minden hasonló hőmérsékletű tárgy, (beleértve az emberi testet is) az infravörös sugarak tartományában sugároz legerősebben. A meteorológiai mérések során tehát olyan testekkel van dolgunk, amelyek az infravörös sugarak (hősugárzás) tartományban bocsátják ki a legtöbb energiát, a mérésnél, ezért erre a tartományra kell koncentrálni.

Az infravörös termográfia lényege, hogy meghatározott hullámhossz-tartományban (általában 8-14 μm) mérve a testek felületéről érkező infravörös sugárzást, és a befolyásoló tényezők (távolság, páratartalom, környezeti hőmérséklet, emissziós tényező stb.) figyelembevételével pontos, érintkezésmentes hőmérsékletmérés valósítható meg széles hőmérséklet tartományban, viszonylag nagy távolságból is.

A sugárzás, ami a mért test felől érkezik az infravörös hőmérő optikai rendszerére érkezik, ami egy, vagy több fotodetektorra továbbítja azt (4.12. ábra). A detektor alakítja át a sugárzási energiát elektromos jellé. Ezt a jelet az érzékelő kalibráló függvényének, és a mért, testre jellemző emissziós együtthatónak a figyelembevételével alakítja a kijelzőn megjelenített hőmérsékleti értéké, esetleg tovább,

számítógépes adatfeldolgozásra alkalmas digitális jellé. *Az emissziós együttható* az adott anyag, vagy felszín infravörös emissziós tulajdonságait jellemző állandó. A sugárzás infrahőmérő által mért értéke és a test valódi, termodinamikai hőmérséklete közötti összefüggést adja meg. Az infrahőmérőkön mérés előtt be kell állítani a mért anyag emissziós együtthatóját (0,1 és 1,0 közt) a pontos hőfok kijelzése érdekében (4.1.táblázat).



4.12. ábra
Az infrahőmérők felépítése

4.1. táblázat.

A különböző anyagok emissziós együtthatói.

Anyag	Emissziós tényező 8 - 14 μm
AGYAG -SZÁRAZ	0.90
AGYAG-NEDVES	0.98
ALUMINIUM	0.02
ASZFALT	0.98
BETON-NEDVES	0.98
BETON-SZÁRAZ	0.91
BŐR	0.96
CUKOR	0.98
FA	0.90
GUMI	0.96
GYÜMÖLCS	0.98
HOMOK	0.92
HÚS	0.96
KŐ	0.95
MŰANYAG	0.96
OLAJ	0.98
PAPÍR,	0.80
RÉZ	0.02
SZÖVET	0,8-0,95
ÜVEG	0.90

Az infravörös hőmérőeszközök két nagy csoportba sorolhatók. *Az elsőbe az adott felület átlaghőmérsékletének a mérésére szolgáló hőmérők tartoznak. A második csoportban találhatók a teljes hőterkép készítésére és elemzésére alkalmas eszközök (hőkamera).*

Az infrahőmérők többsége -20 és +500°C közötti tartományban képes az adott felszín hőmérsékletének 1%-os pontosságú mérésére néhány méter, néhány száz tíz méteres távolságon belül. Az infrahőmérők a meteorológia mellett elterjedtek a gyógyászatban, a mezőgazdaságban és az iparban is. Minden olyan helyen megfelelőek, ahol gyors és érintkezésmentes hőmérsékletmérésre van szükség, vagy a kontakthőmérők nem biztosítanak megfelelő eredményt.

DUPress

5. A légnyomás mérése

5.1. A légnyomás fogalma

A *légnyomáson* a talajfelszín vagy a légkör adott magasságában, a vonatkoztatás helyétől a légkör felső határáig terjedő függőleges légoszlop felületegységre ható súlyát értjük.

$$p = h \cdot \zeta \cdot g$$

Ahol a p a légnyomás, h , a légoszlop magassága, ζ a levegő sűrűsége és g a gravitációs gyorsulás. A légnyomás mérésének számos *mértékegysége* ismert (5.1. táblázat). Megszűnő mértékegységei (atmoszféra, torr, higanymilliméter, víz-oszlop-milliméter) helyett, SI-mértékegységként a pascal használatos ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). A normál légnyomás (1 atm) 10^5 pascallal egyenlő. A nyomást barban is kifejezhetjük ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm}$).

5.1. táblázat
A légnyomás mértékegységei

1 Pa	1 bar	1 mbar	1 Hgmm (1 torr)
-	100 000 Pa	100 Pa	133,322 Pa
0,00001 bar	-	0,001 bar	0,0013332 bar
0,01 mbar	1000 mbar	-	1,3332 mbar
0,00750064 Hgmm	750,075 Hgmm	0,750075 Hgmm	-

Gyakorlatban a hPa használatos, ami a mbar-ral egyenlő értékű. A tengerszinten, 0°C hőmérséklet mellett a felületegységre ható $1013,25 \text{ mbar}$ normál légnyomással 760 mm magas higanyoszlop tart egyensúlyt. Másképp fogalmazva, a „standard” feltételek között érvényesülő (tengerszinten, a f. sz. 45° -án), a felületegységre (1 cm^2) ható nyomás:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ mbar} = 760 \text{ Hgmm} = 760 \text{ Torr}$$

5.2. A légnyomás mérésének műszerei

A légnyomás értéke időben és térben változik. Adott időpontban a Föld felszínének valamely pontján lévő légnyomás meghatározására használatos eszközök a különféle *barométerek*. Nemzetközi megállapodás szerint minden forgalomban levő barométert millibar (mbar) beosztású skálával kell ellátni.

A légnyomásmérő műszereket három csoportba soroljuk:

- A folyadékbarométerek
 - az általuk fölemelt folyadékoszlop magasságával vagy
 - a folyadékoszlop súlyával jelzik a légnyomást
- A folyadék nélküli (aneroid) barométerek
- A forráspont hőmérők (hipszométerek)

5.2.1. Folyadékbarométerek

A méréshez használt folyadék kizárólag higany, mert

- a higany nagy fajsúlya miatt a légnyomás kis folyadékoszlopot emel föl
- a higany párolgása normál hőmérsékleten egészen kicsi, ezért gőzei alig befolyásolják a mérőcső légüres terét
- a higany nem tapad az üvegfalhoz, domború meniszkusza van, amelynek közepe vízszintes szemállás mellett jól észrevehető.

Ezen barométerek működési elve *Torricelli kísérletén* alapszik. Legfontosabb alkotórészük egy felül zárt, alul nyitott üvegcső, melynek nyitott vége egy higanyval töltött csészébe merül. Ezt a berendezést úgy állítják össze, hogy először a csövet megtöltik higanyval, majd száját elzárva megfordítják és így süllyeszti be (függőleges helyzetben) a csészében lévő folyadékba. A csövet ebben a helyzetben megnyitva a benne lévő folyadék lesüllyed és abban a magasságban állapodik meg, amennyivel a légnyomás egyensúlyt tud tartani. A folyadék lesüllyedésekor a cső zárt végében légüres tér keletkezik, a folyadéktöbblet pedig a csészébe folyik át. A csészében lévő folyadékfelszín és a csőben lévő folyadékfelszín közötti távolság a *nyers barométerállás*.

A nyers barométerállásban olyan tényezők hatása is beletartozik, amelyek a nyomást gyakorló levegő tömegétől függetlenek, de a higanyoszlop magasságára hatással vannak. Ilyen tényezők a higany hőmérséklete, a nehézségi erő különbségei földrajzi szélességenként és változó tengerszint fölötti magasságban, továbbá a higany párolgása miatt a mérőcső légüres terébe bejutó higanygőz nyomása. Ezeknek a hatásától különböző *korrekciók* alkalmazásával a nyers barométerállást megszabadítjuk, és ezzel az eljárással a mért adatot összehasonlításra alkalmassá tesszük.

Hőmérsékleti korrekció: A higanyoszlop magassága nemcsak a légnyomástól, hanem a higany hőtágulása miatt a pillanatnyi hőmérséklettől is függ. Ezeket a hőmérsékleti hatásokat úgy küszöbölhetjük ki, hogy a mérési adatokat a higanyoszlop 0 °C melletti hosszúságára számítjuk át egy segéd táblázat értékei alapján, a barométerbe beépített hőmérő által mutatott hőmérséklet szerint. A barométert kis hőingású helységben helyezük el, külön védelmet biztosító szekrényében.

Nehézségi korrekció: Mivel a nehézségi erő a földrajzi szélességgel és tengerszint feletti magassággal változik, a földfelszín különböző pontjain ugyanazzal a légnyomással nem pontosan azonos magasságú higanyoszlop tart egyensúlyt. Ezért

a nyers barométerállást arra a nehézségi erőre számoljuk át, amekkora a 45° földrajzi szélességen, a tengerszinten van.

Kapilláriskorrekció: Ha vékony üvegcsövet higanyba mártunk, a csőben a higany alacsonyabban áll, mint kívül, mert a higany nem nedvesíti az üveget, és emiatt a hajszálcsőben a kapilláris süllyedést szenved. A hiba kiküszöbölése vagy korrekció alkalmazásával történik, vagy azáltal, hogy a mérőcső felső végét szélesebbre készítik.

Gőznyomáskorrekció: A mérőcső felső végén lévő légüres térben a higany párológ, és gőze nyomást gyakorol a higanyoszlopra. Ezt a hatást csak a barométerek hitelesítésére használt főbarométereknél vagy normálbarométereknél veszik figyelembe, ahol egészen pontos mérésekre van szükség.

Ezen túlmenően figyelembe kell venni egyéb hibaforrásokat is, amelyek azonban nem igényelnek korrekciót:

- a szél hatása,
- a műszerek hőmérsékletének bizonytalansága,
- a vákuum tökéletlensége,
- a függőlegestől eltérő felfüggesztés leolvasási hibái.

Ezen zavaró tényezők ellenére a légnyomásmérésnek ma is a legpontosabb alapműszerei a higanybarométerek.

A légnyomás változásával nemcsak a csőben lévő higanyoszlop magassága változik, hanem az alsó edényben lévő higany felszíne is. Mivel a higanyoszlop magassága az edényben lévő higany felszínétől számítható, utóbbi ingadozásait (*nullpontingadozás*) ki kell küszöbölni. A higanyos barométerek fajtái egymástól lényegében abban tértek el, hogy a nullpontingadozást milyen módszerekkel sikerült kiküszöbölni: (a) a higanyoszlop melletti skála mozgatható, és azt kell mérés-kor a higanyfelszínhez igazítani vagy (b) az edény higanyfelszínét tartjuk azonos magasságban.

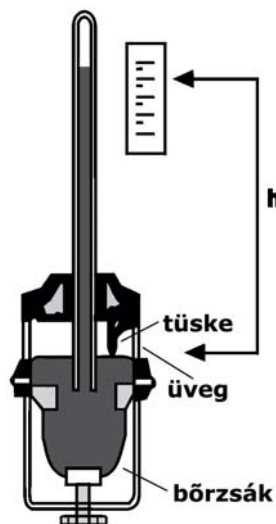
5.2.1.1. Fortin-féle barométer

A műszer alsó részén egy bőrsák található, amelyet egy szabályozó csavarral mozgatható tányér tart meghatározott helyzetben (5.1. ábra). A bőrsák fölött egy üveghenger helyezkedik el, amelyen keresztül a higany felszíne jól látható. Az edény felső részéből finom elefántcsont túske nyúlik ki a higanyfelszín felé.

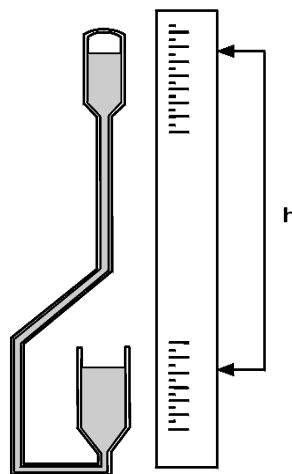
A mérés azzal kezdődik, hogy a szabályozó csavarral a bőrsákot addig emeljük, amíg az elefántcsont túske éppen érinti a higanyfelszínt. Ezzel megtörtént a nullpont beállítása, ezután már csak a felső higanyszint helyzetét kell leolvasni.

5.2.1.2. Gay-Lussac-féle barométer

Szifonbarométernek is nevezik. Nincs alsó higanytartó edénye, hanem az üvegcső alsó nyitott vége U alakban fölfelé van hajlítva, másik szárának felső vége zárt, és a higanyoszlop felett légüres térrel rendelkezik (5.2. ábra). A légnyomás növekedése a baloldali, zárt végű csőben a higanyoszlop emelkedését okozza. A légnyomás nagyságát tehát a két higanyfelszín távolsága mutatja. Azokon a szakaszokon, ahol a higanyfelszín helyzete változhat (itt az üvegcső kivastagodik), a légnyomás értékének leolvasását egy-egy odaillesztett skála segíti.



5.1. ábra
A Fortin-féle barométer



5.2. ábra
Gay-Lussac-féle barométer

5.2.1.3. Fuess-rendszerű állomásbarométer

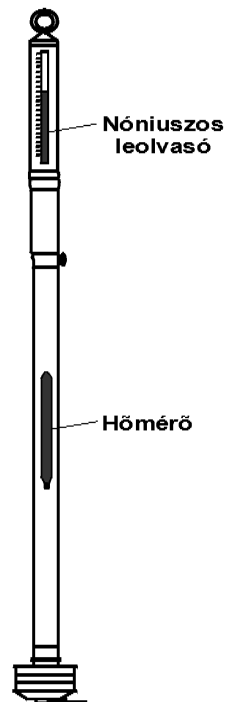
Itt nincs nullpontbeállítás, amivel csökken az észlelési hibaforrások száma. Ez úgy érhető el, hogy a műszer készítésekor pontosan lemérik a barométer üvegcsőjében lévő higanyoszlop keresztmetszetét, továbbá az edényben elhelyezett higany felületét. A kapott két adat felhasználásával ún. kompenzációs skálát készítenek, amely már eleve a barométerállást adja meg, az alsó higanyszint egyidejűleg fellépő változásának figyelembevételével.

Ezek a barométerek könnyen kezelhetők, a pontos leolvasást csavarral állítható, ún. nóniuszos csuszka segíti.

Az állomásbarométerekkel szemben támasztott főbb követelmények:

- pontossága időben ne változzon,

- könnyű és gyors leolvashatóság,
- ne legyen érzékeny a szállításra,
- a higanycső átmérője 8–9 mm legyen,
- a higany hőmérsékletét mérő hőmérő a higannyal töltött belső csővel érintkezzék,
- a meniszkusz ne legyen lapos,
- összehasonlításkor a maximálisan megengedett hibája 1000 mbar-nál $\pm 0,3$ mbar legyen.



5.3. ábra
A Fuess-rendszerű állomásbarométer

5.2.1.4. Mérlegbarométerek

A légnyomásváltozásokat a higanybarométer mérőcsövében levő higanyoszlopnak nem a magasságával, hanem a súlyával mérik. Legismertebb közülük a *Sprung–Fuess-rendszerű mérlegbarométer*, amelynél a mérleg egyik karjára egy csészés higanybarométer mérőcsöve van felfüggesztve, amivel a mérleg másik karján egy önműködően mozgó súly tart egyensúlyt. Utóbbi mozgásának följegyzése a légnyomásváltozások pontos regisztrálását teszi lehetővé.

Elhelyezésüknél figyelmet kell fordítani arra, hogy:

- viszonylag egyenletes hőmérsékleti viszonyokat biztosítsunk (hirtelen változásoktól védjük),
- direkt napsugárzásnak ne tegyük ki,
- a rázkódástól védjük.

5.2.2. Folyadék nélküli barométerek (aneroidok)

Különböző nyomású terek elválasztó falaira a nyomáskülönbség következtében erők hatnak. Ha ez a válaszfal rugalmas, akkor a magasabb nyomás felől benyomódik, és a benyomódás mértéke alapot adhat a nyomáskülönbség nagyságának meghatározásához.

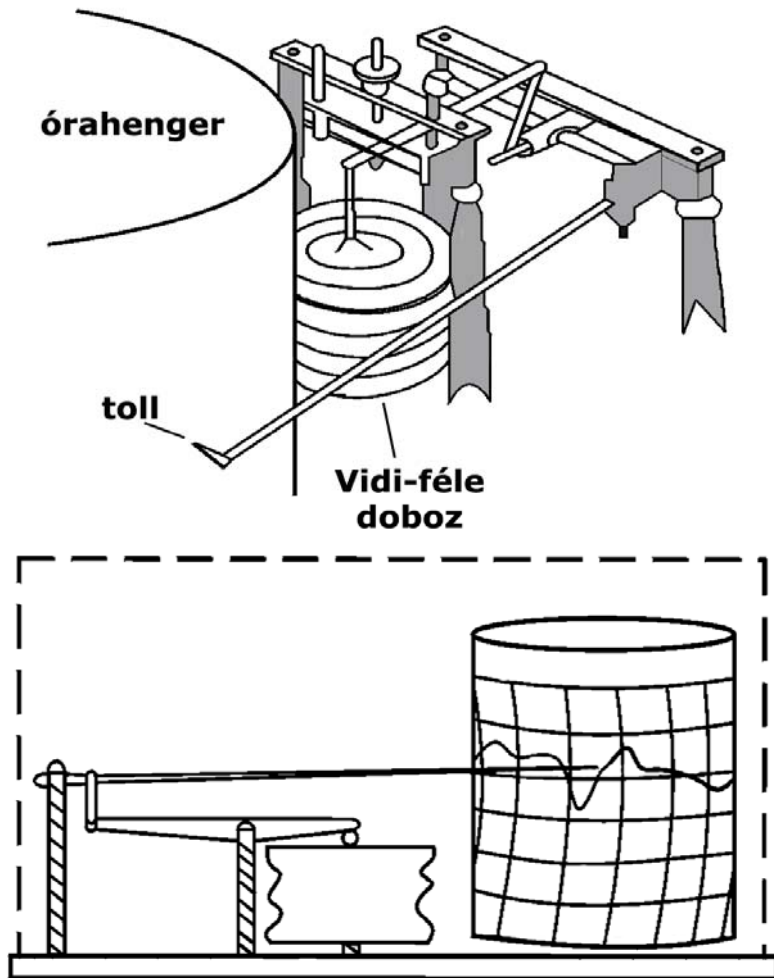
Az *aneroid barométerek* ezt a nyomáskülönbségből adódó alakdeformációt használják ki. Nyomásérzékelőjük az ún. *Vidi-féle doboz*, amely rugalmas fémlemezből készült vékonyfalú, lapos szelence. A doboz erősen légritkított, a külső légnyomás összelapítaná, ha a tetejét rugóval ki nem támasztanák. A változó légnyomás miatt a rugó különböző mérvű összenyomódása révén egészen kis mozgásokat végez. Könnyen belátható, hogy ezek a mozgások roppant csekélyek ahhoz, hogy így pontos, megbízható műszereket lehessen készíteni. A szelencék „sorba kapcsolásával” – vagyis több szelence egymásra helyezésével – az egyenkénti elmozdulás összeadódik. Az elmozdulást nagyító áttétel segítségével sokszorosára növelik, és átteszik egy mutatóra, amely milliméter-skála előtt mozog, és a légnyomásváltozást leolvashatóvá teszi.

Az aneroidok elsősorban a nyomásváltozás irányának meghatározására alkalmasak, a légnyomás pontos megállapítása csak higanyos barométerrel való egyidejű mérésekkel lehetséges. Ezért az aneroidokat korábban íróműszerként (*barográf*) használták (5.4. ábra). A barográf óramű által forgatott hengeren elhelyezett papírszalagon, írókar segítségével rögzíti a légnyomás változását.

Az aneroid barométereknek és a higanybarométerek között fellépő különbségek:

- Előnyei:
 - könnyen szállíthatók,
 - használatuk egyszerű,
 - olcsón beszerezhetők,
 - és nehézségi korrekcióra nem szorulnak.
- Hátrányai:
 - nagy a tehetetlenségük, emiatt beállításuk késik,
 - bonyolult a hőmérsékleti korrekciójuk,
 - ezért nem olyan pontosak, mint a higanybarométerek.

A légnyomásmérők automatizálása hátrányaik ellenére az aneroidok irányában történt meg.

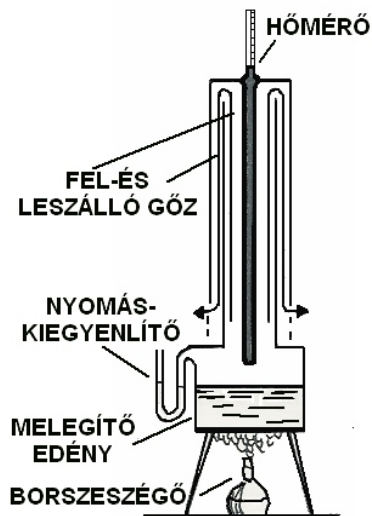


5.4. ábra
Az aneroid barográfok felépítése

5.2.3. A forráspont hőmérők (hipszométerek)

Egy folyadék akkor kezd el forni, amikor a gőz nyomása egyenlő a külső légnyomással. Mivel a gőznyomás a hőmérséklettől függ, alacsonyabb hőmérséklet gőznyomása kisebb légnyomással tart egyensúlyt, azaz a folyadék alacsonyabb hőmérsékleten forr, mint a nagyobb légnyomás mellett. A forráspont légnyomásából tehát meg lehet határozni a légnyomást. Azokat a műszereket, amelyek ezen elven működnek, hipszométereknek nevezzük.

A hipszométerek egy vízmelegítő edényből állnak, ami hosszú kettős falú (felszálló és leszálló) csőben folytatódik (5.5. ábra). Az edénybe felülről hőmérő nyúlik be. A melegítőedénybe töltött desztillált vizet alulról borszeszégővel melegítik. A keletkező gőz a csővön belül felfelé, majd lefelé, kifelé áramlik. A hőmérővel állapítható meg a víz forrásának hőmérséklete. A forráspont és a külső légnyomás közötti összefüggés figyelembevételével az eszköz magasságmérést is lehetővé tesz.



5.5. ábra.
A hipszométer felépítése

6. A levegő mozgásának mérési elvei és eszközei

6.1. A szél mérésének általános kérdései

A Földet övező gázburok állandóan mozgásban lévő, dinamikus rendszer. A légköri mozgások globális rendszerének létrejöttének oka abban áll, hogy a Naptól érkező sugárzási energia a Föld gömbfelszínén nem oszlik el egyenletesen, és ez nyomás és sűrűségkülönbséget idéz elő légkörben. A rendszer egyensúlyra törekedve tömegáramokat, légmozgásokat generál. A nyomáskülönbségből származó nyomási gradiens erő, a forgórendszerekre jellemző Coriolis erő, illetve a felszín közelében kialakuló súrlódási erő eredőjeként jön létre relatív elmozdulás a felszínhez képest, amelyet szélnek nevezünk. A levegő bármilyen irányába elmozdulhat az őt létrehozó erők eredőjeként, azonban hagyományosan szélnek csak a felszínnel párhuzamos, vízszintes összetevőt tekintjük, mivel különösen a talaj közelében a függőleges irányú elmozdulás nagyságrendekkel kisebb. *A szél nagysággal és iránnyal rendelkező vektormennyiség*, tehát két, vagy háromdimenziójú szélvektor segítségével írhatjuk le egzakt matematikai formában.

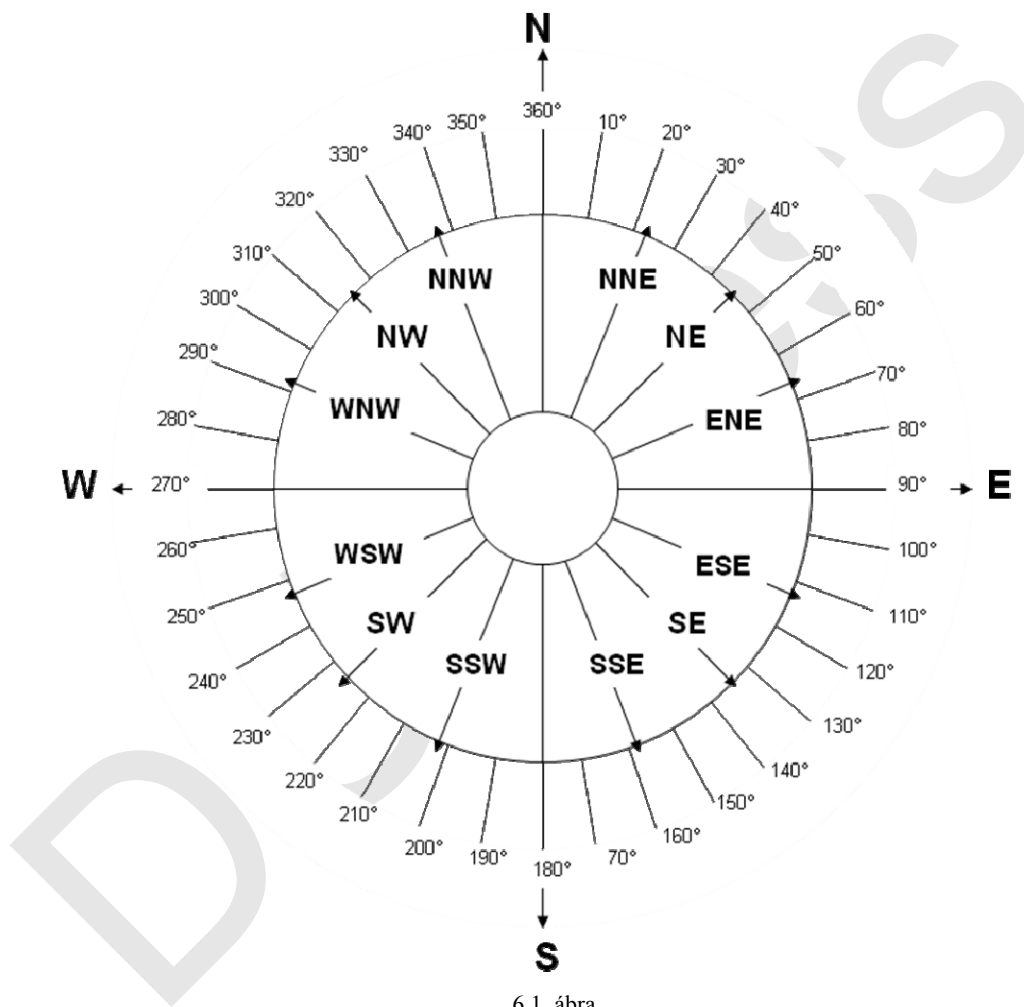
Az x , y és z tengelyeket tartalmazó derékszögű koordináta-rendszerben rendre u , v és w szélvektorok, a szél vízszintes és függőleges irányú összetevői a vektor-számítás szabályai szerint adják meg a szél erősségét. A *szélsebességnek* számos *mértékegysége* létezik: m/s , km/h , *csomó (knots)*, *mérföld/óra*. Érdekes tudni, hogy $1 m/s = 3,6 km/h = 2.237 mérföld/óra = 1,944 knots$, tehát közel 2 csomónak felel meg.

Az alkalmazott mértékegységből logikusan következik, hogy a szél sebessége az *egységnyi idő alatt megtett szélúttal* is összefüggésbe hozható. A szélút szemléletesen az a távolság, amelyet vízszintesen egy képzeletbeli levegőrészecske egységnyi idő alatt a légáramlás segítségével megtesz. A választott átlagolási időegységen belül mért legnagyobb szélsebesség a *széllökés*, amely a felszín közeli légmozgások turbulens jellegéből adódik. A maximális széllökés mértékegysége szintén m/s , nagysága jellemzi a turbulens áramlásban jellemző örvények méretét, intenzitását. A 10 perces átlagolási időn belül mért széllökés közel egyharmaddal erősebb, mint ugyanannyi idő alatt mért átlagos szélsebesség.

A szél az útjában álló akadályokra nyomóerőt fejt ki, amelyet egységnyi felületre vonatkoztatva mérni is lehet. A szélnyomás nagysága a szélsebesség négyzetével arányos. A *szélnyomás* hatását magas, nagy légellenállású építmények tervezésénél is számításba kell venni.

A *szél irányának* azt tekintjük, ahonnan abban a pillanatban ténylegesen fúj. A horizontot 360° -ra osztva a szél iránya fokban pontosan megadható, amely kategóriáinak azonosításához hagyományosan *az égtájak angol, vagy magyar elnevezéseit*, rövidítéseit *használjuk*. A 6.1. ábra olyan *szélrózsát* mutat, amely $22,5^\circ$ széles

intervallumokkal 16 részre van osztva, így feleltethető meg a szél iránya a legfontosabb égtájaknak. Használhatunk *szélkódokat*, amelyek a legközelebbi 10 fokra kerekített értékek rövidítései. Például 02 szélkód esetén a szél iránya 15-25° között van, 36 szélkódnál 360°, azaz északi irányból fúj a szél. A 00 kódot, pedig szélcsend idején alkalmazzák. A szél irányát az u és v szélvektorok iránytangensének x tengellyel bezárt szögének felhasználásával is meghatározhatjuk.



6.1. ábra
A szélrózsza

Az időjárás előrejelzést segítő szinoptikus térképen a felszíni állomások megfigyeléseit, az uralkodó időjárást szimbólumok segítségével jelenítik meg (6.2. ábra). Az állomáson uralkodó szél irányát, a felhőborítottságot jelölő körhöz kapcsolódó

vonal jelöli, míg közel 5 csomó intervallumonként hosszabb-rövidebb vonások, kis szélzászlók szimbolizálják a különböző erősségű szeleket (6.3. ábra).



6.2. ábra

Földfelszíni állomáson mért szélirány és szélesség jelölése szinoptikus térképen

Megfigyelt szélesség	5 csomóra kerekítve	Alkalmazott szimbólum	Megfigyelt szélesség	5 csomóra kerekítve	Alkalmazott szimbólum
0-2 csomó (0-2 mérföld)	0 csomó		38-42 csomó (44-48 mérföld)	40 csomó 20 m/s	
3-7 csomó (3-8 mérföld)	5 csomó		43-47 csomó (50-54 mérföld)	45 csomó	
8-12 csomó (9-14 mérföld)	10 csomó 5 m/s		48-52 csomó (55-60 mérföld)	50 csomó 25 m/s	
13-17 csomó (15-20 mérföld)	15 csomó		53-57 csomó (61-66 mérföld)	55 csomó	
18-22 csomó (21-25 mérföld)	20 csomó 10 m/s		58-62 csomó (67-71 mérföld)	60 csomó 30 m/s	
23-27 csomó (26-31 mérföld)	25 csomó		63-67 csomó (73-77 mérföld)	65 csomó	
28-32 csomó (32-37 mérföld)	30 csomó 15 m/s		98-102 csomó (113-117 mérföld)	100 csomó 50 m/s	
33-37 csomó (38-43 mérföld)	35 csomó		102-107 csomó (119-123 mérföld)	105 csomó	

6.3. ábra

A szélesség szimbólumai időjárási térképen

(forrás: http://www.srh.weather.gov/srh/jetstream/synoptic/additional_symbols.htm)

A gyakorlatban az alapvetően bonyolult légmozgások mérése és leírása különös fontosságú, hiszen a napi operatív időjárás előrejelzéstől, a repülés meteorológiai kiszolgálásától kezdve, a kicserélődési folyamatokon át, a szennyező anyagok légköri transzportjának modellezéséig széleskörű a felhasználása. Napjainkban egyre terjed a szél energetikai hasznosítása, ahol a szélérések eredményei többszáz-milliós beruházások sorsát dönthetik el. A gyakorlati alkalmazások más-más pontosságú, megbízhatóságú, időléptékű szélparaméterek mérését követelik meg. A mérés magasságának, a mérendő paraméterek körének meghatározásánál, a műszerek kiválasztásánál a mindenkor gyakorlati igényekhez kell igazodni, hiszen manapság bármilyen árkategóriában találhatunk megfelelőnek tűnő szélmérőt. A szenzorok minden követelménynek megfelelő elhelyezése, rendszeres kalibrációja, karbantartása rendkívül fontos, hiszen csak megbízható mérési eredmények alapján lehet megalapozott döntéseket hozni, következtetéseket levonni.

6.2. A szél megfigyelése műszerek nélkül

A levegő mozgásának megfigyelését *számos természeti jelenség*, a környezeti tényező segíti, például a felszálló füst, az áramló levegőben szabadon mozgó levelek. A szél által felkapott por láthatóvá teszi a felszín közeli légáramlásokra jellemző turbulens örvényeket. Tengerpart közelében, vagy hágókon magányosan álló eldeformálódott fák egyértelműen mutatják az uralkodó szélirányt. Ha pedig arccal szembefordulunk a széllal, a topográfiában ismert égtáj meghatározással pontosan megadhatjuk a pillanatnyi szél irányát is. Magasabb rétegek szélviszonyairól a vonuló felhők tájékoztatnak. A becslés hibája a mérésekhez képest elég jelentős lehet, azonban olyan eseten is információt nyerhetünk a szélviszonyokról, amikor nincs használható szélmérő eszközünk. Fontos, hogy megfigyeléseinket lehetőleg nyílt területen, szélárnyékot, helyi örvényeket keltő objektumoktól távol végezzük, eredményeink tágabb környezetre lesznek érvényesek.

6.2.1. Beaufort szélérőskála

A Beaufort skála egy *12 fokozatú tapasztalati skála*, amely eredetileg a szél tengerre és ez által a hullámok magasságára kifejtett hatása alapján jellemzi egy adott hely szélviszonyait (6.1. táblázat). A skálát 1805-ben Sir Francis Beaufort brit tengerészeti hivatalnok, hidrográfus szerkesztette. A hajózási célokra készült skála relatív szélviszonyokat jellemzett a rendszeres időjárási megfigyelések mellett, amely a tengerészekre váró kihívásokat tette egyszerű formában szemléletessé. Az eredetileg 12 fokozatú skála az 1830-as években vált hivatalossá a tengerészeti gyakorlatban, szárazföldi adaptálása 1850 körülre tehető. Segítségével a szárazföldön a heves szélviharok okozta károk alapján ítélni lehet meg a szél sebességét még olyan helyen is, ahol a vihar esetleg a mérőhelyeket tönkretette, vagy

elkerülte. A Beaufort skála szélsébség mérésekkel történő megfeleltetését meteorológusok végezték a XX. század elején, amikor összefüggésként az alábbi képletet határozták meg: $v = 0.837 B^{3/2}$ [m/s], ahol v a szél sebessége m/s-ban, B a Beaufort skála értéke.

Napjainkban is léteznek és alkalmazunk a Beaufort szélérőskálához hasonló tapasztalati skálákat. Ilyen például az Atlanti-óceánon létrejövő hurrikánok erősségét 5 fokozattal jellemző *Saffir-Simpson hurrikánskála*, amelynek első kategóriája a Beaufort skála 12. fokozatának felel meg. De a tornádók intenzitását jellemző *Fujita* és *TORRO skála* is megfeleltethető a Beaufort skála igen erős vihar kategóriáival. Ezen skálák használata azért is célszerű, mert igen ritka, hogy az ilyen extrém időjárási körülményeket precíz műszerek képesek lennének károsodás nélkül túlélni. A Földön a mai napig bizonyos területeken elterjedt szélérőskálát 1944 után 17 kategóriára egészítették ki, így képes leírni a földi körülmények között előforduló legnagyobb erejű orkánok, szélviharok pusztításait is.

A tapasztalati skála manapság hajózási előrejelzésekhez, figyelmeztetések kiadásához szolgál alapul. Az USA-ban 6-7 Beaufortnál a kisebb hajók kapnak figyelmeztetést, 8-9 B-nál szélviharjelzés, 10-11 B-nál viharjelzés történik. Trópusi ciklonhoz kapcsolódóan 8-11 B között trópusi viharfigyelmeztetés, míg >11 B felett hurrikánfigyelmeztetés kerül kiadásra a tengeren tartózkodóknak.

6.1. táblázat
 Beaufort szél erősség skála
 (forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)

Beaufort kategória	Szélsebesség				Átlagos szélsebesség (kt, km/h, mph)	Leírás	Hullám-magasság m	Tengeri viszonyok	Szárazföldi viszonyok
	kt	m/s	km/h	mph					
0	0	0-0.2	0	0	0 / 0 / 0	Szélcsend	0	Sima tenger.	Szélcsend. A füst függőlegesen felszáll.
1	1-3	0.3-1.5	1-6	1-3	2 / 4 / 2	Gyenge légmozgás	0.1	Fodrozódik hab nélkül.	A szélmozgás látható a füstön
2	4-6	1.6-3.3	7-11	4-7	5 / 9 / 6	Könnyű szellő	0.2	Kis hullámok. A tarajok üvegesek, de nem buknak át.	A szél érezhető a bőrön, a levelek suhognak
3	7-10	3.4-5.4	12-19	8-12	9 / 17 / 11	Szelíd szél	0.6	Nagy hullámok. A hullámtarajok kezdenek átbukni, elszórtan fehér a teteje.	Levelek és kisebb gallyak állandóan mozognak
4	11-16	5.5-7.9	20-29	13-18	13 / 24 / 15	Mérséklet szél	1	A hullámok alacsonyak, de egyre hosszabbak.	A füst és lebegő papír emelkedik. A kisebb ágak mozogni kezdenek.
5	17-21	8.0-10.7	30-39	19-24	19 / 35 / 22	Élénk szél	2	Mérsékleten (1.2m) hosszú hullámok. Néhány taraja habzik és tajtékzik.	Kisebb fák billegnek
6	22-27	10.8-13.8	40-50	25-31	24 / 44 / 27	Erős szél	3	Nagy hullámok átbukó tarajjal, amelyek néha tajtékzanak.	Nagyobb ágak mozognak. Drótok felett fűtyül a szél. Nehéz használni az esernyőt.

6.1. táblázat
 Beaufort szélerősség skála
 (forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)

7	28-33	13.9-17.1	51-62	32-38	30 / 56 / 35	Nagyon erős szél	4	Viharos tenger. A tajtékzó hab csíkokba rendeződik	Az egész fa mozog. Erőfeszítés kell a széllal szemben haladni
8	34-40	17.2-20.7	63-75	39-46	37 / 68 / 42	Szélvihar	5.5	Mérsékleten magas, hosszú tarajú hullámhegyek, a tajtékzó hab egyértelműen csíkokba rendeződik	Gallyak törnek le a fáról. Autók irányt változtatnak az úton
9	41-47	20.8-24.4	76-87	47-54	44 / 81 / 50	Erős szélvihar	7	Magas hullámok (2.75 m) sűrűn tajtékkal. A hullámok teteje átfordulnak. A víz jelentősen szóródik és habzik.	Enyhe veszély az épületekre
10	48-55	24.5-28.4	88-102	55-63	52 / 96 / 60	Vihar	9	Nagyon magas hullámok. A tengerfelszín fehér és állandóan hánykolódik. A látótávolság csökken.	A fák gyökereitől kifordulnak. Jelentékeny veszély az építményekre.
11	56-63	28.5-32.6	103-117	64-72	60 / 111 / 69	Heves vihar	11.5	Szokatlanul magas hullámok	Minden építményre veszélyt jelent.
12	>63	>32.7	>117	>72	N/A	Orkán, hurrikán	14+	Óriási hullámok. A levegő tele van tajtékzó vízzel és habbal. A tenger teljesen fehér. A látótávolság jelentősen csökken.	Súlyos veszély minden építményre

6.3. A szélmérés eszközei

A levegő mozgásának megfigyelésének igénye hosszú múltra tekint vissza, főként a vitorláshajózás elterjedésének, illetve a szélben rejlő energia hasznosításának köszönhetően. Bizonyítékot jelent az ókori Athénban épített szelek tornya, amelyen pálcát tartó emberfigura mutatta az Égei-tenger partvidékén oly gyakori Etéziás szelek irányát. Igen régi emlékek az egykori uralkodó szélirányába épített függőleges tengelyű gabonát őrlő, vagy vizet mozgató szélmalmok. Az idők folyamán az emberi leleményesség számos, ugyanakkor egyszerű elvet talált a szél tulajdonságainak vizsgálatára.

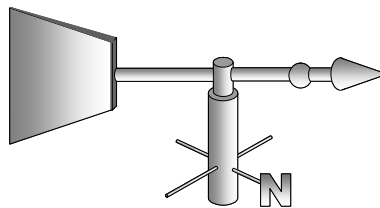
A szélmérő eszközök körében két csoportot különíthetünk el a mérés alapvető megközelítése alapján. Mérhetjük a szél sebességét és irányát külön-külön szenzorokkal, esetleg a két paraméter mérését kombináló összetett műszerekkel. A másik lehetőség az, hogy az u , v , és w szélvektorokat közvetlenül mérjük, és ezek segítségével számítjuk a szél sebességét és irányát.

Igen elterjedt, hogy a szél tulajdonságait mechanikus eszközökkel, áramló levegőbe állított valamilyen forgóeszköz segítségével direkt módon mérjük, de a szél által okozott fizikai hatás (nyomásváltozás, hőmérsékletcsökkenés mértéke, hangimpulzus átviteli sebessége) alapján is következtetünk a szél erősségére. Indirekt mérési elvet használva mozgó alkatrészt egyáltalán nem tartalmazó, ugyanakkor rövid reakcióidejű, nagy pontosságú szélmérők szerkeszthetők, melyek a mikrometeorológia igényeinek is megfelelnek.

6.3.1. Széliránymérés

6.3.1.1. Szélkakas – mechanikus szélirányjelző

Az egyik legrégebbi szélirányjelző eszköz, amely természetesen nem csak kakas formájú lehet (6.4. ábra).



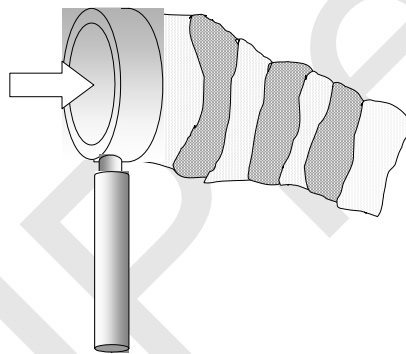
6.4. ábra
Szélirányjelző

A műszer lényege az, hogy egy tartóoszlopra a tengely mentén körbefordulni képes fémlapot helyeznek úgy, hogy a forgástengelyhez képest aszimmetrikus el-

rendezésű legyen. A szél a forgástengely két oldalán található fémlapokra egyaránt nyomóerőt fejt ki. Az aszimmetria miatt az egyikre nagyobb, a másikra kisebb nagyságú erő hat, ezért a forgástengely körül a fémlap elfordul. A szélkakasnak az a része fog a szél forrása felé fordulni, amelyre kisebb erő hat. Az aszimmetrikus figura kialakítása egyértelműen utal arra, melyik oldal mutatja a szélirányt. A forgástengely két oldalán eltérő alakból következő súlykülönbséget egy kisméretű golyó egyenlíti ki. A szél hozzávetőleges irányát egy betájolt fix égtájkereszthez viszonyítva tudjuk megadni.

6.3.1.2. Szélzsák- anemoszkóp

Ez az igen egyszerű szélmérő eszköz a szélkakashoz hasonló elven fordul szélirányba, azonban a ráfüggesztett, mindkét oldalon nyitott zsákalakú szövetdarab segítségével a szél erősségéről is tájékoztat (6.5. ábra).

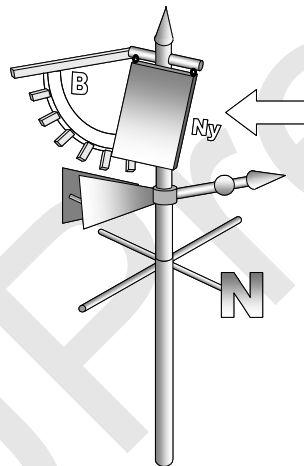


6.5. ábra
Anemoszkóp

A szél a zsákon keresztül halad, így a mozgó levegő nyomása a gravitációs erő ellenében a szél erősségének függvényében megemeli azt. A szélzsák alkalmazása igen olcsón teszi szemléletessé az áramló levegő tulajdonságait. Nem csak a szél irányának és erősségének a meghatározására szolgál, hanem segítségével könnyen látható lesz a szél lökésessége is. A szélzsákot máig használják a repülőtereken, illetve olyan útszakaszok mellett, ahol nagy sebesség mellett közlekedő járművekre veszélyes lehet a hirtelen megjelenő erős oldalszél. A repülőgépek pilótái az anemoszkóp segítségével egy pillantással fel tudják mérni, hogy milyen szélviszonyokra számíthatnak a fel- és leszálláskor a kifutópálya közvetlen közelében.

6.3.1.3. Wild-féle nyomólapos szélzászló

A korábbi eszközökhöz hasonlóan igen egyszerű és a múlt században elterjedt szélmérő eszköz volt. A szélirányba forgatást szélkakashoz hasonló szerkezet végzi a tartóoszlop felső részén. Alatta helyesen tájolt égtájkereszt, amelyen az N betű az északi irányra utal. A szélzászló különlegessége és szélerősségmérője a szélirányával mindig szembe forduló, két ponton felfüggesztett fémlap. A 150x300 mm méretű és 200 g súlyú fémlap a szélerősségének megfelelően kilendül és a mögötte található 7 fokozatú Beaufort skála segítségével olvashatjuk le a szél erősségét (6.6. ábra). Más mértékegységre történő átszámítást csak tapasztalati úton meghatározott táblázat segítségével végezhetjük el. Ebben az esetben a fémlap kilendülésének szögéhez rendelnek szélerősséget m/s mértékegységben. Ez a mechanikus műszer már csak néhány helyen található épségben az országban.



6.6. ábra
Wild féle nyomólapos szélzászló

6.3.1.4. Szélirányjelző-szélzászló

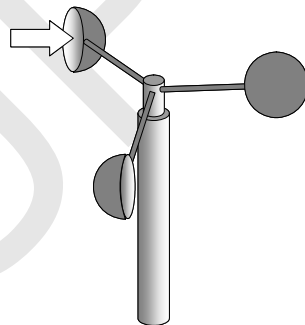
A meteorológiai megfigyelések automatizálásának követelménye mára szinte teljesen száműzte azokat az eszközöket, amelyek csupán mechanikus úton mutatják a szél pillanatnyi tulajdonságát. Minden érzékelő szenzornak, így a szélirányjelzőnek is alkalmasnak kell lenni arra, hogy elektromos elven működjön. A szélirányba fordulás ennél a műszernél is az aszimmetrikus forma eredménye. A mai szélirányjelzők 360° vagy 540° beosztású potenciométerek, azaz mindegyik irányhoz más-más elektromos ellenállás tartozik, így ellenállásmérésre vezetjük vissza a széliránymérést. Ezek az eszközök nagyjából 2° pontosságúak, amely elegendő a szinoptikus megfigyelésekhez. A legfontosabb a műszer elhelyezésekor a pontos

tájékozás. Ehhez nem elegendő egy iránytű, mivel a mágneses és földrajzi északi irány között van eltérés. Legegyszerűbb GPS segítségével a földrajzi északi irányba tájolni, de csillagászati módszerre adott földrajzi szélességen és időpontban meg tudjuk határozni a Nap deklinációjának mértékét. A széladatokat gyakran 1 órás időléptékben archiválják, noha a mérések mintavétele sokkal gyakoribb (1-10 perc)..

6.3.2. Rotációs szélességmérők

6.3.2.1 Kanalas anemométer

Szélesség méréséhez leginkább a szél irányától független, de a szél erősségének megfelelő forgási sebességű anemométert használunk (6.7. ábra). Az első forgókanalas szélességmérőt Edgeworth szerkesztette 1783-ban. Kezdetben 4, majd 3 forgó kanálból álló szerkezet függőleges tengely körül tud szabadon elfordulni annak köszönhetően, hogy a kanál homorú és domború oldalának légellenállási tényezője eltérő. Ez a jelenség forgatónyomatékokat generál. A forgatónyomaték tehát a szélesség négyzetével, és a kanalak alakjától függő tényezővel van összefüggésben. *A szélesség meghatározásához a fordulatszámot kell pontosan mérniünk.*



6.7. ábra.

Kanalas anemométer

Az ilyen elven működő legegyszerűbb eszköz a kézi kanalas szélességmérő. Ennek számlapján leolvasható a fordulatszámmal arányos szélút közvetlenül méterben kifejezve. A mérésnél ügyelni kell a tengely függőleges helyzetére. A méréshez stopperóra is szükséges. A szélességmérő és a stopper egyidejű indításával megkaphatjuk az időegység (1 perc) alatt megtett szélutat, amiből a mérési időtartam átlagos szélessége azonnal kiszámítható (szélút/mérési időtartam).

A fordulatszám meghatározása optikai jeladó és fototranzisztor alkalmazásával, vagy a Hall-effektust kihasználó impulzusgenerátor segítségével végezhető el elektromos úton. Az analizált jelet analóg, vagy digitális kijelzőn jeleníthetjük meg, vagy adatgyűjtőben tárolhatjuk. Az időjárási előrejelzésekhez használt szélességmérésnek legalább 0,5 m/s pontosságúnak kell lennie.

Tapasztalati úton szélcsatornában határozzák meg azt a függvényt, amely a fordulatszám és a szélessége közötti összefüggést mutatja. A kalibráció során meghatározott függvénynek lineáris összefüggést kell mutatni a szenzor indítási sebességét követően. Az indítási sebesség kivitelől függően változik, azonban szinoptikus mérésekhez, a pontosság követelménye miatt 0,5 m/s alatt kell maradnia. Az alacsony indítási sebesség eléréséhez egyre kisebb és könnyebb forgó kanalakat alkalmaznak. Ez azzal jár, hogy általában az erősebb szelek idején műszerünk túlpörög, tehát a tényleges szélességet felülreprezentáltan mérjük.

A műszer elhelyezésénél arra kell törekednünk, hogy tartóoszlopunk tökéletesen függőleges és stabil legyen, hiszen a szenzor csapágyazása igen érzékeny. Másrészt helyi hatásoktól, akadályok keltette örvényektől mentes területen végezzük megfigyelésünket. Fontos, hogy a szélzászló se legyen pontosan egyvonalban az anemométerrel. A tartóoszlopon az uralkodó szélirány oldalán megfelelő távolságot tartó traverzen kell elhelyezni, hogy minimalizáljuk az oszlop által keltett örvények hatását. Mérsékelt éghajlati területen gondoskodni kell a szenzor fűtéséről, hogy megóvjuk műszerünket a szabad mozgást akadályozó jegesedéstől, a zúzmara lerakódástól.

Meteorológiai állomásokon az anemométert standard 10 m magasságban helyezik el teljesen nyitott, rövidfüves ($z_0=0,03$ m érdesség) területen. A domborzat, az érdesség hirtelen változása, esetleg egy épület jelentősen módosíthatják eredményeinket, mindenképpen szűkítik azt a területet, amelyre méréseink még elfogadhatóak lesznek. A WMO előírásai szerint 300 m távolságban a műszer körül nem lehet jelentősebb akadály, vagy épület. Ha elkerülhetetlen, akkor a nem porózus akadály magasságának 20x távolságra kell felállítanunk műszerünket. Hegyvidéki területen a Bernoulli hatás elkerülésére lehetőleg szintén vízszintes felszint érdemes választani, illetve lehetőleg a lejtőszögnek 17° alatt kell maradnia.

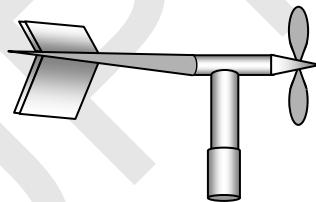
A kanalas szélességmérők egyszerűségük és relatív olcsóságuk miatt igen elterjedtek. A műszerhez kapcsolt adatgyűjtő igényeink függvényében percenkénti, másodpercenkénti mintavételezésből általában 10 perces átlagokat állít elő. Rögzítésre kerül ez idő alatt mért maximális szélhőkés, amelynek legalább 3 s időtartamúnak kell lennie. A talaj közelében, az alsó néhány 10 méteres magasságban az anemométerek alkalmasak szélprofil meghatározásra, azonban az egyre magasabb oszlop felállítása komoly költségtényezővé válik. Egyre magasabb rétegek szélviszonyainak megismeréséhez ezért egyre elterjedtebbé válnak a távérzékeléses elven működő eszközök.

6.3.2.2. Lapátkerekes anemométer

Forgó szélérősségmérő számos kivitelben készülhet, azonban forgatónyomatékokat a lapátkerekek körül áramló levegő sebességkülönbségéből eredő felhajtó erő is ki-válthat. Így a lapátkerekes kivitelnél a lapátok alakja, száma, széliránnyal bezárt szöge fontos a műszer érzékenysége szempontjából. Lényeges, hogy a lapátkerék forgástengelyének mindig párhuzamosnak kell lennie a széliránnyal. A mérés elve annyiban azonos, hogy fordulatszámot kell mérnünk elektromos kivitel esetén. Analóg változatban azonban a soklapátos, lapátkerekes anemométerek szélút mérővel vannak ellátva. A műszer indítási sebessége alacsony, azonban szélirányba önállóan nem tud fordulni. A kisméretű kézi eszközöket fix irányú áramlá-sok erősségének mérésére használják. Például barlangi klíma meghatározásánál egységnyi idő alatt megtett szélút alapján határozták meg a huzat erősségét.

6.3.2.3. Propelleres szélesség és széliránymérő

A soklapátos lapátkerekes műszer modern változata a propelleres anemométer, amelyek szélkakashoz hasonló aszimmetrikus felépítésük eredményeként fordulnak szélirányba (6.8. ábra). Ezáltal komplex szélesség és széliránymérő eszköz, amelyet masszív felépítése miatt gyakran kisebb vitorlás hajók árbocán is megtalálhatunk.



6.8. ábra
Propelleres szélirány és szélességmérő

A szélérősséget mérő önálló propellereket x , y és z tengellyel párhuzamosan fixen elhelyezve az u , v és w szélvektorok direkt mérésére is lehetőségünk nyílik. Ebben az esetben felesleges a szélirányba fordítás, mivel a szélvektorok ismeretében számíthatjuk ki.

6.3.3. Szélsebesség mérés indirekt módszerekkel

A gázok áramlási sebességének direkt meghatározására nincs mindig lehetőség, ezért közvetett módon, az áramlás más fizikai tulajdonságra történő hatása alapján következtetünk annak erősségére.

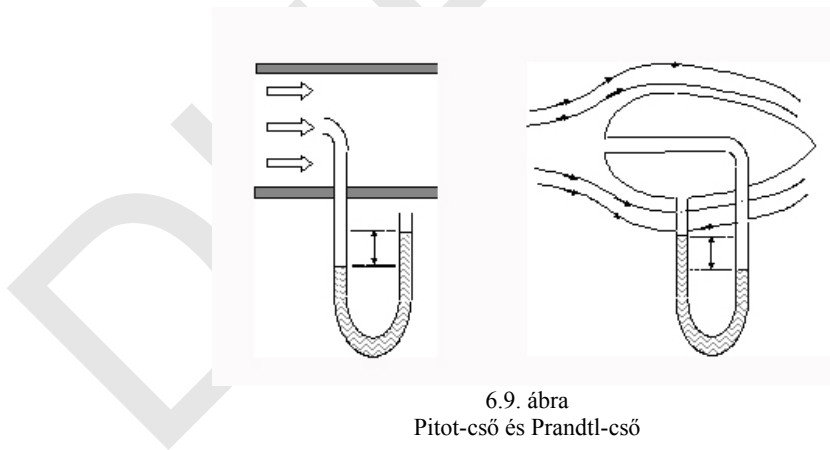
6.3.3.1 Aerodinamikus szélsebességmérők

Pitot-cső: Az egyik legegyszerűbb megközelítés, ha az áramló (dinamikus) és nyugalmi (statikus) helyzetű, azonos sűrűségű gáz közötti létrejövő *nyomáskülönbséget* használjuk az áramlás sebességének a meghatározására. Az v szélsebesség az alábbi képlettel számítható:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

ahol ρ a gáz sűrűsége, Δp a statikus és dinamikus nyomás közötti különbség.

A Pitot-cső laboratóriumi körülmények között alkalmazható egyszerű áramlásmérő műszer, amelyet szélcsatornában uralkodó szélmező nagy pontosságú feltérképezéséhez használhatunk. Továbbfejlesztett változata a hasonló elven működő Prandtl-cső, amely különleges kialakítása révén a Bernoulli összefüggést használva közvetlenül méri a két csőben uralkodó nyomáskülönbségét és ebből az áramlás sebességét (6.9. ábra). Ezen az elven működnek a repülőgépek sebességmérői is.



Fuess-féle széliró: A nyomásmérésen alapuló szélsebességmérők a korábbi szélzászlókhöz képest sokkal pontosabb és megbízhatóbb eredményeket adtak. A műszer élettartalma sokkal hosszabb, mivel kevés mozgó alkatrésze van. A Fuess-rendszerű széliró, vagy anemográf esetén a szélirányba forduló dinamikus és szél hatás alatt nem álló statikus nyomás különbsége kerül áttételeken keresztül író-

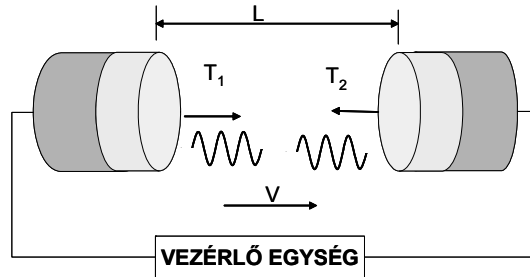
karra, amely forgódobra rögzített regisztrátumot rajzol. A Fuess szélírókban 2 írókar a szélsébségét, lökésességét rajzolja, míg további két kar a szélirányát rögzíti. A regisztrátum óránkénti kiértékelése az érzékelők mindenkori feladata volt. Magyarországon a kilencvenes évek automatizálási folyamatának köszönhetően a rendszeresített Fuess szélírókat sűrű mintavételezésű, adatgyűjtőt használó rotációs anemométerekre cserélték. Ez a műszerváltás a széladatsorok utólagos homogenizálását követeli meg, hiszen a Fuess anemográf megbízhatósága mellett méretéből adódóan sokkal nagyobb tehetetlenségű műszer, mint az új, kisméretű kanalas szélsébségmérők.

6.3.3.2. Hődrótos-hőlapos szélsébségmérő

A hődrótos anemométer lelke egy szél hatásának kitett és egy attól védett ismert hőmérsékletre melegített vezeték, vagy lap. A szél hatására *hőmérsékletkülönbség* mérhető közöttük, amely arányos a légáramlás sebességével. Ebben az esetben igen pontos, valamilyen elektromos (ellenállás-hőmérő, vagy termisztor) hőmérő méri a szél hűtőhatásaként előálló hőmérsékletkülönbséget. A műszer kalibrációja során határozzák meg azt a függvényt, amely a szélsébség és hőmérsékletkülönbség összefüggését mutatja. A szélirányba fordítás mechanizmusát szélkakashoz hasonló aszimmetrikus kialakítás biztosítja. Ilyen elven működik például, az ún. Albrecht-féle hődrótos anemométer.

6.3.3.3. Szónikus anemométer

A hang terjedési sebessége nyugalomban lévő levegőben a tér minden irányában azonos a talajfelszínhez viszonyítva. Azonban a levegő földfelszínhez viszonyított relatív elmozdulása a Doppler-effektus miatt módosítja ezt a paramétert. Ezt a jelenséget használja ki az emberi fül számára nem hallható tartományba eső *ultrahang segítségével működő szónikus anemométer*. A műszer kétfunkciójú, adó- és vevőként is működő érzékelőkből áll (6.10. ábra). Ezek térbeli elrendezése és száma sokféle lehet. Alkalmazhatunk 2 vagy 3 pár érzékelőt, amelyek páronként szembe néznek. Egy érzékelőpár mindkét szenzora hangimpulzust bocsát ki és nagy pontossággal azt mérjük, hogy mennyi idő alatt érkezik meg az ismert távolságra lévő másik érzékelőhöz. Ha a levegő mozog az átviteli idő a szél irányában csökken, míg széllal szemben növekszik. Az érzékelőpár között mindkét irányban mért átviteli idő között eltérés lesz, amely annál nagyobb, minél erősebb a szél. Tehát a tér egyik irányába mozgó levegő áramlási sebességének (v) meghatározásához elegendő ismernünk a két szenzor közötti távolságot (L) és a hangimpulzusok átviteli idejét (T_1 és T_2), amely alatt ezt a távolságot megteszik.



6.10. ábra
Szónikus anemométer mérési elve

A szélességét (v) az alábbi képlet segítségével kaphatjuk meg:

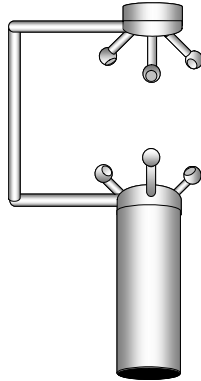
$$v = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right\},$$

ahol L az érzékelők közti távolság, T_1 és T_2 a hanghullám átviteli sebessége.

Egy érzékelőpár a légáramlás csak egyik irányba eső vektorát képes megmérni. Ha több, 2-3 pár érzékelőt megfelelően helyezünk el, műszerünk alkalmassá válik 2 vagy 3 dimenzióban az u , v és w szélvektorok meghatározására és ezáltal mind a szélirány, mind a szélesség mérésére (6.11. ábra). Egyszerűbb kivitelben a horizontális szélesség mérésére elegendő 3 darab egy síkban, szabályos 60° -os háromszög csúcsain elhelyezett érzékelő is.

Ismert, hogy a hang terjedési sebessége a hőmérséklettől is függ, ezért az ismert L távolság és a T_1 , T_2 időtartam segítségével a levegő hőmérsékletét is mérni tudjuk. Az így mért ún. szónikus hőmérséklet nem a hagyományos értelemben vett érzékelhető hőmérséklet, hanem a levegő vízgőztartalmát is figyelembevevő, úgynevezett virtuális hőmérséklettel hozható kapcsolatba.

A virtuális hőmérséklet az a hőmérséklet, amelyet a nedves levegő akkor venne fel, ha a sűrűsége a szárazlevegő sűrűségével egyezne meg.



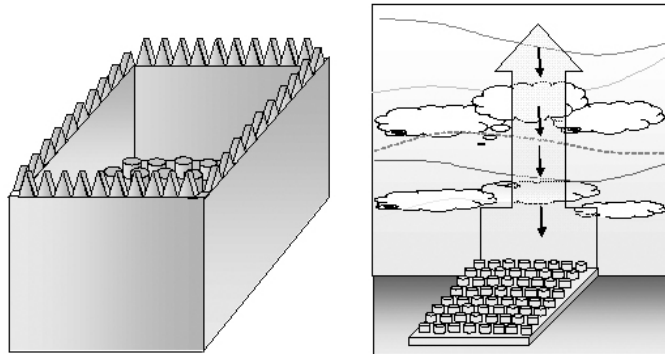
6.11. ábra
Szónikus anemométer

A szónikus anemométerek (6.11. ábra) mozgó alkatrész nélkül nagyon nagy pontossággal és rendkívül rövid reakcióidővel kisléptékű légmozgások, tömegáramok mérésére is alkalmas, ezért a mikrometeorológia számára nélkülözhetetlen eszközzé vált. Egy szónikus anemométer mérési pontossága szélesség esetén $0,01 \text{ m/s}$, a hőmérséklet esetén $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$, a szélirány esetén 360° skálán $0,1^\circ$. A méréseket másodpercenként számos alkalommal (néhány tízszer) meg lehet ismételni, tehát tipikusan mikroskálájú jelenségek mérhetőek segítségével. Mivel a kanalas anemométerekhez hasonlóan állványzaton kerülnek elhelyezésre, mégis csupán a földfelszín közvetlen közelében uralkodó szélviszonyok mérésére alkalmas.

A következő szélmérő műszerek, noha földfelszíni elhelyezésűek, mégis nagyobb magasságban uralkodó szélviszonyokról tudnak tájékoztatni.

6.3.3.4. SODAR (SOund Detection And Ranging)

A SODAR olyan távérzékelési eszköz, amely *a földfelszínről képes közvetlen szélprofil mérést végezni a légkör legalsó néhány 100 méteres régiójában*. Működési elve arra épül, hogy a műszer által kiadott hallható rövid hangimpulzusok a légkör különböző magasságban áramló levegőrétegeiről eltérő időtartam alatt verődnek vissza (6.12. ábra).

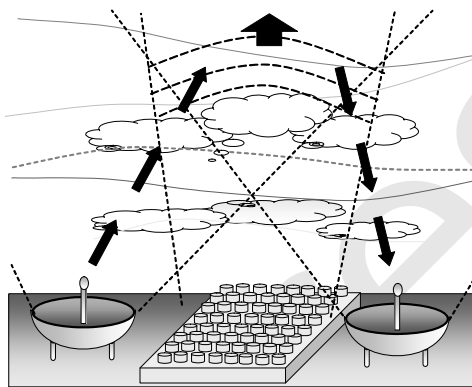


6.12. ábra
SODAR és mérési elve

A berendezés egyik kiviteli alakjában 8x8 elrendezésben 64 darab hangszórót helyeznek el, amelyek a földfelszínre merőleges irányban felfelé ismert hullámhosszú hanghullámokat bocsátanak ki rendszeresen ismétlődő, 6 s időtartamú ciklusokban. Az 1875 Hz frekvenciájú, 340 m/s terjedési sebességű hanghullámok kibocsátása után a hangszórók „elhallgatnak”. A visszaverődő hangok földfelszínre való visszaérkezésének időtartama és a Doppler-effektus segítségével mérjük a talajfelszín fölött 30 métertől közel 300 méterig terjedő magasságban a szélvektorokat. A légrétegek áramlási sebességét és irányát az ismert szél összetevőkből számítjuk. A berendezés kiválóan alkalmas szélprofil mérésre, hiszen nem kell magas tornyot építeni a mérések kivitelezéséhez. A műszer felállítása sokkal egyszerűbb, költségkímélőbb, ugyanakkor nagy pontossággal térképezhetjük az időben állandóan változó vertikális szélmezőt a légkör alsó, néhány 100 m vastagságú régiójában. Magyarországon az energetikai szélterkép elkészítéséhez szereztek be SODAR berendezést. A kutatás során összevetették a SODAR széladatait toronymérések eredményeivel, és azt találták, hogy a kapott eredmények eltérése minimális. A SODAR igen pontosan működik, ami elengedhetetlen a szél erőművek várható termelésének becsléséhez és ezáltal megalapozott döntések meghozatalához.

A berendezés hiányossága az, hogy a környezeti hatásoknak ki van téve, illetve környezet mindenkorai zajszintje befolyásolja a mérés pontosságát. Így például egy intenzív esőzés, a villámlások dörgése, vastag hótakaró kedvezőtlenül befolyásolja mérésünk eredményességét. Városi környezetben a közlekedés zaja, vagy a kiszolgáló épületben működő légkondicionáló állandó zajszintje jelent problémát. Sőt a berendezés hallható hangimpulzust ad ki, amely a környéken lakók számára lehet kellemetlen. Hátrány, hogy az alkalmazott technológiának köszönhetően a legalsó mérési magasság korlátlanul nem csökkenthető. Csupán néhány 10 métertől lesznek használhatóak adataink, ugyanakkor 200-300 m magassági szinten gyakori az adathiány. Ez az adatok feldolgozása során jelent problémát.

A SODAR ún. Radio Acoustic Sounding System (RASS) eszköz segítségével (6.13. ábra), azaz egy rádió hanghullámokat használó adó és egy vevő antennákkal lehetővé teszi a levegő hőmérsékleti profiljának meghatározását. Ez a hőmérséklet valójában a szónikus anemométereknél említett, különböző magasságra jellemző ún. virtuális hőmérséklet. Az így nyert hőmérsékleti profil adatok legnagyobb előnye az, hogy a ballonos mérésektől eltérően nem csak naponta kétszer, hanem időben számtalanszor rendelkezésre állnak. Ez az információ a légkörbe kibocsátott szennyezőanyagok terjedésének modellezésében, a planetáris határreteg tulajdonságait feltáró kutatásokban kerülhet felhasználásra.



6.13. ábra
SODAR és RASS berendezések a szél- és a hőmérsékletprofil meghatározásához

A SODAR készül 3 antennás változatban, ekkor a hangszórók nem vízszintesen helyezkednek el, hanem a tér 3 irányába fordulva határozzák meg különböző magasságban a szélvektorokat. Nagy felbontású adatai használhatóak mikroklíma megfigyelésekhez, repülőtereken, hőlégballonok meteorológiai kiszolgálásához, energetikai szélmérésekhez és szennyezés terjedésének modellezéséhez.

6.3.3.5. Windprofiler

Ez a berendezés valójában az időjárási radarokhoz hasonló elven működő Doppler radar, amelyik megfelelő elhelyezéssel a földfelszínről képes mérni a különböző magassági szinteken a szél u , v és w komponenseit. Ezek segítségével számítjuk a szélsébségét és irányát, esetleg a turbulencia intenzitását. A szélradar antennája kivittől függően meghatározott frekvenciájú elektromágneses hullámokat bocsát ki szabályos ciklusokban, amelyek a légkör különböző sebességgel mozgó rétegeiről visszaverődnek. A visszaverődés időtartama és a hullámhossz frekvenciájának megváltozása segítségével kiszámítható, hogy hol, mekkora sebességgel és milyen irányba mozog a levegő, mekkora a turbulencia-intenzitás. Tehát a Doppler effektus úgy foglalható össze, hogy a radar által kibocsátott hullám valóságos frekvenciája

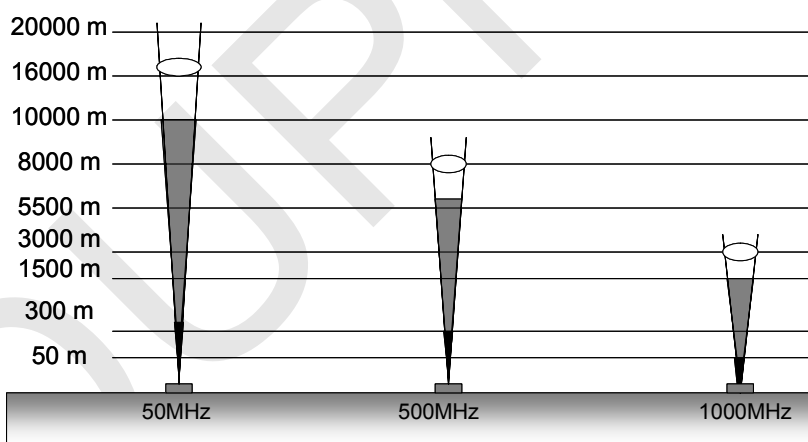
és a mozgó levegőrészecskékről visszavert hullám látszólagos frekvenciája eltér aszerint, hogy milyen a mozgó levegőrészecskék radarhoz viszonyított sebessége.

Az alábbi képletből számíthatjuk a kibocsátott elektromágneses sugárzás irányában a v sebességet:

$$f = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \cdot f_0,$$

ahol c a fénysebesség, v a levegőrészecske relatív sebessége a radarhoz képest, f_0 a radar által kibocsátott hullám valódi frekvenciája, f a levegőrészecskékről visszavert hullám frekvenciája.

A radar által alkalmazott frekvenciától függ, hogy mekkora a maximálisan elérhető magassága a szélradarnak (6.14. ábra). Az 50 MHz körül üzemelők 20-30 km, 500 MHz körül 10-16 km, 1000 MHz környékén működők 5-10 km vastag légréteget képesek különböző felbontással mérni, ugyanakkor a talaj közeli néhány 10 m vastagságú légréteg nem szondázható általuk. A működéshez használt frekvenciatartomány egy része nem teljesen szabad, hiszen a mobiltelefonok is hasonló frekvencián üzemelnek. A radar által kibocsátott rádióhullámok légköri terjedési sebessége (300 000 000 m/s) a fénysebességgel egyezik meg, amely a SODAR (340 m/s) hanghullámjaihoz képest jó néhány nagyságrenddel gyorsabb. Ennek köszönhető, hogy a windprofiler mért adatai igen pontosak.



6.14. ábra

Windprofiler által alkalmazott frekvenciától függő légköri hatótávolság

Az adatokat a levegőminőség monitorozásához, katonai, űrkutatási célokra, magaslégköri, szinoptikus kutatásokra, illetve a légiközlekedés által használt magassági szintekben uralkodó szélviszonyok meghatározására használhatjuk. Részletes időbeli felbontással érzékelhető például a szélnyírás, láthatatlan turbulens örvények, jet-streamek, amelyek egy része a repülés biztonságát veszélyeztető időjárási jelenségek. A ballonos rádiószondákhoz képest a megfigyelések lényege-

sen olcsóbbak és részletesebbek, hiszen a megfigyelés akár 15 perces időközönként elvégezhető. Hálózatba szervezve mezoskálájú szinoptikus folyamatok, a légköri határreteg folyamatos megfigyelését teszik lehetővé. Gyakorlatban az USA, Japán, Kanada és Európa területén is találhatunk erre példákat. Itt a windprofiler hálózat adatait az országban használt numerikus időjárás előrejelző modellek pontosságának növelésére használják. Magyarország az Országos Meteorológiai Szolgálat révén az európai CWINDE kutatási program tagjaként Budapesten és Szegeden üzemeltet szélradart.

A windprofiler mérete a használt frekvencia függvénye. Léteznek egészen kicsi, egy utánfutón elhelyezhető mobil berendezések. A legnagyobb alapterületű windprofilerek 45-65 MHz frekvencián működnek a légköri viszonyok függvényében 500 m magasságtól közel 20 km magasságig. Ekkor 50x50 m területen 144 darab 3 elemű antenna kerül elhelyezésre, amellyel a troposzféra szinte teljes egésze szondázható. A vertikális felbontás néhány százméteres, a szélesebbesség <1 m/s, míg a szélirány közel 10° pontosságú.

Egy vízszintes elhelyezésű windprofiler a SODAR-hoz hasonlóan kiegészíthető hanghullámokkal működő RASS berendezéssel, így a virtuális hőmérsékleti profil is megrajzolhatóvá válik rövid időközönként (akár 6 percenként) a légkör alsó tartományában. Az RASS kivitelől függően 2 vagy 4 hanghullámokat használó antennából állhat. Teljesítményétől függően függőleges hatótávolsága nem haladja meg az 5 km-t, de ez a windprofilerhez hasonlóan a légköri viszonyoktól is erősen függ. Magyarországon Szeged található a windprofiler mellett 4 antennából álló RASS berendezés.

A szélradarok az egyszerű felállíthatóság, változtatható hatótávolság, pontosság és a nagyszámú mérés relatív olcsósága miatt a közeljövőben egyre elterjedtebbé fognak válni. A felszínen elhelyezett windprofilerek a műholdas technikákkal szemben is meg fogják tudni őrizni versenyképességüket, alapvető információforrásokká fognak válni az időjárási előrejelző modellek számára.

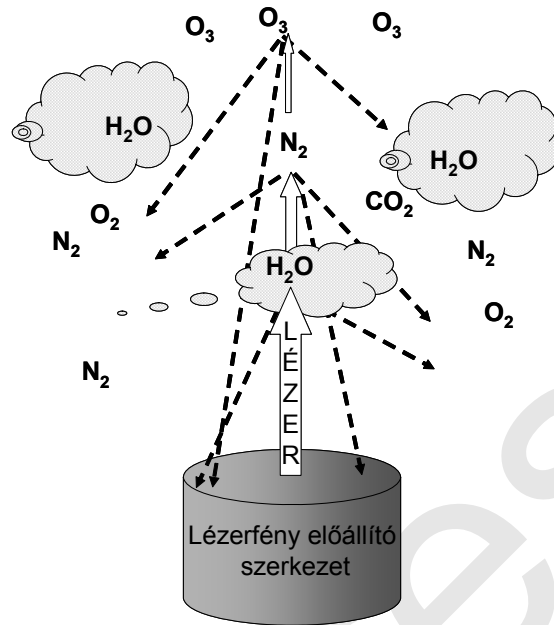
6.3.3.6. LIDAR - Light Detection And Ranging (Lézer radar, optikai radar)

A LIDAR hasonló elven működik, mint általában egy RADAR, azonban 10 000-100 000-szer kisebb hullámhosszon, *a látható fény tartományba tartozó elektromágneses sugárzást, azaz lézerefénynyalábot bocsát ki* (6.15. ábra). Ez történhet folyamatosan, vagy szabályos ciklusokban. Ezt követően a fény visszaverődésének, időtartamát és szóródásának mértékét analizáljuk. A LIDAR segítségével távolságot, sebességet, sőt a levegő kémiai összetételét, és gázok koncentrációját is meg lehet mérni a földfelszínről távérzékeléses technikával. A LIDAR érzékeny a légköri aeroszolokra, felhőelemekre, egyes molekulákra, amely a légkörkutatás fontos eszközévé teszi, bár számos más területen is alkalmazható.

A LIDAR berendezéseket három nagyobb csoportra lehet osztani felhasználásuk szerint:

- A legegyszerűbbek egy hullámhosszat használva távolságot mérnek. Repülő-ről GPS felhasználásával nagyon pontosan térképezhető a környezet. A lézer távolságmérő (LADAR) képes 3 dimenziós virtuális környezet megjelenítésére, amely katonai célokat is szolgálhat.
- A szelektív elnyelésű LIDAR (Differential Absorption Lidar - DIAL) alkalmas légkört összetevő anyagok koncentrációjának, mennyiségének mérésére. A berendezés két különböző lézerhullámhosszat használ, amelyikből az egyiket az érdeklődésünkbe tartozó vegyület elnyel, míg a másikat nem. A visszatérő jelek intenzitásának különbségéből határozza meg az adott gáz légköri mennyiségét. A DIAL alkalmas ózon, vízgőz és számos más antropogén eredetű légköri szennyező anyag koncentrációjának mérésére nagy magasságokban.
- Doppler lidar (DWL-Doppler Wind Lidar) alkalmas a légköri mozgások feltérképezésére. A méréshez elegendő bármilyen kicsi, akár mikroszkopikus méretű, szél által mozgatott légkörben található szilárd részecske. A kisméretű aeroszolok, különféle porszemek a légkör minden részén megtalálhatóak, amelyek végeredményben a szélesség és iránymérést lehetővé teszik. A Doppler effektusból következően, a LIDAR-tól távolodó részecskéről visszatérő fény hullámhossza egy picit hosszabb lesz, mint, amit a LIDAR kibocsátott. Míg, ha a LIDAR felé közeledik, akkor rövidebb hullámhosszúságú fény fog visszaverődni a mozgó levegőrészecskéről. Ugyanezt az elvet használják a rendőrök a gyorsajtók kiszűrésére is.

A visszaverődés időintervalluma alapján állapítható meg, hogy milyen magasságból érkezett vissza a jel. Az 1 másodperc alatt visszaérkező jel közel 150 km magasságból érkezik fénysebességgel. Ebből is látható, hogy LIDAR segítségével a légkör jelentős részének mozgásairól, összetételéről kaphatunk részletes méréseket aktív optikai távérzékeléses technikával. A LIDAR berendezés repülön, sőt műholdon űrben is elhelyezhető, így akár más bolygók légkörének vizsgálatára is alkalmas.



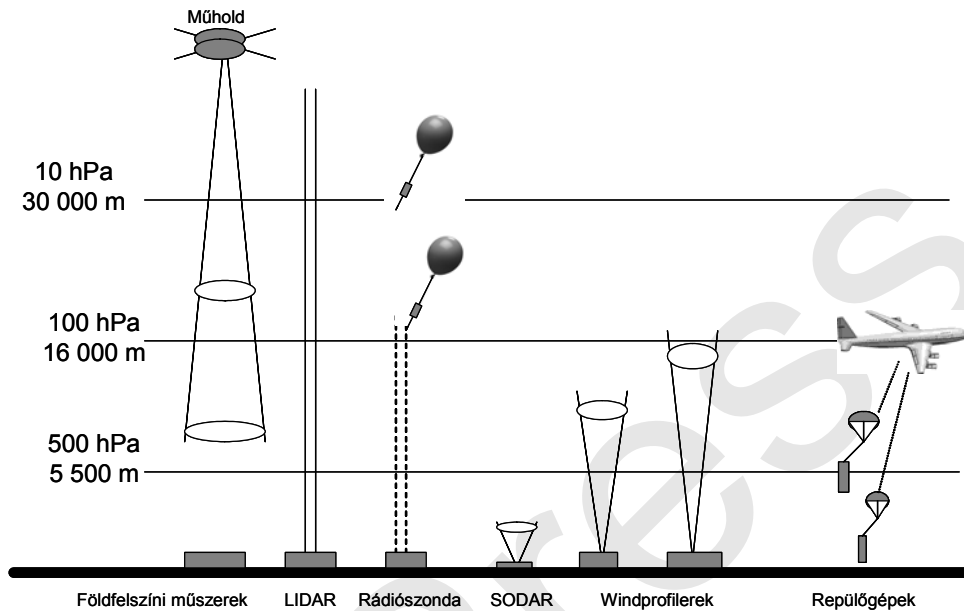
6.15. ábra
LIDAR

Az eddig felsorolt szélesség és széliránymérő műszerek a földfelszínéhez képest nem mozgó helyen vannak elhelyezve. Ezért nehezen lehet őket mozgó légköri események, például hurrikánok mérésére alkalmazni. A légkör mozgási paramétereit a légkörben mozgó berendezésekről, ballonokról, repülőgépekről, rakétákról is lehet mérni.

6.3.3.7. Egyéb szélmérő eszközök

Időjárási ballon: Az ismert tömegű hidrogénnel, vagy héliummal töltött ballonnalra szerelt rádiószonda eredetileg a levegő hőmérsékletének és nedvesség tartalmának magasság szerinti változását képes mérni abban a légrétegben, ameddig a ballon képes felemelkedni. Az egyenletes sebességgel emelkedő ballon mozgása azonban nem független a légáramlásoktól. Abban az esetben, ha a meteorológiai ballon helyzetét tudjuk követni, esetleg GPS helymeghatározó készüléket is magukkal visznek, akkor meghatározhatjuk a szélességét és szélirányát. A ballonok kivételüktől függően nem csak a troposzférikus windprofiler-ek hatótávolságán belül, hanem azon túl, a sztratoszférában is végezhetnek direkt méréseket (6.16. ábra). Miután a LIDAR berendezéseknél alkalmazott távérzékelési technológia légköri gázok koncentrációjának mérését is lehetővé teszi, a sztratoszféra ballonos mérése teljesen kiváltható. Jelenleg párhuzamosan folyó mérések a beren-

dezásek tökéletesítését és összehasonlíthatóságát, ezáltal a keletkező adatsorok összeilleszthetőségét szolgálják.



6.16. ábra
Földfelszíni és távérzékeléses technikák a légkör tulajdonságainak megfigyelésére

Repülőgépek: Nem csupán kutatási célú repülőgépeken, hanem az újabb típusú utasszállító gépeken is van olyan berendezés, amely a légkör magas régióinak szélviszonyait képes mérni. Eredetileg az időjárási radarok 1-10 cm hullámhosszú rádióhullámok segítségével szondázzák a légkört, amely a felhő és csapadékelemekre legérzékenyebbek. A róluk visszaverődő echo alapján gyakorlatilag a felhőkbe látva megállapítható a vízcseppek halmazállapota, a kihullható víztartalom. Doppler radar segítségével megállapítható akár a csapadékelemek esési sebessége és természetesen a szél különböző irányú összetevői (u, v, w szélvektorok). A modern utasszállító repülőgépek orrkúpjában üvegszállal megerősített antennavédő burkolat mögött helyezkedik el az a radar, amely időjárási radar funkcióban is működhet. Egyszerűbb kivitelben a Cb viharfelhők elkerülését biztosíthatja, de ha a radar doppler típusú, akkor képes meghatározni a repülő előtti légtér jellemző légmozgásait. Ennek segítségével a pilóta előre érzékelheti az erősen turbulens szakaszokat és figyelmeztetheti az utasokat, hogy kapcsolják be a biztonsági öveiket. Természetesen a pilóták számára a repülési útvonalra részletes előrejelzések is rendelkezésre állnak.

A hurrikánok, trópusi ciklonok vizsgálatához is elengedhetetlen a repülőgépek alkalmazása, hiszen meteorológiai műszerekkel zsúfolt kutató-repülőgépek a hurri-

kánok szemébe is beryülnek, szondázó mőszereket dobhatnak belsejébe. (Az ejtőszondák leírását lásd bővebben a „Magaslégköri megfigyelések” c. fejezetben.)

Az előzőekből látható, hogy végtelen sok lehetőség adódik a légkörben uralkodó légmozgások mérésére. Léteznek direkt és indirekt, aktív távérzékeléses technikák, amelyek segítségével más-más légréteg vizsgálata tűnik előnyösnek. Mindenképpen gyakorlati igényünknek megfelelő pontosságú szélmérő műszert válasszunk. A földfelszíni szinoptikus-klimatológiai megfigyelésekhez elegendő egy megfelelő helyen felállított kanalas anemométer és egy pontos szélirányjelző. A mikrometeorológiai megfigyelések sikeres kivitelezéséhez pedig szükségünk lehet egy szónikus anemométerre. A szél energetikai hasznosításához pontosan kell ismernünk a turbina tengelymagasságában uralkodó szélviszonyokat, amelyet toronymérések, vagy egy kisebb méretű SODAR beszerzésével oldhatunk meg.

Az időjárásai előrejelzések fejlesztéséhez, pedig alkalmazhatunk windprofilert, rádiószondát, doppler radarokat, illetve műholdas technikákat. A különböző helyről és forrásból származó adatok szintetizálása, gyors feldolgozása és elemzése komoly számítástechnikai követelményeket támaszt, azonban a meteorológiai megfigyelések pontosítása, időbeli és térbeli részletességének növelése az egyetlen lehetőség, hogy a numerikus modellek előrejelzési egyre közelebb legyenek a valósághoz.

DUPress

7. A párolgás mérése

7.1. A párolgás fogalma, a párolgás mérésének egységei

A *párolgás* a folyékony vagy szilárd halmazállapotú víz bármely hőmérsékleten légnemű vízpárává történő átalakulása. A párolgás mértéke a párolgás útján eltávozott vízmennyiség, amely időegység alatt egységnyi felületről elpárolog. Az időegység hazánkban 1 nap, az elpárolgott vízmennyiséget pedig mm-ben mérjük.

A párolgás összetevői az alábbiak:

- evaporáció: a szabad vízfelszín párolgása,
a csupasz talajfelszín párolgása,
- transpiráció: a növények párologtatása,
- evapotranspiráció: a növényzettel borított talajfelszín párolgása.

Globális átlagban, évente, a felszínről kb. 900–1000 mm víz párolog el, nagyjából ugyanennyi érkezik a hulló és nem hulló csapadékok formájában. Az átlagérték mögött természetesen nagy térbeli és időbeli különbségek rejlenek. A Kárpát-medence belsejében például az éves vízmérleg negatív, tehát a talaj és a növényzet több vizet párologtat el, mint amennyi az éves csapadékból származik.

A párolgás mérése elengedhetetlen a víz- és energiaháztartás gyakorlati meghatározása (vízgazdálkodási tervezés) szempontjából, csakúgy, mint a mezőgazdaságban és a hidrológiában.

7.2. Párolgásmérő berendezések

A szabad vízfelület párolgásának mérésére korábban igen elterjedt volt a *Wild-féle párolgásmérő*. A felépítése alapján érzékeny levélmérlegnek tekinthető műszer 250 cm² felületű mérlegtányérjából elpárolgó vízréteg magassága a skálán mm-ekben olvasható le. Ma már pontatlansága miatt nem használják, mivel a kicsiny vízfelület párolgását igen erősen befolyásolja a szél.

7.2.1. Párolgásmérő kádak

A meteorológiai gyakorlatban napjainkban a párolgásmérő kádak terjedtek el. Ezek nagy felületű, szabadban elhelyezett mérőeszközök, melyek alapvető típusai (a világon összesen legalább húszféle más típusú kádat is alkalmaznak) az alábbiak (7.1. táblázat).

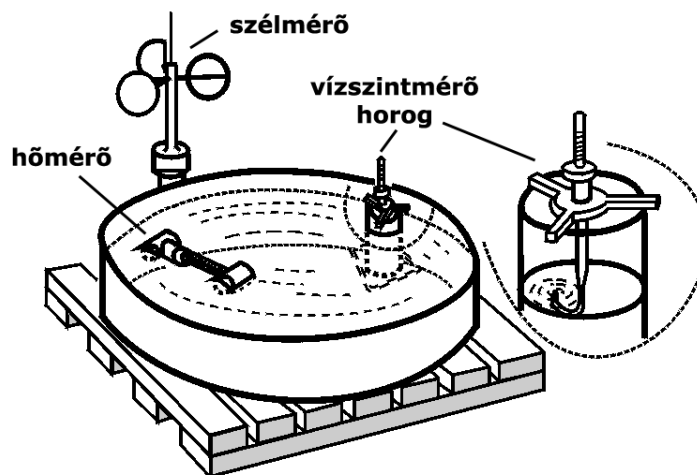
7.1. táblázat
A párolgásmérő kádak főbb paramétereit
(forrás: Makra 1995)

	Felület (m ²)	Vízmélység (m)
„A” típusú kád	1,14	0,25
„G” típusú kád	0,30	0,60
„U” típusú kád	3,00	0,50

A mérések elvégzésére március 1-től november 30-ig folyamatosan van lehetőségünk. Ez alól kivételt csak az jelenthet, ha a fagymentes időszak ennél tovább tart, illetve ennél korábban köszönt be. A műszerek leolvasása hagyományosan a meteorológiai terminusészlelések időpontjaiban történik, közvetlenül a meteorológiai megfigyelések után, az alábbiak szerint:

- a kád vízállásának mérése 7 és 19 órákor,
- a vízhőmérséklet mérése 7, 13 és 19 órákor
- csapadékmérés 7 és 19 órákor.

A mérésekre vonatkozó hazai előírások a nemzetközínél egyszerűbbek. A vízszintmérés úgy történik, hogy a kádon belül annak talpzatára egy mérőhengert helyezünk, melybe a kád vízszintjének megfelelő mértékű szintig áramlik be víz egy furaton keresztül (7.1. ábra). Ezt követően a furatot elzárják, a hengert kiemelik, a benne lévő víz mennyiségének lemérésére pedig 0,1 mm beosztású mérőhengerben kerül sor. A mérést követően a vizet vissza kell önteni a kádba. A nemzetközi előírások szerint a vízszintmérés egy ún. vízszintmérő horoggal történik, illetve a műszerhez tartozik egy szélmérő, amely a kád fölötti 50 cm-es magasságban méri az átlagos szélesebséget.



7.1. ábra
A szabványos „A” típusú párolgásmérő kád és felszereléseit

Amennyiben a kádban magasan áll a víz, többszöri mérés szükséges, melyek eredményét azok összege adja. Ebben az esetben három mérést végzünk, és ezek átlagát jegyezzük föl.

A párolgásmérő kádak csak meghatározott – a kád felső pereméhez mért – vízszinttartományban szolgáltatnak reális adatokat (7.2. táblázat):

7.2. táblázat
A párolgásmérő kádak megkívánt vízszinttartománya
(forrás: Makra 1995)

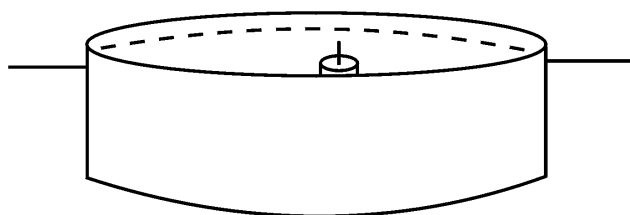
	Felső határ (cm)	Alsó határ (cm)
„A” típusú kád	1,5	4,0
„G” típusú kád	1,0	3,5
„U” típusú kád	2,0	5,0

A fenti szélső értékeken túllengeni nem szabad a víz szintjét, mert a szél hullámkeltő hatásának eredményeképp kifolyhat a víz. Alacsony vízállásnál pedig előállhat, hogy a víz nem folyik be a mérőedénybe.

A hazai hálózatban alapvető jelentőségű „A” típusú kád, az előírás szerint, a talaj felszínén kettős farácsra kell helyezni. Színe kívül-belül fehér (7.2 ábra).

A „G” típusú földbe süllyesztett mérőkád elsősorban nemzetközi használatba került. Aljzata homorú.

A magyar tervezésű „U” típusú (Ubell) kád (7.2. ábra) szintén talajba süllyesztett, pereméből 10 cm a talajfelszín fölött helyezkedik el. A kád nem a nemzetközi szabvány szerint készült. Mivel hazánkban több évi mérési sorozat áll rendelkezésre a vízszint ingadozásairól, ezek az adatok a megfelelő átszámítási képletekkel felhasználhatók más kádak adatsorainak kiterjesztésére, illetve homogenizálására.



7.2. ábra
„U” típusú párolgásmérő kád

7.2.2. A talajpárolgás mérése

A csupasz talajfelszín párolgási vízvesztésének megállapítására a *Popov-féle evaporiméter* szolgál. A műszer egy kettős falú edény, melyben a belső edény azt a talajmonolitot tartalmazza, amelyből a víz párolgás útján távozik. Ez a belső edény a külső edénybe helyezendő. A kettős henger alatt egy a csapadékból átszivárgó vizet felfogó edény található. A talajmonolit párolgása a vízmérlegből számítható ki, 25 kg-ig 0,5 g-os mérési pontossággal állapítható meg.

7.2.3. Liziméterek (evapotranspirométerek)

A növényzettel fedett és a csupasz talaj evapotranspirációs vízvesztésének mérésére a *liziméterek (evapotranspirométerek)* szolgálnak. A liziméterek olyan berendezéseként definiálhatók, amelyek talajt tartalmaznak, természetes csapadék vagy öntözés formájában a talajfelszínen a vizet felfogják és a gravitációs víz összegyűjtésére és annak mennyiségének mérésére alkalmas eszközzel rendelkeznek.

Ezek általában nagyméretű, földbe süllyesztett tartályok, amelyekben talaj és növényzet foglal helyet. A benne elhelyezkedő talajszelvény megfelel a természetes (tartályon kívüli) rétegződésnek, felső szintje is egybeesik a külső talajfelszínnel. Ennek a talajrésznek a súlyát nagy pontosságú mérleggel állandóan mérik, így megállapítható a párolgás okozta súlycsökkenés. Ha az edényben nincs növényzet, akkor a súlycsökkenés a csupasz talajfelszín párolgásával egyenlő.

7.2.3.1. Tértfogati liziméterek

Átfolyó vizes liziméterek talajvízszint nélkül: A lizimétertartály alján a talajszelvényen átfolyó gravitációs víz mennyisége az elvezetésére és összegyűjtésére alkalmas eszköz segítségével határozható meg. A csapadék és öntözővíz mennyiségének mérése külön történik.

Kompenzációs liziméterek: A C. W. Thornthwaite által tervezett műszert J. R. Mather fejlesztette tovább (7.3. ábra). A világszerte, így hazánkban is igen elterjedt lizimétertípusnál nem a talajkád súlyát mérjük, hanem azt a vízmennyiséget, amely ahhoz szükséges, hogy a talajkád vízszintjét, illetve a párolgás eredményeként a kapillaris vízemelés által a gyökérszónába kerülő talajnedvességet pótoljuk, illetve visszaállítsuk.

Az 1–3 m² felületű, 1,3 m mélységű kád aljában kavics szűrőréteg található, ezt egy cső köti össze a vízszintet szabályozó rendszerrel. Az állandó talajvízszint 1 m mélységű. Párolgási vízvesztés (alacsonyabb vízszint) esetén a szükséges vízmennyiség az első tartályból pótlódik, míg a felesleges vízmennyiséget a vízszint-

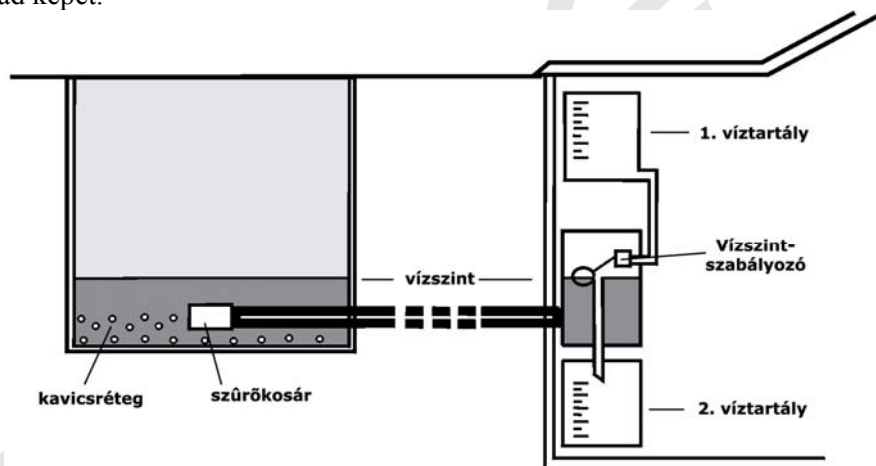
szabályozó a túlfolyón keresztül a második tartályba juttatja. A vízszintek mindkét tartály oldalán leolvashatók.

A kompenzációs liziméterek felhasználhatók tápanyag-hasznosítási kísérletekre is. Ehhez a második tartályba folyó víz összetételének rendszeres megfigyelése szükséges, ezáltal megállapítható, hogy a talajkádba adagolt műtrágya mekkora hányada hasznosul, és mekkora hányada folyik el a felesleges vízzel.

A kompenzációs liziméterek esetében a csapadékból származó esetleges víztöbblet elvezetődik, a vízvesztés pótlása pedig általában „alulról” történik, ami azzal a lényeges következménnyel jár, hogy ezek a műszerek nem a természetes talajnedvességi állapot mellett bekövetkező evapotranspirációt mérik, hanem a beállított vízszintmagasságtól függően különböző más értékeket.

Ha a vízszint elég magas ahhoz, hogy a talajkádban lévő növények gyökerei a vizet akadály nélkül felszívassák, akkor a mérés az ún. potenciális evapotranspirációt adja meg, tehát azt a vízmennyiséget, amelyet a vizsgált növény képes elpárologtatni, ha a víz korlátlanul rendelkezésre áll.

Ha viszont a vízszint alacsonyabb, akkor a mérés valamilyen közbenső állapotról ad képet.



7.3. ábra

A Thornthwaite–Mather-féle kompenzációs liziméter

A fentiek alapján két típusuk ismert:

- kompenzációs liziméterek állandó szinten tartott talajvízszinttel
- kompenzációs liziméterek állandó felszíni vízszinttel

Speciális átfolyó vizes liziméterek: Azok az átfolyó vizes liziméterek tartoznak ide, amelyek valamilyen speciális jellegzetességgel bírnak, például az oldalfal, a fenéklemez, esetleg mindkettő hiánya.

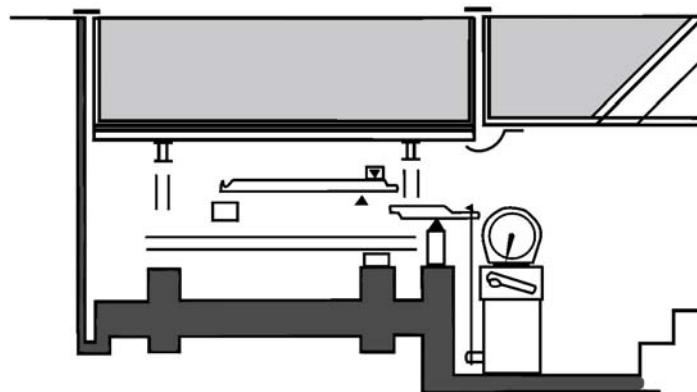
7.2.3.2. Súlyliziméterek

Ezek a berendezések a talajoszlop tömegváltozásának mérésére alkalmasak, melyek révén a nedvességtartalom változását kapjuk meg. A csapadék vagy az öntözővíz mennyiségét tükrözi a pozitív tömegváltozás, míg a tömeg csökkenése a talajoszlopból párolgással, illetve mélyszégi átszivárgással (perkolációval) távozó víz mennyiségét jelzi.

Ezen műszerek segítségével a párolgás értéke akár rövid időszakokra is igen pontosan meghatározható, azonban magas konstrukciós költségük és telepítésük bonyolult volta használatukat csak specializálódott kutató helyekre korlátozza.

Mechanikus súlyliziméterek: Különböző típusú mechanikus mérlegeket használhatunk a talajoszlop tömegváltozásának közvetlen mérésére. A talajt tartalmazó belső tartály szabadon mozog egy külső tartály alapján lévő automatikus adatrögzítővel ellátott mechanikus mérleg méri, vagy a belső tartályt időszakonként kiemelve és megmérve határozható meg a tömegváltozás. Az utóbbi megoldás hátránya, hogy a nagy munkai igény miatt (a tartályok mozgatása általában nem oldható meg minden nap) csak hosszabb periódusokra határozható meg a vízmérleg. A beépített mérleggel és automatikus adatrögzítővel ellátott mechanikus súlyliziméterek segítségével a talajoszlop tömegének változása igen nagy pontossággal mérhető a mérleg mérésérzékenységétől függően. Az ún. precíziós súlyliziméterek akár 0,025 mm-es mérésérzékenységgel is mérnek, amely már a talaj-víz-növény rendszerekben folyó mikrometeorológiai kutatások igényeit is kielégítik.

Ide tartoznak a hídmérleges liziméterek is (7.4. ábra), amelyek esetében a talajkád evaporációs vízveszteségét hídmérleggel határozzák meg.



7.4. ábra
Hídmérleges liziméter

Elektronikus súlyliziméterek: A talajt tartalmazó belső tartály tömegváltozását elektronikusan, feszültségmérő vagy elektronikus érzékelő cellák segítségével mérik. A belső tartály általában nem közvetlenül van összekapcsolva az érzékelő cellával, hanem egy ún. mérőkeret közbeiktatásával.

Az e típusba tartozó liziméterek legnagyobb hátránya, hogy viszonylag bonyolult a működésük, illetve nagy a meghibásodásra való hajlamuk. Bár igen jó a mérésérzékenységük (0,1–0,025 mm), a feszültségmérők érzékenyek a hőmérséklet ingadozására, így rendszeresen újra kell kalibrálni azokat. Problémák merülhetnek fel széles körülmények közötti alkalmazásukkor is, mivel a szél nyomásának hatását tömegváltozásként detektálhatják.

Hidraulikus mérőcellás súlyliziméterek: A liziméter hidraulikus mérőcellákon, tömlőkön vagy párnákon nyugszik, amely tömlőkben lévő folyadék nyomását manométerrel mérik. A liziméter vízmérlegének változásakor (tömegváltozás) a tömlőkben lévő nyomás változásának hatására a manométerskálán elmozdul a folyadék szintje.

A hidraulikus mérőcellás liziméterek használata esetén problémaként merül fel a tömlők anyaga (főleg a gumitömlők „előregedése” miatt) és a bennük lévő folyadék hőkitágulása. Előnyük, hogy viszonylag olcsón elkészíthetők, manuálisan és automatikusan is leolvashatóak. Mérésérzékenységük 0,5–1 mm közötti.

Úszó liziméterek: A talajt tartalmazó tartály egy alkalmas folyadékban (víz vagy cink-klorid) lebeg, a folyadékot természetesen egy külső tartály tartalmazza. A párolgás vagy csapadék (öntözés) következtében beálló tömegváltozást a folyadék szintjének változása jelzi (Archimédész-elv).

Az úszó liziméterek kevésbé költségesek, mint a precíziós súlyliziméterek, viszont jó a mérésérzékenységük. Meg kell még említeni azonban, hogy nagy a helyigényük, valamint igen hő- és szélérzékenyek.

Ezzel a műszerekkel kapcsolatban elmondható, hogy meglehetősen pontos adatokat szolgáltatnak, azonban hibájukként róható fel, hogy mivel bennük megszűnik az alsó és oldalsó talajrétegekkel fennálló víz- és hőcsere, így a növényzet gyökere is másképp fejlődik, ennek következtében módosul párolgása is.

DUPress

8. A légnedvesség mérése

8.1. A légnedvesség mérésrel kapcsolatos alapfogalmak

A vízgőz a légköri vendéganyagok közül a legnagyobb jelentőséggel rendelkezik. A víz-, a jég-, és a talajfelszín párolgása (evaporáció); valamint az élő szervezetek párologtatása (transpiráció) együttesen, azaz az *evapotranspiráció* juttatja a légkörbe. A levegő nedvességtartalma a felhőelemek, a felhők és a köd, valamint a mikro- és makroszapadék kialakulásának az alapja. A technikailag legnehezebben és legkevésbé pontosan mérhető meteorológiai elemek közé tartozik.

A levegő nedvességtartamát több fizikai állapotjelzővel is jellemezhetjük:

Gőznyomás (párányomás) (e): a nedves levegőben a vízgőz parciális nyomása (hPa, mbar).

Telítési gőznyomás (E): a telített állapothoz tartozó gőznyomás (hPa, mbar).

A relatív nedvesség a pillanatnyi gőznyomás (e) és az adott hőmérséklethez tartozó telítési gőznyomás (E) hányadosa:

$$f = \frac{e}{E} \quad (\%)$$

A telítési hiány a pillanatnyi gőznyomás (e) és az adott hőmérséklethez tartozó telítési gőznyomás (E) különbsége:

$$D = E - e \quad (\text{hPa, mbar})$$

A harmatpont (τ) az a hőmérséklet, amelyre a vízgőzt tartalmazó telítetlen levegőnek állandó nyomáson le kell hűlnie ahhoz, hogy telítetté váljon ($^{\circ}\text{C}$).

A harmatpont depresszió a tényleges hőmérsékletnek és a harmatpontnak a különbsége:

$$d = t - \tau \quad (^{\circ}\text{C})$$

Abszolút nedvesség: egységnyi térfogaton belüli vízgőz tömege, vagyis a vízgőz tömege osztva a nedves levegő térfogatával:

$$a = \frac{m_v}{V} \quad (\text{g/m}^3)$$

A keveredési arány a vízgőz m_v tömegének és a vele keveredő száraz levegő m_l tömegének hányadosa:

$$r = \frac{m_v}{m_l} \quad (\text{g/kg})$$

A *fajlagos vagy specifikus nedvesség* a vízgőz m_v tömegének és a nedves levegő $m_v + m_l$ tömegének hányadosa:

$$s = \frac{m_v}{m_v + m_l} \quad (\text{g/kg})$$

E paraméterek mérésére számos műszer áll rendelkezésre, olyan műszer, amellyel mindegyik paraméter mérhető lenne, azonban nincs. A fenti állapotjelzők egy része mások ismeretében számítható (például a harmatpont depresszió a hőmérséklet és a harmatpont ismeretében). Az is gondot okoz, hogy a megfelelő pontosságú műszerek drágák és bonyolultak, gyakran terepi mérésekre alkalmatlanok is; az elérhető árú és kellően kompakt műszerek ugyanakkor nem elég pontosak. Az előbb említett okok miatt maradt meg az elvi lehetőség szintjén például a gőznyomás közvetlen mérésére alkalmas, ún. diffúziós tenziométerek alkalmazása is.

A légnedvesség mérésére a gyakorlatban használt higrométereket működési elvük alapján a következő csoportokba sorolhatjuk:

Abszorpciós légnedvességmérők, melyeknél a mérés alapjául valamely anyag vízfelvevő képessége és a vízfelvétel következtében beálló valamilyen fizikai változás szolgál. Ezen belül elkülöníthetők a következő altípusok:

Higroszkópos vegyületet tartalmazó légnedvességmérők.

Hajszálas légnedvességmérők. Az emberi haj-, illetve állati szőrszálak azon tulajdonságán alapulnak, hogy a nedvességváltozás hatására ezek a hosszukat változtatják.

Membrános légnedvességmérők, amelyek állati gyomorból preparált hártya segítségével működnek.

Ellenállás- és kapacitív légnedvességmérők. Ezek a légnedvesség abszorpciója által okozott ellenállás-, illetve kapacitásváltozást használják fel.

Pszichrométerek. A víz párolgása által okozott lehűlés alapján történik a légnedvesség mérése.

Kondenzációs légnedvességmérők, vagy harmatpont higrométerek. Itt a légnedvesség meghatározása a harmatpont mesterséges előidézése útján történik.

8.2. Abszorpciós légnedvességmérők

8.2.1. Higroszkópos vegyületet tartalmazó légnedvességmérők

A nedvességmérés legpontosabb műszerei azok az abszorpciós légnedvességmérők, amelyeknél valamilyen a vizet jól abszorbeáló (ún. higroszkópos) anyag levegőből történő vízfelvétele jelenti a mérés alapját. A mérendő ned-

ves levegőt átengedjük ezen az anyagon. A higroszkópos anyag a levegő nedvességtartalmát felveszi, ezért tömege megnövekszik. *Ha 1 m³ levegőt vezetünk át rajta, akkor az anyag grammban kifejezett tömegnövekedése a levegő abszolút nedvességtartamát (g/m³) adja.*

Abszorber közegként Kalcium-kloridot (CaCl₂), kénsavat (H₂SO₄), vagy foszforpentoxidot (P₂O₅) használnak. Az elnyelőanyagot üveg tartályban, vagy U-alakú csőben helyezik el halmazállapotától függően. A befogadó edényen kompresszorral ismert térfogatú (1 m³) levegőt szivattyúznak át. Szükséges a befogadó közeg és tartály tömegének megmérése a légnedvesség-mérés előtt és után. A két tömeg különbsége a felvett víz tömegével, tehát a levegő abszolút nedvességtartamával egyenlő.

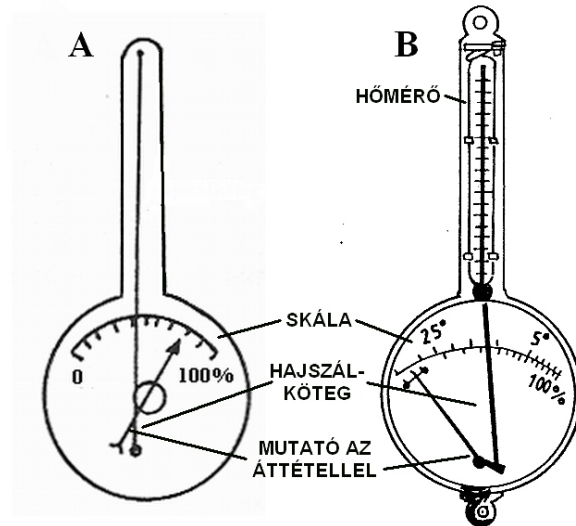
Bonyolult berendezések, ezért szabadtéri, terepi mérésekre nem alkalmasak. Ugyanakkor pontosságuk miatt a nedvességmérés abszolút műszereinek tekintendők.

8.2.2. Hajszálas légnedvességmérők

Működésük a zsirtalanított emberi hajszál azon tulajdonságán alapul, hogy növekvő/csökkenő relatív nedvességben a hajszál meghosszabbodik, illetve rövidül. Ezeknél a műszereknél a mérőtest egy etiléterrel zsirtalanított emberi hajszálköteg. Ennek egyik végét súly tartja kifeszítve, míg másik vége áttételen keresztül mutatóhoz, vagy írószerkezethez csatlakozik. A hajszál megnyúlása különböző relatív nedvesség intervallumokban eltérő, azonban megfelelő elrendezéssel a skála lineárisra tehető.

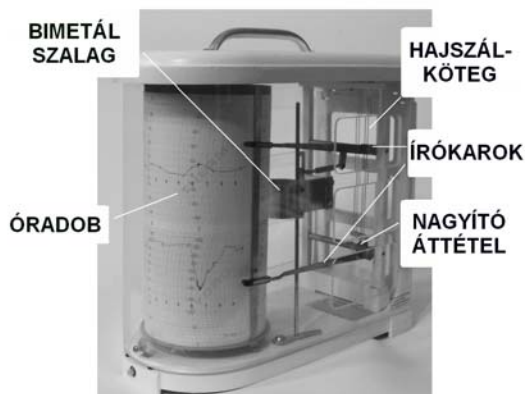
A hajszálas higrométerek egyik elterjedt típusa a *Fuess-féle állomás-higrométer* (8.1. a ábra). Ennek *érzékelője a műszer felső végén lévő szabályozó csavarhoz kötött hajszálköteg*, amit alul ellensúly feszít ki, ezzel van összekötésben a mutató tengelye. A hajszál hosszának változása a mutatót egy nagyító áttételen keresztül a skála előtt mozgatja.

Másik gyakori típus a *poliméter*, ami az állomás-higrométer tökéletesített változata (8.1. b ábra). A hajszálköteg mellett hőmérőt is tartalmaz. Hőmérőjéről a hőmérséklet és a hozzá tartozó telítési gőznyomás, légnedvesség-mérőjéről a relatív nedvesség és a telítettségi hiány olvasható le, illetve számítható ki.



8.1. ábra
(a) A Fuess-féle állomáshigrométer és (b) a poliméter

A hajszálas légnedvességmérők sajátos típusa a higrográf. A relatív nedvesség hosszabb időn keresztül (napon, héten) bekövetkező változásainak rögzítésére alkalmas íróműszer. Mérőteste szintén egy hajszálköteg, ami egy nagyító áttételen keresztül írókart mozgat egy óradobon. Szalagja %-os beosztású. Adatait célszerű összevetni más pontosabb légnedvességmérők, például pszichrométerek adataival. Általában fémhőmérővel kombinálva készítik, így a hőmérséklet regisztrálására is alkalmas. Ez utóbbi műszer neve: termohigrográf (8. 2. ábra).

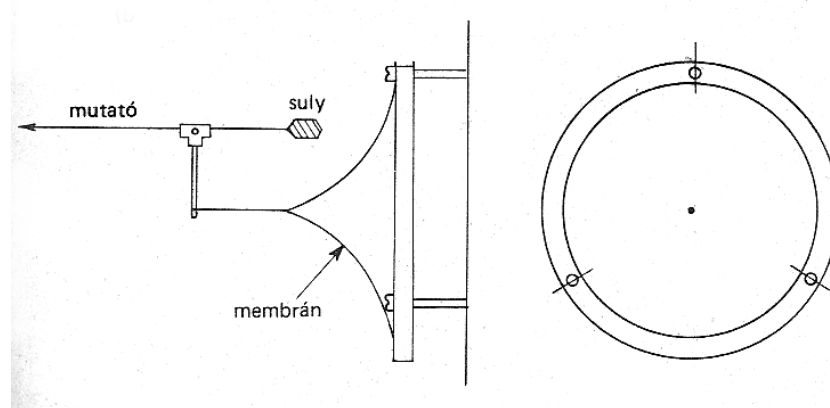


8.2. ábra
A termohigrográf

A hajszálas higrométerek hátrányai közé tartozik, hogy a hőmérsékletváltozások közben a hajszál kiterjedése változásokat szenved, kb. 15°C-os hőmérsékletváltozás okoz 2,5%-os hosszváltozást. Ezért, korábban hőmérsékleti korrekciót alkalmaztak ennél a műszertípusnál. Másrészt, a hajszálakat mindig tisztán kell tartani, hogy a légnedvességet akadálytalanul abszorbeálják. Az is gondot okoz, hogy bizonyos időre van szükség, amíg a műszer beáll.

8.2.3. Membrános légnedvességmérők

Ezek mérőeleme az ún. aranyütőhártya, amit állati gyomorból készítenek (8.3. ábra). Tulajdonságai a hajszálas higrométerekhez hasonlítanak, de valamivel pontosabbak azoknál. Főképp a magaslégköri megfigyelések rádiószondáiban használják.



8.3. ábra
A membrános légnedvességmérő
(forrás: Czelnai 1993)

8.2.4. Ellenállás- és kapacitív légnedvességmérők

Egyik csoportjukba a lithium-klorid bevonatú érzékelők tartoznak. Ezek a relatív-nedvesség változásaira változtatják ellenállásukat.

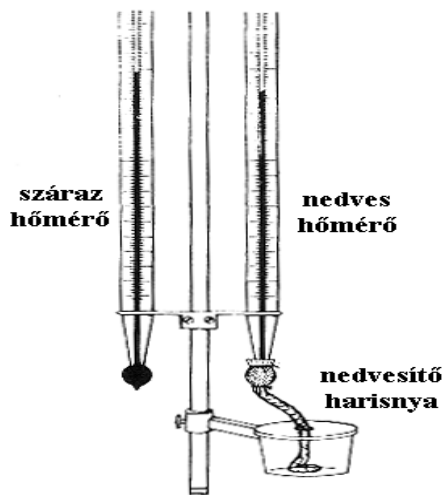
A másik napjainkban egyre inkább elterjedő, az automata meteorológiai állomásokon is használt „HUMICAP” típusú kapacitív légnedvességmérők. Nedvszívó anyaguk egy henger, vagy lemez alakú fémelektrodra felvitt 1µm vastag dielektromos polimer filmréteg, ezt egy szitaszerű fémelektroda borítja. A polimer réteg elnyeli a vízmolekulákat, ennek hatására *változik a mérőtest kapacitása*, a változás a relatív nedvességgel arányos.

8.3. Pszichrométerek

A pszichrométerek működésének alapja a víz párolgásának hőelvonó hatása, a nedves párolgó felületek lehülése. *A párolgás intenzitása arányos a telítési hiánnyal, vagyis a telítési gőznyomás és a pillanatnyi gőznyomás különbségével.* Egyszerűen szólva: szárazabb levegőben erősebb a párolgás.

Két azonos kivitelű és egyező járású hőmérőből állnak, az egyik a levegő hőmérsékletét mutatja (száraz hőmérő), a másik gömbje nedvszívó-harisnyával van körülvéve (nedves hőmérő). Ha a levegő nem telített, akkor a nedves hőmérő a párolgás miatt hőt veszít, így alacsonyabb hőmérsékletet mutat, mint a száraz hőmérő. A „száraz” és „nedves” hőmérőpár segítségével *a légnedvesség-mérést hőmérsékletmérésre vezethetjük vissza.* A kettő közötti különbség – az ún. pszichrométeres különbség – *annál nagyobb minél szárazabb a levegő.* A pszichrométeres különbségből ki lehet számítani a levegő nedvességét, illetve az a pszichrométer-táblázatokból kiolvasható.

A meteorológiai mérési gyakorlatban kétféle pszichrométert használnak. Az első az *August-féle pszichrométer* (8.4. ábra). Ezt a meteorológiai állomásokon a hőmérő házikóban helyezik el. Száraz és nedves hőmérőből áll, az egyik higanygömbjén szívó-harisnya van, ez egy kis víztartó edényből szív fel vizet, benedvesítve a Hg-gömböt. Hátránya, hogy a szélszél és a változó szélsébség befolyásolja a párolgás intenzitását.



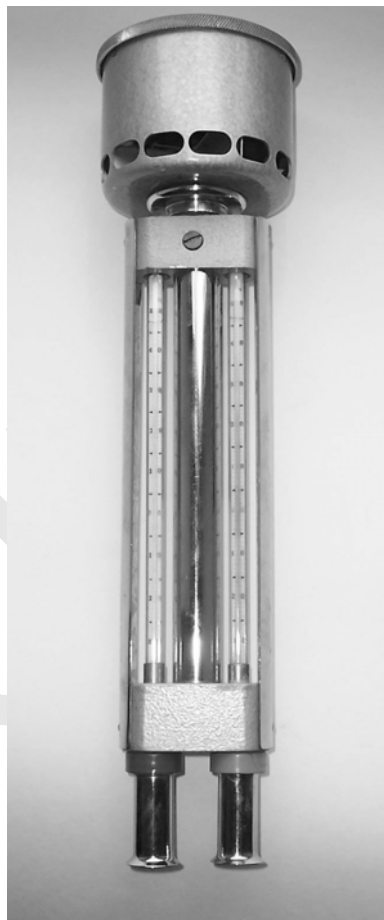
8.4. ábra

Az August-féle pszichrométer
(forrás: Horváth–Kapovits–Weingartner 1987 alapján)

A megoldást erre az *Assmann-féle aspirált (szellőztetett) pszichrométer* jelenti (8.5. ábra) Ennek krómozott sugárvédő tokja és rugóval hajtott ventilátora van.

Hogy a változó külső szélesebbesség ne befolyásolja a mért eredményt, aspirátorral előidézett állandó légáramlást vezetnek két hőmérőhöz.

A szellőztető berendezést a nedvesítő harisnya bevizelését követően a mérésnél működésbe kell hozni és kb. 3 percen át 2 méter magasan, függőlegesen tartani, majd leolvasható a pszichrométeres különbség. Az adott különbséghez tartozó gőznyomás értékek könnyen kikereshetők az erre a célra készített táblázatból. A relatívnedvesség értékek magasabb hőmérsékleteknél meglehetősen pontosak, de 0°C alatt a pontosság lényegesen romlik. Ha a nedves hőmérő higanytartójára a nedvesítőharisnya ráfagy, másik táblázatból keresendők ki az értékek.



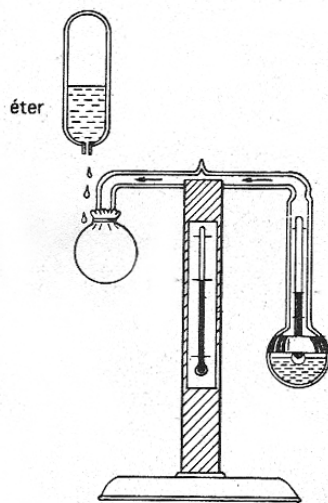
8.5. ábra
Az Assmann-féle aspirált (szellőztetett) pszichrométer

8.4. Kondenzációs légnedvességmérők, vagy harmatpont higrométerek

Azt a hőmérsékletet, amelyre lehűtve a levegő telítetté válik, (a pillanatnyi és a telítési gőznyomás egyenlő) *harmatpontnak* nevezzük. A telítési gőznyomást a hőmérséklet befolyásolja, hiszen magasabb hőmérsékleten nagyobb a levegő páraelfogató képessége. Más szóval a levegő tényleges nedvességtartamától függ, hogy mennyire kell lehűteni, hogy a harmatpontot elérje.

A mérés alapja, hogy egy fémfelületet, amin jól megfigyelhető a pára-
képződés mesterségesen lehütünk és a harmatpont elérésekor bekövetkező kicsapódás, pára-
képződés pillanatában a hőmérsékletet megmérjük.

A harmatpont meghatározása éterrel, vagy egyéb párologó folyadékkal nedvesített mérőtesteket használnak, amelyek hőmérővel és csiszolt fémtükörrel vannak ellátva. Az éter gyors párologása a mérőtestet a harmatpont alá hűti. A harmatcseppek megjelenésakor a hőmérsékletet le kell olvasni, majd, ahogy a párologás megszűnik és a mérőtest melegedni kezd a harmatcseppek eltűnésének hőmérsékletét ugyancsak le kell olvasni. A két érték számtani közepe a harmatpont. A műszer nagy előnye, hogy – a korábban bemutatott légnedvességmérőkkel ellentétben – alacsony hőmérsékleten is pontos. Két lényegileg hasonló, inkább technikai részleteiben eltérő típusa a Daniell- és a Lambrecht-féle harmattükör (8.6. ábra).

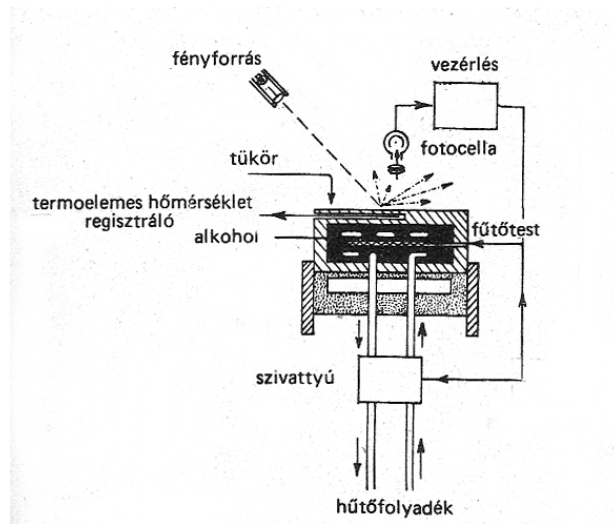


8.6. ábra

A Daniell-féle harmatpont higrométer
(forrás: Czelnai 1993 alapján)

Napjainkban a típus előnyeinek köszönhetően elterjedtek a harmatpont higrométerek automatizált változatai (8.7. ábra). Ezeknél a fémtükör alatt egy hőcsere-
lő van, amiben automatikus vezérlésű szivattyú általában szárazjéggel hűtött alkoholt
áramoltat. A tükör fölött fotocella van felszerelve úgy, hogy közvetlen fényt ne

kaphasson a ferdén elhelyezett fényforrásból. Amikor a tükrön megindul a pára-
képződés a lehülés hatására, a vízcseppek a tükrön szórják a fényt. A fotocella
fényt kap, kikapcsolja a hűtőfolyadék áramlását és bekapcsolja a fűtést. Egy termo-
elemes hőmérő méri a harmat megjelenésének és eltűnésének hőmérsékletét.



8.7. ábra
Az automata harmatpont higrométer

DUPress

9. A látástávolság mérése

9.1. A látástávolságot meghatározó tényezők

A látástávolság meteorológiai értelemben az legnagyobb vízszintes távolság, amelynél egy környezetétől jól elkülönülő tereptárgy (magányos fa, torony stb.) háttérével, az égbolttal már majdnem egybeolvad, de még éppen elkülönül attól. Meghatározása nemcsak egyirányban, hanem körkörösén történik.

Mértékegysége 1 km-ig méter, 1 km felett km. Észlelése a meteorológiai állomásokon szabad szemmel történik, ugyanakkor léteznek erre a célra műszerek is. A látástávolság jelentős mértékben függ a megvilágítási viszonyoktól. Jó megvilágítási viszonyok közt, amikor megfelelő mennyiségű sugárzás esik rájuk, a tárgyak jobban elkülönülnek a háttérüktől.

Másrészt a légköri aeroszol és a vízgőz szórja, visszaveri, és részben elnyeli a sugárzást, csökkentve a látótávolságot. Aeroszol és vízgőz nélküli légkörben a látástávolság 335 km lenne. A valódi, aeroszolt és vízgőzt tartalmazó légkörben ritkán haladja meg az 50 km-t. Pestlőrincen végzett megfigyelések szerint 30%-os relatív nedvességtartalom mellett 30 km-t ért el az átlagos látástávolság, míg 98%-os relatív nedvességtartalom esetén ez 1 km körüli értékre csökkent.

A légkör átlátszóságát a linke-féle homályossági tényező jellemzi. A homályossági tényező megmutatja, hogy hány ideálisan tiszta, száraz légkört kellene egymásra helyezni, hogy a valóságosnak megfelelő sugárzásgyengítés előálljon. *A közép Európa feletti légtömegek esetében az A értéke 1,8-4 között mozog.*

A homályosság a különböző légtömegekben eltérő, hiszen keletkezési helyük felett a légtömegek eltérő vízgőz és aeroszol mennyiséget vesznek fel.

A *Közép-Európa* fölött megjelenő légtömegeket ebből a szempontból az alábbi csoportokba soroljuk:

Sarkvidéki (arktikus) légtömeg, AM. Szárazföldi alfajának (cAM: kontinentális arktikus légtömeg) származási helye Grönland, Észak-Skandinávia belseje és Oroszország északnyugati partvidéke. Tengeri alfaja (mAM: maritím arktikus légtömeg) az Északi-Jeges-tengeren és ennek szigetein keletkezik. A szárazföldi túl alacsony hőmérséklete miatt rendkívül csekély páratartalmú, a tengeri valamivel nedvesebb. Mindkettő szennyezettsége kicsi, a homályossági tényezőjük a legkisebb (a homályossági tényező 1,8-2 körüli) a Közép-Európa fölött előforduló légtömegek között.

Mérsékelt övi (poláris) légtömeg, PM. A mérsékelt öv északi feléből, a 40°-60° szélességekről áramlik hozzánk. Tengeri alfajának (mérsékelt övi tengeri légtömeg, mPM) Származási helye az Atlanti-óceán közepes és magasabb földrajzi szélességű övezete, leggyakrabban az Ész. 50°-60° közötti zóna. Vízgőztartalma

nagy, szennyezettsége kicsi. A *mérsékelt övi szárazföldi légtömeg* (cPM) az eurázsiai kontinens hóval fedett belső területein (Oroszország európai területének közepes földrajzi szélességű övezetében vagy Szibéria nyugati területén) jön létre. Vízgőztartalma kicsi és igen szennyezett.

A *Szubtrópusi légtömegek*, (TM) az Ész. 25°-40°-ról jutnak el a Kárpát-medence fölé. A *tengeri eredetű szubtrópusi légtömegek* (mTM) az Atlanti-óceán szubtrópusi övezetéből, a *szárazföldi eredetű szubtrópusi légtömegek* (cTM) pedig Afrika északi részéből és Arábiából kerülnek Közép-Európa fölé. Mindkettő nagy vízgőztartalmú. A szárazföldi eredetű azért, mert kialakulása ugyan a Szahara fölött történik, de a Földközi-tengeren áthaladva párát vesz fel és így éri el térségünket. A cTM légtömegek szennyezettsége is nagy, homályossági tényezőjük legnagyobb a nálunk előforduló légtömegek között (homályossági tényezője 3,5-4). Ehhez a légtömeghez kapcsolódik a „véreső” jelensége, amikor a hulló csapadékkal Európa felett mosódik ki a légtömeg szaharai eredetű vöröses színű por tartalma.

Az *Egyenlítői légtömeg*, EM csak a magasabb légrétegekben fordul elő, A Kárpát-medence felett, ott is csak ritkán, nyáron. Afrika vagy az Atlanti-óceán trópusi övezetéből (0°-20°) származik, igen meleg, nagy vízgőztartalmú.

A látástávolság megállapítása történhet:

- műszer nélküli észleléssel,
- műszerrel.

9.2. Műszer nélküli észlelés

A látástávolság meghatározásához a meteorológiai állomásokon egy külön erre a célra rendszeresített úrlapon vázlatot készítenek, amelyen az állomás közelében lévő, ismert tereptárgyak távolságát és irányát tüntetik fel. Két vázlatrajz készül. Az első, finom skála, az állomás 4 km-ig terjedő, közeli környezetében levő tereptárgyak látástávolságait ábrázolja. A másik a 4-50 km közötti távolságú, fix vonatkoztatási pontok irányát és látástávolságát adja meg. Koncentrikus körök jelenítik meg az egyes látástávolságokat, míg a körök szélén levő égtáj és fokbeosztás adja meg az irányokat (9.1. ábra.).

A tereptárgyakat igyekeznek úgy kiválasztani, hogy azok távolsága az állomástól 5, 20, 200, 500 m, ill. 1, 2, 4, 10, 20 és 50 km legyen a különböző irányokban. 4 km-ig általában különösebb gond nélkül választhatók tereptárgyak, bár minden irányban megfelelő távolságra levő, jól látszó fix tárgyat találni nem túl könnyű feladat. A nappali vonatkoztatási pontok kiválasztásánál fontos szempont, hogy megfelelő méretű, lehetőleg természetes, állandó tereptárgyak legyenek.

Az is fontos, hogy sötét színű, és/vagy a környezetétől elütő objektumot válasszunk, mivel így napszaktól függetlenül hasonló a róla hozzánk eljutó kép.

Sötétben történő észleléskor ismert távolságú fénypontokat használunk vonatkoztatási pontként. Megjegyzendő, hogy éjszaka a látástávolság 1/5-e, 1/10-e a

nappalinak, annak ellenére, hogy a levegő átlátszósága fizikai értelemben szinte nem csökken.

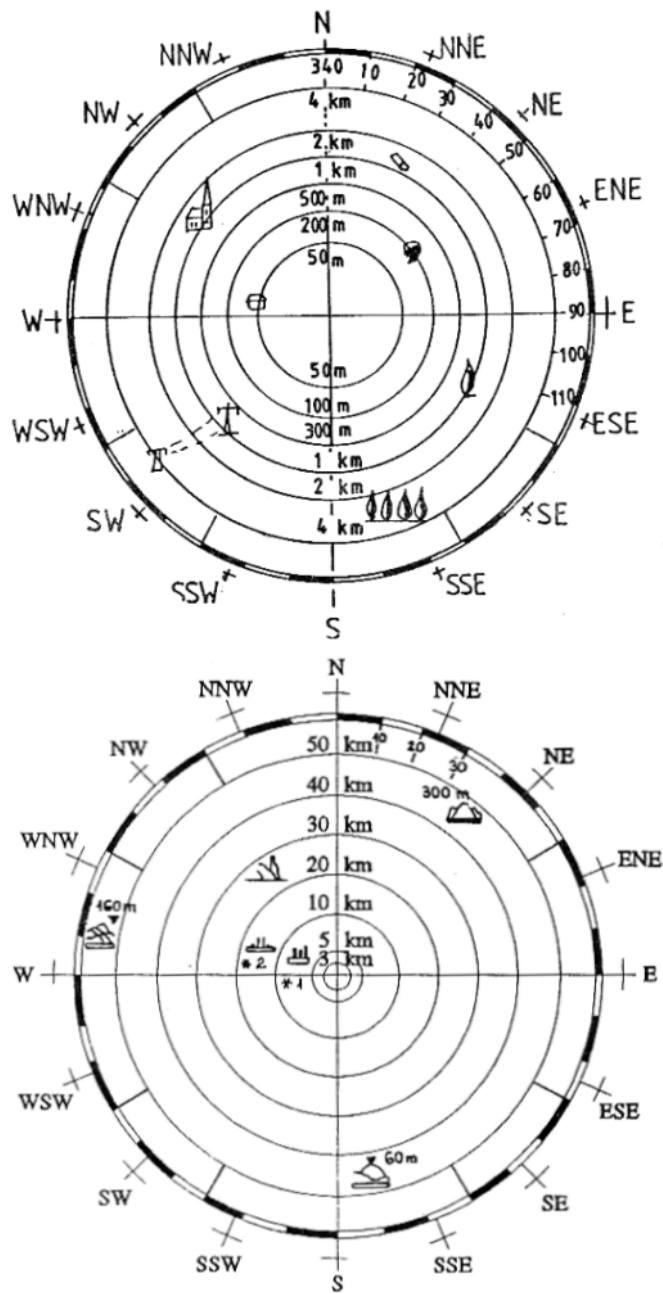
A látástávolságok közül kiemelkedik az 1 km-es látástávolság jelentősége, mivel, ha ennél kevesebbet észlelünk, köd van. Ha a látástávolság 1-2 km közt van erős párásságról beszélünk.

A köd mellett porvihar, sűrű eső, vagy havazás, hófúvás is jelentős mértékben csökkentheti a látástávolságot, bár ezek a jelenségek nem minősülnek ködnek. A ködnek, ill. a látás élességének különböző fokozatait különböztetjük meg határtávolságok alapján (9.1. táblázat).

9.1. táblázat
A látástávolság fokozatai

0	max. 50 m-ig látunk
1	látástáv 50–200 m közt
2	látástáv 200–500 m közt
3	látástáv 500 m–1 km közt
4	látástáv 1–2 km közt
5	látástáv 1–2 km közt
6	látástáv 4–10 km közt
7	látástáv 10–20 km közt
8	látástáv 20–50 km közt
9	látástáv 50 km fölött.

Abban az esetben is meghatározhatók a magasabb fokozatok, ha az észlelő látóhatára (például völgyben) nem éri el az előírt 50 km-t. Ez a becslés a legtávolabbi tárgy látásélességén alapul. Kielégítő pontosságú végrehajtása rendkívül nagy észlelési gyakorlatot kíván.



9.1. ábra

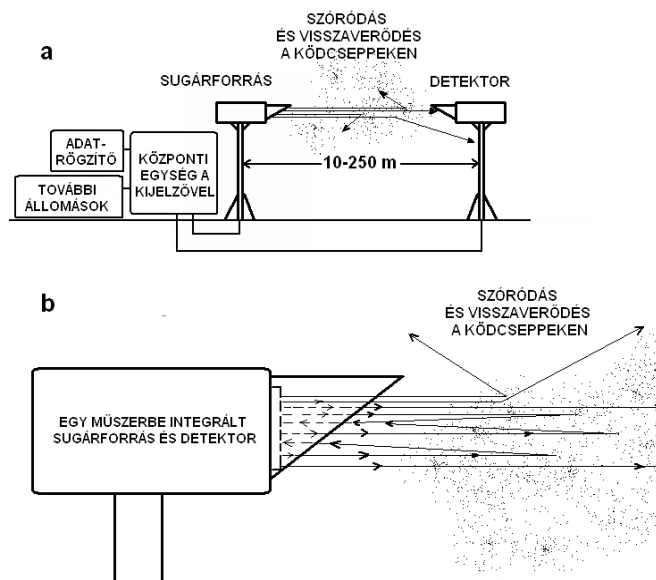
A közeli és távoli vonatkoztatási pontok rendszere
(forrás: Makra 1995)

9.3. Műszeres mérés

A látástávolság a közúti és légi közlekedésben is alapvető jelentőségű tényező, ezért fontos cél a személyi hibától mentes, teljesen objektív adatok mérésére képes műszerek készítése ennek a meteorológiai elemnek a meghatározására is.

Az ilyen műszerek többféle elven működhetnek: *mérhetjük az ismert erősségű fénysugár gyengülését (a légköri szóródást) ismert úthossz esetén; vagy a visszavert fény szóródását.* Az előbbi típusú berendezéseket transzmissziométereknek nevezik, míg az utóbbi típusba az ún. köd-detektorok tartoznak. A transzmissziométerek (9.2. ábra a része) a következő felépítésűek: adó, vevő, kijelző és adatrögzítő egységek. Az adó egy parabolatükör, aminek a gyújtópontjában egy nemesgázzal töltött nagyfeszültségű ívkisüléssel rövid, de nagyfényerejű felvillanásokat előállító villanócső van. A villanócső $0,9 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú, 1 kHz frekvenciájú infravörös fényimpulzusokat bocsát ki, amelyeket a parabolatükör a vevő egységre vetít. A vevő fotocellájában keletkező áramerősség a fényenergiával arányos. A fényenergia nagysága az adó és vevő közti vonalban (a „bázisonalban”) a levegő átlátszóságától, tehát a látástávolságtól függ.

A köd-detektor (9.2. ábra b része) azonos alapelemekből áll, azonban a sugárforrás és a detektor egymás mellé van építve. Ezzel az elrendezéssel a műszer detektora a kibocsátott infravörös sugárzás ködcsseppek és aeroszol részecskék által visszavert hányadát méri.



9.2. ábra.

(a) A transzmissziométer és (b) a köd-detektor felépítése

DUPress

10. A felhőzet megfigyelése

10.1. A felhőzet megfigyelésével kapcsolatos általános feladatok

A térfogaton belüli kicsapódás alkalmával a légtömegben egyszerre igen sok apró vízcsepp, vagy jégkristály keletkezik. Ezek az addig átlátszó levegőt elhomályosítják.

Ha a folyamat a talajközeli légrétegben megy végbe *köd*, ha magasabban *felhő* jön létre. A kettő között fizikai értelemben tehát nincs különbség: *felhőnek* vagy *ködnek* nevezzük a légkör olyan összefüggő részét, amelyben az igen kisméretű vízcseppek vagy jégkristályok olyan nagy számban lebegnek, hogy a napfény (nap-sugárzás) útjában akadályt jelentenek.

A tényleges napfénytartam kialakításában a felhőzetnek, a borultságnak alapvető jelentősége van.

A felhőzet megfigyelésénél meghatározzuk:

- a felhők fajtáját,
- a felhőzet vonulását, vagy huzamát,
- a felhőalap magasságát,
- a felhőzet mennyiségét, a borultság mértékét.

Az első két paraméter a szinoptikus és repülés meteorológiában bír nagy jelentőséggel, míg a második kettő az éghajlatkutatásban is kiemelt fontosságú. A felhőzet különböző jellegzetességei nem függetlenek egymástól, mert például a felhők fajtájának meghatározásakor a felhők magasságát is figyelembe kell vennünk.

A helyes felhőzet megfigyelés megköveteli a teljes égbély alakulásának úgyszólván folyamatos követését. Ezen kívül egyes esetekben szükség lehet az időjárási helyzet és egyéb meteorológiai folyamatok (hőmérsékletváltozások, szél, csapadék) figyelembevételére is. A felhőzet megfigyelése napjainkban még az automatizálásra való törekvés ellenére is főként vizuális úton történik.

A felhőzet megfigyelésének első lépése a *felhőfajták azonosítása*.

10.2. A felhők fajtájának megállapítása, a felhők osztályozása

A jelenleg használatban lévő felhő osztályozási rendszer alapja a WMO által 1956-ban kiadott Nemzetközi Felhőatlasz (International Cloud Atlas).

A megfigyelés során tekintetbe kell venni a felhők méreteit, alakját, szerkezetét, textúráját, fényhatását és színét. A fényhatás alatt a felhő által visszavert, szórt és átengedett fény együttes hatását értjük, míg a felhők színe főképp a rájuk eső fény

színétől függ, amit befolyásol az égbolt és esetleg a felszín színe. A megszokott, a felhőzet tömegének jórészt kitevő térfogaton belüli kondenzációval keletkezett felhők mellett még néhány különleges felhőtípus is előfordul.

Ezek:

- gyöngyházfényű felhők
- éjszaka világító felhők
- vízesések fölött keletkező felhők
- nagy tüzek fölötti erős feláramlásban kialakult felhők
- vulkanikus eredetű felhők
- robbanásokból származó felhők.

Ezek közül itt két ritka típust emelünk ki. A *gyöngyházfényű felhők* határozott körvonallal rendelkező, háttérüktől élesen elváló, gyakorta lencse alakú, fehéres, árnyék nélküli képződmények. 20-30 km közt, a sztratoszférában jelennek meg. Nevüket jellegzetes, a gyöngyházak belső oldalán megfigyelhető ún. *irizáló* színhatásukról kapták. A színhatás napnyugta környékén a legerősebb, amikor a Nap pár fokkal már a látóhatár alá bukik.

A másik speciális felhő csoport az *éjjel világító felhők* csoportja. Ezek 70-90 km körüli magasságban, a mezoszféra felső részében kialakuló, árnyéktalan, fehéres, vagy kékes-ezüstös felhők, amelyek az éjszakai égbolt sötét háttéréből élesen kiválnak. Sötétedéskor tűnnek fel: eleinte világosszürke majd ragyogóbb ezüstös színt öltenek. Összetételük nem ismert, bár feltehető, hogy kozmikus por alkotja őket.

A kondenzáció során kialakult felhőket több szempont szerint osztályozhatjuk.

A felhők alakja azokra a fizikai folyamatokra utal, amelyek létrehozták őket. Három alapvető formát adhatunk meg:

- *réteges vagy sztrátusz típusú felhő*: vízszintes kiterjedése a vastagsághoz képest nagy;
- *gomolyos vagy kumulusz típusú felhő*: vastagsága a vízszintes kiterjedéshez képest nagy;
- *vastag rétegfelhő*: mindkét irányú kiterjedése nagy.

A levegő intenzív emelkedéshez kapcsolódó gyors lehülése gomolyos felhőket hoz létre, míg a lassú emelkedéssel, vagy egy helyben, kisugárzással lehülő levegőben sztrátusz típusú felhők jönnek létre.

A felhők magassága a felhőalapnak a felszíntől mérhető távolságát jelenti, mivel a felhőtető a nagy vízszintes kiterjedésű felhőknél nem látható a felszínről. Tapasztalatok szerint a felhőtető a legmagasabb felhők esetében elérheti a tropopauzát (a trópusokon 18 km, a mérsékelt övezetben 13 km, a sarkvidéki területen 8 km). Megállapodás szerint a troposzférát három emeletre osztjuk: a magas szintű-, közép magas szintű-, és alacsonyszintű felhők emeletére (10.1. táblázat).

10.1. táblázat
A felhőzet emeletei a különböző földrajzi övezetekben
(forrás: Czelnai 1993 alapján)

Emelet	Sarkvidéki övezet	Mérsékelt övezet	Trópusi övezet
Magas (H)	3-8 km	5-13 km	6-18 km
Középmagas (M)	2-4 km	2-7 km	2-8 km
Alacsony (L)	2 km alatt	2 km alatt	2 km alatt
A talajszinttől számítva			

Halmazállapotuk szerint megkülönböztetünk

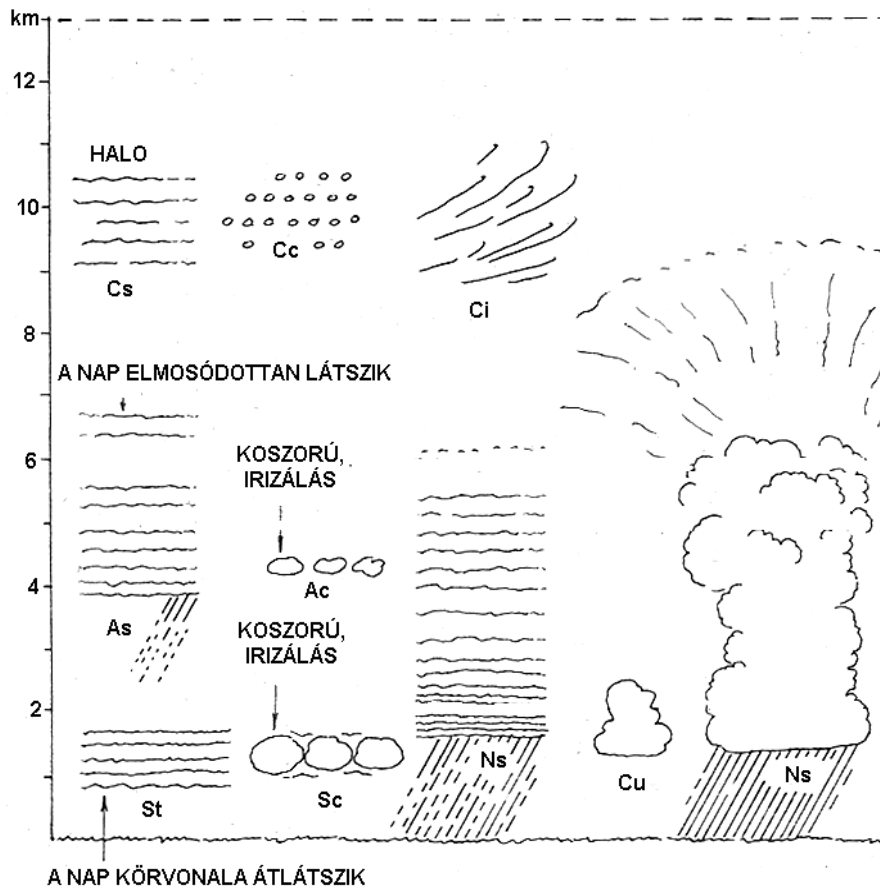
- *folyékony* (vízcseppek),
- *szilárd* (jégszemek) és
- *vegyes halmazállapotú* felhőket.

A jégfelhőkben levő jégkristályok mérete nagy, sugaruk általában néhánytized mm. A felhőben igen ritkán helyezkednek el. Köbcentiméterenként 1 jégkristály fordul elő átlagosan. Ennek következtében a jégfelhők áttetszők, fehér színűek. A vízfelhőkben sokkal kisebb, 0,005 és 0,05 mm sugarú vízcseppek találhatóak nagy sűrűségben. Köbcentiméterenként 100-tól többezerig terjed számuk. A vegyes felhőkben a két halmazállapotú víz szemcséi és cseppei keveredve fordulnak elő. Ezek a felhők adják a csapadék döntő részét a mérsékelt övezetben.

A halmazállapot és a magasság között nyilvánvaló összefüggés van: *az alacsony szintű felhők túlnyomórészt vízcseppekből állnak, a középmagas szintűek nagy része vegyes halmazállapotú, míg a magas szintű felhők kizárólag jégkristályokat tartalmaznak.*

Megkülönböztetjük még az ún. *függőleges felépítésű felhőket*, amelyeket ugyan a felhőalap magassága szerint az alacsony szintűek közé lehetne sorolni, de vastagságuk olyan nagy, hogy a tetejük belenyúlik a középmagas, sőt gyakran a magas szintű felhők tartományába.

Az osztályozás tehát a felhő alakjának, méretének színének fényhatásának szerkezetének figyelembevételére alapján történik. *Először azt állapítjuk meg, hogy a felhő melyik felhőnembe, vagy fő felhőfajtába sorolható (10.1. ábra). A 10 fő felhőfajtán belül aztán a 14 felhőforma lehetséges, de nem feltétlenül szükséges, elkülönítésével finomíthatjuk a meghatározást.*



10.1. ábra.

A Fő felhőfajták (felhőnemek) összefoglaló táblája.
(forrás: Czelnai 1993 alapján)

Minden felhőt egy felhőnembe és azon belül egy felhőformába lehet besorolni. *A nem és a forma együttesen határozza meg a felhőfajtát.* A felhőben lejárló fizikai folyamatokkal szoros összefüggést mutató felhőformák nem figyelhetők meg minden felhőnemnél: *meghatározott formák meghatározott felhőnemhez (nemekhez) tartozhatnak.*

A formai jegyekre vonatkozó megjelöléseket akkor használjuk, ha azok világosan felismerhetők, ha nem, eltekintünk használatuktól. As és Ns esetében mindig mellőzzük a forma megjelölését.

A 14 felhőforma (10.2. táblázat) megkülönböztetésével összesen 36 felhőfajtát kapunk, mivel nem minden fő felhőfajta-hoz tartozik minden felhőforma (a Ns-hez és az As-hez például egy sem).

10.2. táblázat.

A felhőfajták meghatározásának alapjául szolgáló 14 jellemző felhőforma.
(forrás: Czelnai 1993 alapján)

felhőformák	
fibratus (fib)	Jelentése: fonalas, rostos. Majdnem egyenes, v. enyhén görbült Cirrus fonalak.
uncinus(unc)	Jelentése: horgas, kampós. sűrűn álló lefelé görbülő kampók-ból, esetleg pamacsokból kiinduló, vízszintesen elhúzódo Cirrus fonalak.
spissatus (spi)	Jelentése: vastag, megvastagodott. Nagyobb sűrűségű Cirrus, a Nap felé nézve szürkés árnyalatot mutat.
castellanus (cas)	Jelentése: várszerű, tornyos. A felhő alapja közel egyenes, míg a felső részén vonalakba rendeződő, tornyocskákra emlékeztető, gomolyos kitüremkedések jelennek meg, amelyek a felhőnek csipkézett jelleget kölcsönöznek.
floccus (flo)	Jelentése: pihés, bolyhos. Minden felhőelem egy-egy pihe, szakadozott alsó határral. Gyakran rendelkezik virgával, vagyis látható csapadéksávokkal, amelyek csak a felhő közelében jelentkeznek.
stratiformis (str)	Jelentése: réteges. Kiterjedt réteget alkotó felhő.
nebulosus (neb)	Jelentése: ködös, ködszerű. Elkülöníthető részleteket nem mutató, ködszerű fátyol, v. réteg.
lenticularis (len)	Jelentése: lencseszerű. Lencse alakú felhők sima, határozott határokkal, esetleg irizáló fényhatással.
fractus (fra)	Jelentése: szakadozott, tépett. Szabálytalan alakú foszlányok.
humilis (hum)	Jelentése: (alacsony, kicsi) Kis függőleges kiterjedésű, enyhén lapított formájú gomolyfelhők.
mediocris (med)	Jelentése: közepes mérsékelt függőleges kiterjedésű gomolyfelhők, tetejükön aránylag kis kitüremkedésekkel.
Congestus (con)	Jelentése: feltornyozott. Nagy magasságú, tornyos gomolyfelhő lapos aljjal, rojtos körvonalakkal és erősen felboltozódó felsőrésszel.
Calvus (cal)	Jelentése: kopasz. Cumulonimbus, amelynek felső része már kezd elveszteni gomolyos karakterét, Cirrus jellegű részek még nem jelentek meg rajta, az „üllő” hiányzik, de a felső rész már többé-kevésbé fehéres masszaként jelenik meg, amit függőleges barázdák szabdalnak.
Capillatus (cap)	Jelentése: hajas. Cumulonimbus jól felismerhető Cirrus-jellegű sapkával, aminek barázdált szerkezete közel üllő formáját ölti, esetleg rendetlen hajtömeghez hasonlít. A Cumulonimbus legfejlettebb fajtája, rendszerint zivattal, jégesővel, felhősza-kadással jár.

A következőkben a felsorolt osztályozási szempontok szerint megkülönböztett 10 fő felhőfajta (felhőnem) elnevezését, jelölését és legfontosabb jellemzőit közöljük.

10.2.1. Magas szintű felhők

Cirrus, (*Ci*, pehelyfelhő).

Finom, rostos, szalagos, vagy fonalas szerkezetű, szétagolt, különálló felhők (10.2. ábra). Saját árnyéka nincs (áttetsző vagy átlátszó), általában fehér színű, gyakran selymes fényű. Majdnem kizárólag jégkristályokból áll. Korona-ill. halojelenséget okozhat.

Korona-jelenség akkor alakul ki, ha a Nap, vagy a Hold vékony felhőrétegeken (*Cirrus*, *Cirrostratus*) világít át. Ilyenkor gyakran világos gyűrű jelenik meg körülöttük. A gyűrűk a halo-jelenséggel ellentétben közvetlenül az égitestek körül jelennek meg. A felhőelemek közti részen átszűrődő sugarak a jégkristályok által alkotott optikai rácson hajlanak, egymással interferenciát hozva létre kialakítják a koronát. A korona általában egy belső, fényes, de színtelen részből és egy külső sárga gyűrűből áll. Ez a gyűrű az ún. Aureola, a nap- vagy holdudvar.

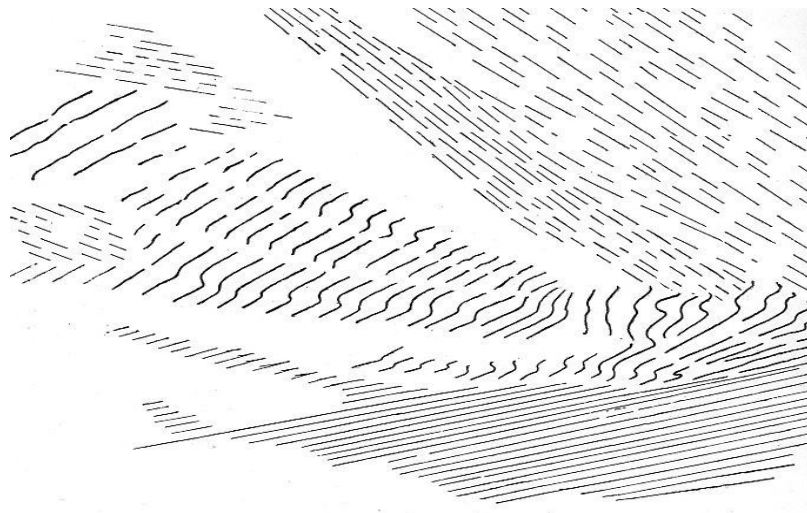
A *halo-jelenség* sajátos, a vékony *cirrus*, *cirrostratus* felhők által létrehozott légköri optikai jelenség. A Nap, vagy a Hold fénye ilyen esetben gyengén átlátszik, átdereng a felhőkön, az égitestek körül gyengén színes fénygyűrűk jelennek meg. A felhőben levő jégkristályok, mint hatszög alapú egyenes hasábok fényeltérítő prizmaként törik a fényt. A legkisebb eltérítési szög 22° . Ezért a gyűrűk látószöge is 22° , tehát a fénykörök a Hold, vagy Nap átmérőjének kb. a tízszeresét érik el.



10.2. ábra
Cirrus

Cirrocumulus (*Cc*, magas szintű gomolyos rétegfelhő, vagy bárányfelhő).

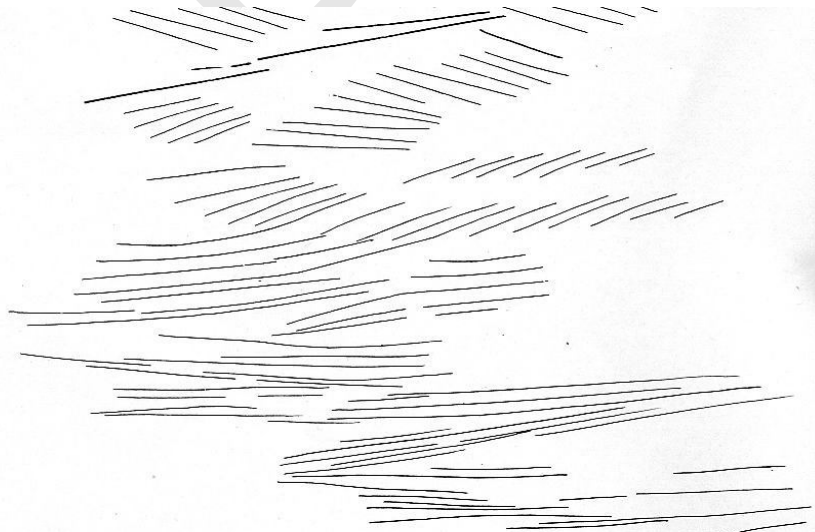
Igen apró gomolyokból, bordákból, esetleg kis szemcse-szerű elemekből tevődik össze, amelyek csoportokba, sorokba rendeződnek (10.3. ábra). Árnyékot nem vet, döntően jégkristályokból áll.



10.3. ábra
Cirrocumulus

Cirrostratus, (Cs, magas szintű rétegfelhő – fátyolfelhő).

Vékony fehér rostos-fonalas szerkezetű felhőfátyol, vagy lepel (10.4. ábra). A Napot vagy a Holdat nem takarja el, de korona-ill. halojelenséget okoz. Főleg jégkristályok alkotják.

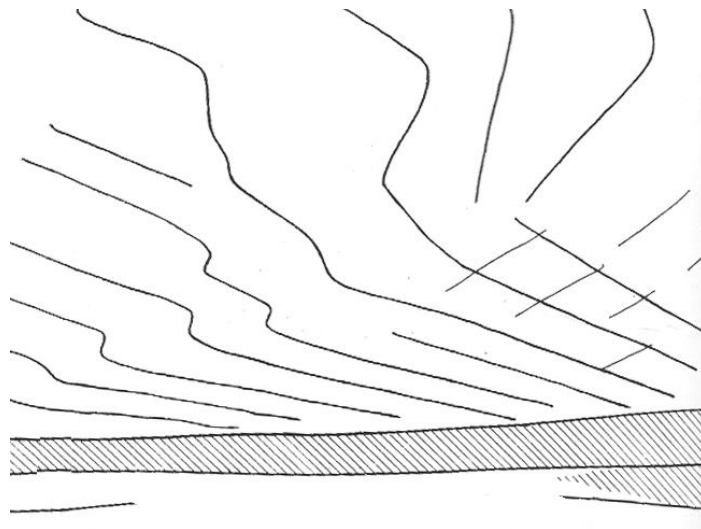


10.4. ábra
Cirrostratus

10.2.2. Középmagas szintű felhők

Alto cumulus (*Ac*, középmagas szintű réteges gomolyfelhő).

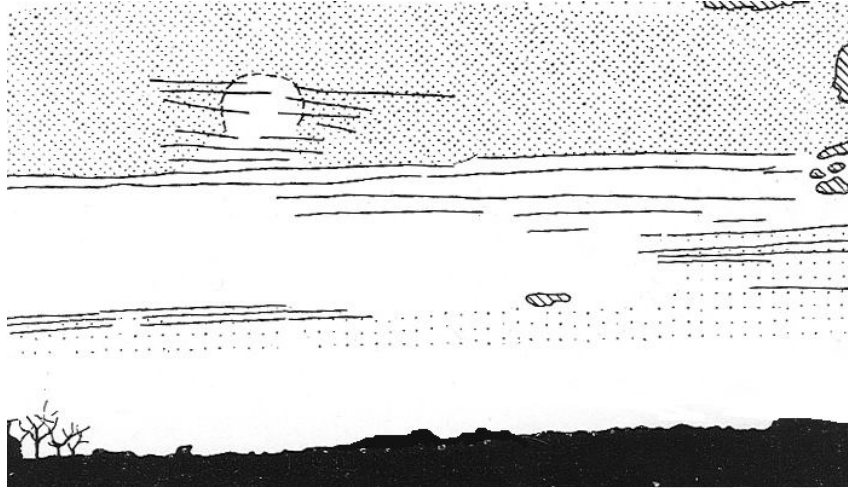
Fehéres vagy szürke, réteges, pados, vagy foltos szerkezetű felhőtakaró, amit lapos, vagy gömbölyded gomolyok és lapocskák alkotnak (10.5. ábra). Részei jelentkezhetnek egymással szorosan összekapcsolva, vagy lazán szórtabban. Önárnyéka lehetséges. A közepes szélességeken általában vízcseppekből áll, de télen és/vagy magasabb szélességeken állhat jégkristályokból is.



10.5. ábra
Alto cumulus

Altostratus, (*As*, középmagas szintű rétegfelhő).

Rostos, vagy sávos, csíkos szerkezetű felhőlepel; szürkés vagy kékes színű (10.6. ábra). Részben vízcseppek, részben jégkristályok alkotják (vegyes halmazállapotú), a Nap, vagy a Hold csak elmosódva látszik rajta keresztül. Csapadék (eső vagy hó) hullhat belőle.

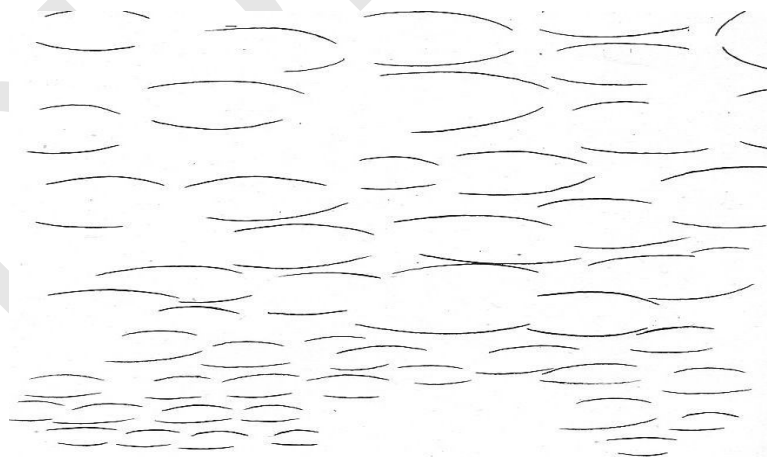


10.6. ábra
Altostratus

10.2.3. Alacsony szintű felhők

Stratocumulus, (*Sc*, alacsony szintű réteges gomolyfelhő).

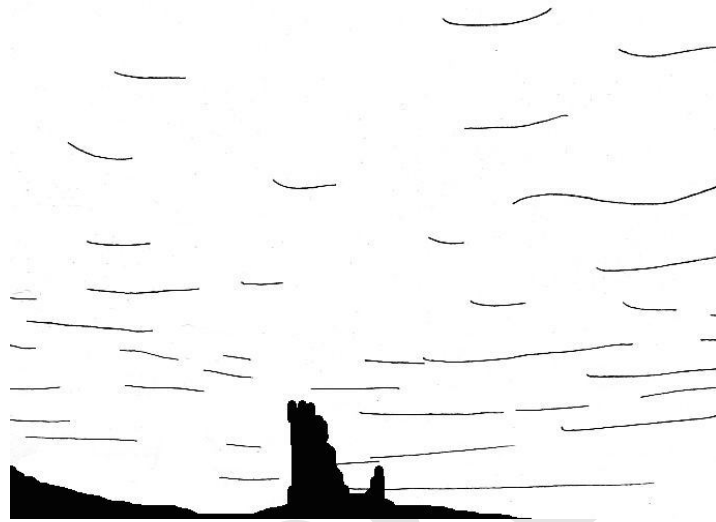
Lapos részekből, gomolyokból álló réteg, folt, vagy takaró (10.7. ábra). Szürkés, vagy fehéres árnyalatú, helyenként sötétebb foltokkal, rétegekkel. Mozaikszerűen összetett elemekből, párnákból, hengerekből áll. Gyenge csapadékot, szitálást képes okozni. Általában vízcseppekből áll, de hideg időben tartalmazhat hó- és jégkristályokat is, ilyenkor halo-jelenséget idézhet elő.



10.7. ábra
Stratocumulus

Stratus, (*St*, alacsony szintű rétegfelhő).

Egyenletes szürke felhőtakaró, felhőréteg, amelynek szerkezete a ködéhez hasonló (10.8. ábra). Vízcseppekből áll, szitálás, szemerkélő eső, hó jégtű, vagy hódara hullhat belőle.



10.8. ábra
Stratus

10.2.4. Függőleges felépítésű felhők

Cumulus, (*Cu*, gomolyfelhő).

Elkülönült, többnyire sűrű, éles körvonalú, tömbszerű felhő, amely függőleges irányban gomolyszerűen, kupolaszerűen, vagy tornyosan fejlődik (10.9. ábra). A felső, napsütötte részei ragyogó fehérek, alsó része sötét és a felhőalap szinte pontosan vízszintes. Általában vízcseppekből áll, a magasabb tornyok felső részében azonban lehetnek hó- és jégkristályok. Konvektív feláramlások révén keletkezik, egyik fajtája (*Cumulus Congestus*) adhat závorszerű csapadékot is.



10.9. ábra
Cumulus

Cumulonimbus, (*Cb*, zivatarfelhő).

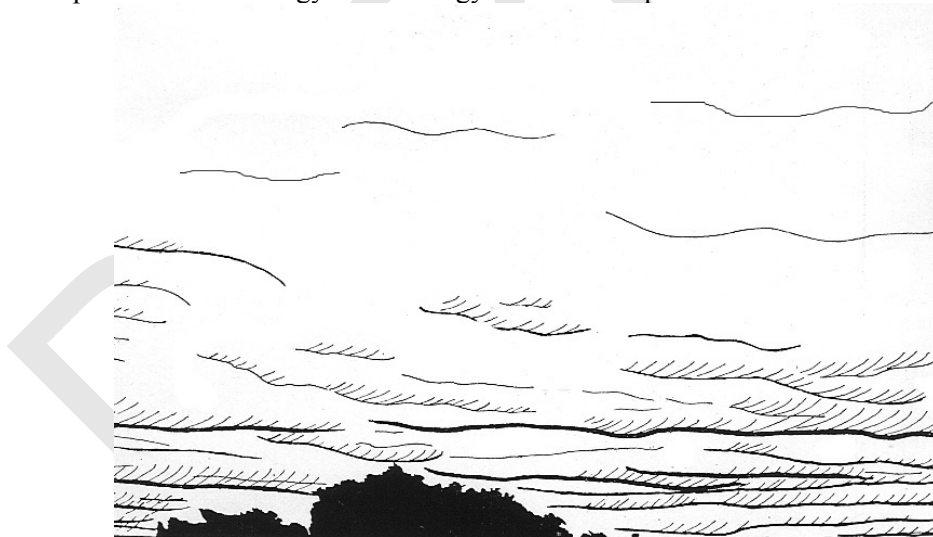
A Cumulus továbbfejlődéséből keletkezik. Ez a vastag felhő rendelkezik a legnagyobb függőleges kiterjedéssel. Alsó része sötét szürkés-lilás, rostos szerkezetű egyenes felhőalappal (10.10. ábra). Felső része olyan fehér, mint a Ci, rajta rostos, barázdált, vagy karfiol fejre emlékeztető gomolyos képződmények figyelhetők meg. A teteje, ha eléri a tropopauzát, gyakran szétterül. Alakja oldalnézetben hegyre, hatalmas toronyra, vagy üllőre emlékeztet. Alatta gyakran figyelhetők meg alacsony, tépett felhők, illetve a felhőalapról kinyúló csapadék szálak (virgák). Teteje mélyen benyúlik a troposzféra fagypont alatti hőmérsékletű felső rétegeibe, sőt a sztratoszférába is. Záporos, zivataros csapadék; eső, hó, vagy jégeső hullik belőle.



10.10. ábra
Cumulonimbus

Nimbostratus, (*Ns*, esőrétegfelhő).

Szürke, gyakran sötétszürke felhőréteg, elmosódó alakkal (10.11. ábra). A felhőalap alatt gyakran figyelhetők meg elkülönült, vagy abba beolvadó tépett felhőfoszlányok. Szinte állandóan hullik belőle eső vagy hó, ami eléri a talajfelszínt. A csapadék intenzitása egyenletes. Vegyes halmazállapotú felhő.



10.11. ábra
Nimbostratus

A felhőfajták meghatározását bizonyos *változatok* megjelölésével lehet tovább pontosítani.

A változatok a következők:

- intortus (in): elcsavart, összekuszált.
- vertebratus (ve): gerincvonalas.
- undulatus (un): hullámos
- radiatus (ra): sugaras.
- lacunosus (la): barázdált, árkolt, üreges, lyukas.
- duplicatus (du): megkettőzött, ismételt.
- translucidus (tr): áttetsző, átlátszó.
- perlucidus (pe): fényáteresztő.
- opacus (op): árnyékos, vastag, sűrű.

A változatokra vonatkozó pontosító megjegyzésekből több is adható, de használatuk nem kötelező.

Bizonyos esetekben a felhők jellegzetes *kísérő felhőit*, vagy más tulajdonságait szükséges még megjelölni. Erre használatosak a kiegészítő meghatározások. Ezek a következők:

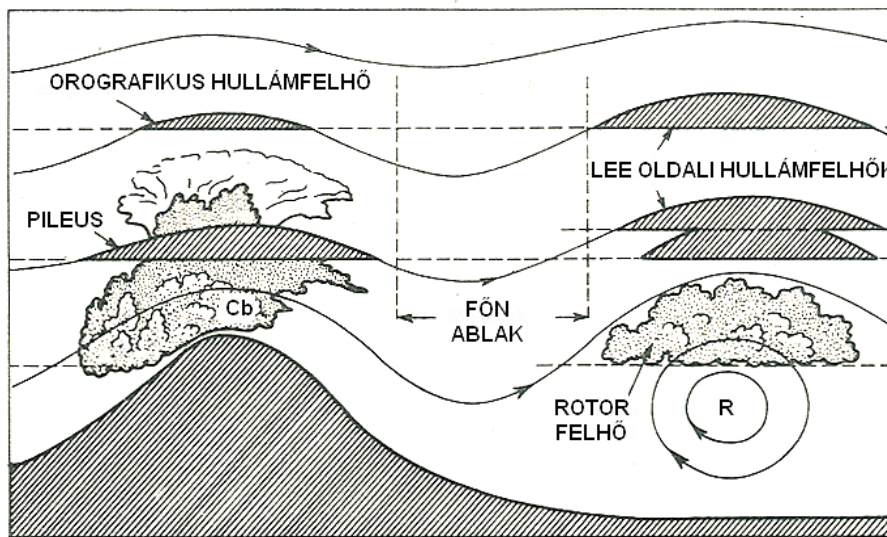
- incus (inc): üllő; a Cumulonimbus capillatus felső része.
- mamma (mam): kebel; több felhőnem (Ci, Cc, Ac, As, Sc, Cb) esetében előforduló, a felhő alján megjelenő domborulat.
- virga (vir): vessző, ág; csapadékhullást jelző függőleges vagy ferde ágak, vonalak Cc, Ac, As, Ns, Sc, Cu, Cb felhőnembe tartozó felhőknél. A felszínt nem érik el.
- praecipitatio (pra): esés, hullás; csapadék, (eső, szitálás, hó jég- hódara, jégeső), ami valamilyen felhőből (As, Ns, Sc, Cu, Cb) hull és eléri a felszínt.
- arcus (arc): ív, boltozat; szakadozott szélű horizontális görgeteg; egyes felhők (Cb, Cu) alsó részén sötét fenyegető ívet alkot.
- tuba (tub): cső, tölcser, kürtő, csatorna; egyes felhők (Cb, Cu) aljáról felhőoszlop, felhőtölcser nyúlhat le, ami intenzív örvénylést jelez.
- pileus (pil): sapka; kis vízszintes kiterjedésű sapkára emlékeztető járulékos felhő Cu, vagy Cb felhők tetejéhez csatlakozva. Egymás felett, esetleg több rétegben is előfordulhat.
- velum (vel): vitorla, lebeny; kis magasságú, de nagy vízszintes kiterjedésű felhősáv, általában Cu felhők felső részéhez csatlakozik, gyakran több felhőt is keresztezve.
- pannus (pan): rongy, foszlány; tépett felhőfoszlányok, amelyek összefüggő réteget alkothatnak Ns, Cu, vagy Cb felhőkhöz alulról kapcsolódva.

Osztályozás szempontjából sajátos jelenségek az *orografikus felhők*, mivel a légáramlások útjában álló domborzati akadályok módosíthatják a már kialakult felhőket, illetve új felhők kialakulásához is vezethetnek. Az orografikus felhők kisebb, vagy nagyobb mértékben eltérhetnek a szokványos felhőktől. A gyakorlatban az orografikus felhőket hasonló fizikai sajátságaik alapján a hozzájuk leginkább hasonló szokványos felhőnemekbe soroljuk be.

Az orografikus felhők különfélék lehetnek a kialakulásukban szerepet játszó domborzati forma magasságától, alakjától, a szél irányától és sebességétől és számos más tényezőtől függően. Abban azonban hasonlítanak egymáshoz (és egyszerűsített különböznek a szokványos felhőktől), hogy alig mozognak, inkább a kiala-

külásukban szerepet játszó akadály felett, vagy előtt látszanak lebegni a légáramlás által meghatározott helyen.

A magányos hegycsúcs körül felhőgallér alakulhat ki, míg a hosszan elnyúló, jelentős magasságú hegygerincek szél felőli (luv) oldalán összefüggő, nagy csapadékot adó felhőfal jöhet létre. A másik (lee) oldalon a leszálló, fön-jellegű áramlás ugyanakkor a felhőzet feloszlását idézi elő. A gerinc mögötti felhőmentes sávot „fön-ablaknak” nevezik. A gerinc az áramlásban hullámzást idéz elő (10.12. ábra), ezért a gerinctől meghatározott távolságban újra keletkezik néhány felhősáv.



10.12. ábra.

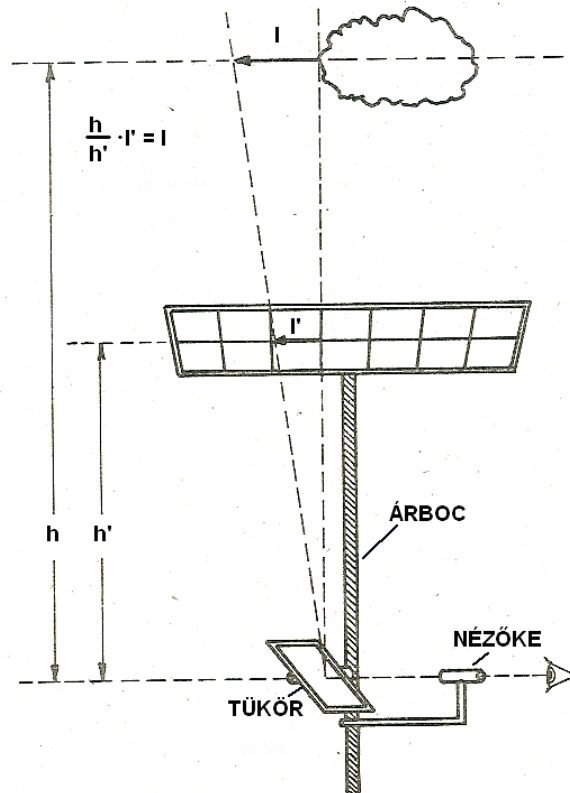
Az orografikus felhőképződés során lehetséges felhőtípusok.
(forrás: Czelnai 1993 alapján)

Ha már kialakult, nem orografikus felhőket hajt a légáramlás domborzati akadályok fölé, akkor kétféle jellegzetes módosulásokon mennek keresztül a felhők. Egyrészt kombinálódnak az érkező felhők a helyben keletkezett orografikus felhőkkel, másrészt a lee oldalon a nem orografikus felhőrendszer is elvékonyodik, vagy feloszlik időlegesen. A hegygerincek luv oldalán a felhőzet megvastagodása (függőleges kiterjedésének és sűrűségének megnagyobbodása), míg a lee oldalon a magasszintű felhők lencseszerű tömbökre szakadozása figyelhető meg.

10.3. A felhőzet vonulásának megfigyelése

A felhőzet huzama alatt a felhők vonulási sebességének és irányának meghatározását értjük. Legegyszerűbben ez úgy történhet, hogy valamilyen mozdulatlan felszíni tárgyhoz, például oszlophoz viszonyítva figyeljük meg a felhő egy jellegze-

tes alakú részének elmozdulási irányát és sebességét. A felhőzet huzamának műszeres mérésénél a felhők mozgási irányával párhuzamos helyzetbe hozunk egy ismert hosszúságú egyenest és megmérjük, hogy a felhő milyen gyorsan mozog az egyenes mentén. Így meghatározhatjuk a felhők mozgásának szögsebességét. Ebből a felhőalap magasságának megállapítása után (méréssel, vagy a felhőfajtára jellemző átlagos felhőalap-magasság ismeretében becsléssel) kiszámíthatjuk a tényleges vonulási sebességet. Iránytű segítségével a vonulási irány is pontosan megadható. Ilyen célokra készített műszer az ún. felhőgereblye (10.12. ábra). Ez egy 2-3 méter magas, függőleges rúdon elhelyezett négyzetes hálózattal, keskeny, hosszú rác. A mérés úgy történik, hogy egy célzó tükör segítségével a gereblyét egy felhőpont irányába állítjuk és megmérjük, hogy a gereblye egyes fogai közt mennyi idő alatt halad át a kiválasztott pont. Így szintén szögsebességet mérhetünk, míg az irányt a gereblye helyzetéből határozzuk meg.



10.12. ábra.
A felhőgereblye

10.4. A felhőalap magasságának meghatározása

A felhőalap *a kondenzációs szint magasságát jelző változó sűrűségű réteg*. Alsó határán jelennek meg a legkisebb méretű felhő cseppek. Felfelé fokozatosan homályosodik, a látás teljes elvesztéséig.

A felhőalap magasságának meghatározása legegyszerűbben *becsléssel* történik. Mivel a felhőfajták jellegzetes magasságokhoz kötődnek, a felhőfajta besorolása révén *a felhőalap jellemző átlagos magasságának ismeretében becsüljük a kérdéses felhő magasságát*.

A felhőalap magassága *két teodolit segítségével is meghatározható*. Ha a két teodolit ismert hosszúságú alapvonal mentén van elhelyezve és azokat *a felhő azonos pontjára irányítjuk a mért szögéből és az ismert távolságból számíthatjuk a magasságot*. A módszer alapvető problémája, hogy a két helyről egyformán látható, azonosítható pontot találni igen nehéz.

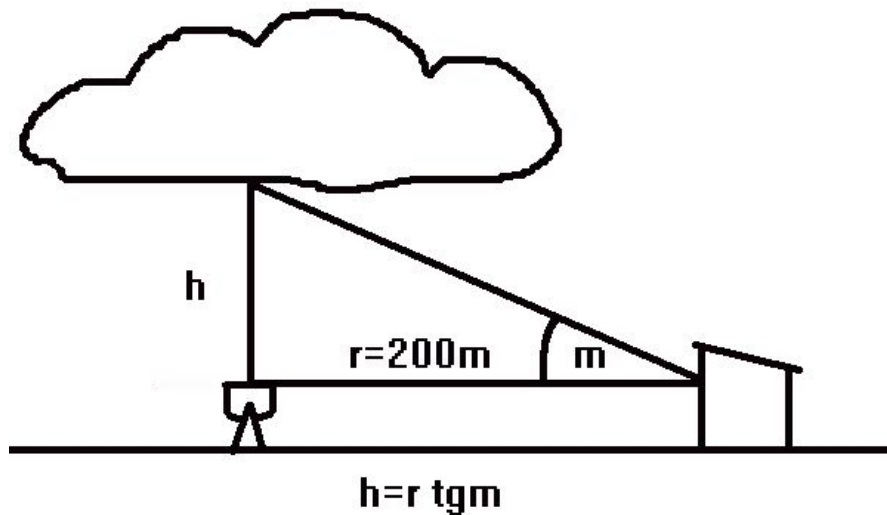
A gomolyfelhők alapjának a magasságát pszichrométer segítségével is meghatározhatjuk. Ez a felhőfajta a talajról felemelkedett levegőben jön létre a felhőalap abban a magasságban van, ahol a felszíni levegő eléri a telítettséget. Ez a magasság meghatározható, ha *a levegő hőmérsékletéből kivonjuk a harmatpontot és az eredményt szorozzuk százzal*:

$$h=100(T-T_d)$$

Csapadék nélküli időszakban, a gomolyfelhők fejlődési szakaszában 120, csapadék után 180 a szorzószám, mivel ilyenkor kisebb a különbség a harmatpont és a hőmérséklet között, ezért nagyobb szorzót kell alkalmazni a gyakorlati tapasztalatok szerint.

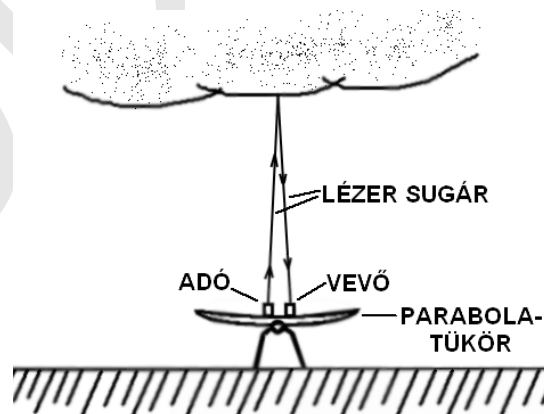
A magaslégköri állomásokon alkalmazott módszer a *pilotballonok* felhasználása a felhőalap magasságának meghatározására. A hidrogénnel töltött ballonok a troposzférában ismert állandó sebességgel emelkednek, ezért *az indításuk és felhőben történő eltűnésük között eltelt idő mérésével a sebesség ismeretében kiszámítható az általuk megtett út, vagyis a felhőalap magassága*.

A meteorológiai főállomásokon a *felhő-fényszóró* segítségével végzik a felhőalap magasságának pontos meghatározását (10.13. ábra). Az észlelőhelytől 200 méterre elhelyezett fényszóróból függőleges csóvát bocsátanak a felhőre. *A megvilágított folt – vagyis a felhőalap – magasságát az észlelőhely és a fényszóró ismert távolságának és a megvilágított folt magassági szöge a tangensének a szorzata adja meg*.



10.13 ábra.
A felhőalap magasságának meghatározása a felhőfényezővel

A felhőalap magasságának meghatározására szolgáló legújabb módszer az *optikai-radar* (LIDAR) alkalmazása (10.14. ábra). Ennek sugárforrása egy gallium-arszenid injekciós lézer, ami a közeli infravörös tartományban, $0,907 \mu\text{m}$ -es hullámhosszon, 3904 Hz -es frekvencián 50 nanosecundum onként sugároz ki fényimpulzusokat felfelé a felhőre. A visszavert sugarakat fotocella érzékeli. *A műszer a méri a kibocsátás és visszaérkezés között eltelt időt és kiszámítja a megtett utat, aminek fele a felhőalap magassága.* 10 és 1500 m közötti magasságtartományban 5m -es pontossággal képes a felhőalap magasságának meghatározására.



10.14. ábra.
A felhőalap magasságának meghatározása optikai radar segítségével

10.5. A felhőzet mennyiségének, a borultság mértékének meghatározása

Borultság alatt az égboltnak felhők, vagy sűrű köd által való takartságának %-ban vagy oktában kifejezett értékét értjük. Régebben tizedekben adták meg a borultság mértékét, ami a terepklíma mérések során napjainkban is használatos.

Műszer nélkül, becsléssel állapítható meg. Pontos meghatározása igen nagy észlelői gyakorlatot kíván. Az égboltot képzeletben nyolc részre osztjuk föl, és azt állapítjuk meg, hogy abból hány részt takarnak a felhők. A teljes felhőtlenység nulla (0%), a teljesen borult ég nyolc okta (100%). Éjszaka a felhőzet terjedelmét abból ítéljük meg, hogy az égbolt hány nyolcad része csillagos.

Ha van néhány felhőfoslány az égen, de nem éri el az egy oktát, akkor is egy oktának tekintjük a felhőzöttséget. Ha az ég majdnem teljesen borult és csak egy oktánál kevesebb látszik, akkor is hét oktának tekintjük a felhőzöttség mértékét. Köd esetén a felhőzöttség mértéke nyolc okta, ha a Hold, vagy a csillagok éjjel átlátszanak rajta, akkor nulla okta.

A felhőzöttség mértékének minősítésére alkalmazott kifejezésekhez tartozó oktában megadott felhőzöttségi értékeket mutatja a következő táblázat (10.3. táblázat):

10.3. táblázat
A borultság mértékének kategóriái
(forrás: Makra 1995)

felhőtlen az égbolt	0 okta
derült	1 okta
gyengén felhős	2 okta
felhős	3-5 okta
erősen felhős	6-7 okta
borult	8 okta

11. A csapadék mennyiségének mérése

11.1. Alapfogalmak és a csapadék mérésének célja

Csapadék alatt a légkör vízgőztartamából származó, a földfelszínre hulló, illetve a talajfelszíni tárgyakon kicsapódó cseppfolyós, vagy szilárd halmazállapotú vízmennyiséget értjük.

A különböző *csapadékfajtákat* keletkezésük helye, valamint halmazállapotuk alapján osztályozhatjuk. Így megkülönböztetjük a térfogaton belüli kondenzáció eredményeként kialakuló hulló, vagy makrocsepdekókat; valamint a felszíni tárgyak felületén kicsapódó felszíni, vagy mikrocsapadékokat, a cseppfolyós harmatot, a szilárd halmazállapotú dért és zúzmarát. A cseppfolyós halmazállapotú hullócsapadékok közé az esőszitálás, ködcsitálás, eső, záporosó, ónososó tartozik, a szilárd halmazállapotú csapadékoknál megkülönböztetünk kristályos és szemcsés csapadékalakot:

- kristályos csapadékok: jégtűk, hó, záporosó, hóesés, havasosó, záporosó, havasosó,
- szemcsés csapadékok: szemcsés hó, jégcszemcsék, hódara, jégdara, jégcsapadék.

A csapadékmérés során azt határozzuk meg, hogy milyen magasan borítaná a sima és vízszintes talajfelszínt a lehulló esővíz (a hó esetében a felolvadt hólé), ha a csapadék teljes egészében ott maradna azon a felszínen, ahová esik, tehát nem szivárogná be a talajba, nem párologna, vagy folyna el.

A csapadékmérés célja kettős:

- képet kapni az adott időszak alatt lehulló *csapadékmennyiségről*, annak területi eloszlásáról, valamint
- ismerni az adott helyen a *csapadék időbeli eloszlását* (intenzitását), különös tekintettel a rövid időn belül lehulló nagy mennyiségek előfordulásaira.

A cseppfolyós halmazállapotú csapadék mennyiségét milliméterben fejezzük ki. Mérése azonban – praktikus szempontokból – 0,1 mm pontossággal történik: az 1 m²-nyi vízszintes földfelszín-darabon 1 mm csapadék 1 liter vízmennyiségnek felel meg. A hóvastagságot cm-ekben mérjük. 1 cm friss hó hozzávetőleg 1 mm csapadékmennyiségnek felel meg (ez erősen függ a hókristályok szerkezetétől, méretétől, a hó sűrűségétől).

A csapadék mérése során fel kell jegyezni a csapadékhullás elejét és végét, valamint a lehullott csapadék mennyiségét. Egy *csapadéknapi* az adott nap reggelének 6:45 órájától a következő nap 6:45 óráig tart. Amennyiben nincs lehetőség részletesebb mérések elvégzésére, úgy naponta 1 alkalommal, reggel 6:45 órakor kell elvégezni a mérést, amelynek eredménye a napi csapadékösszeg – ezt az előző

nap összegének kell tekinteni. A 0,1 mm alatti csapadékösszeget *nyomcsapadéknak* nevezzük.

A műszeres mérést célszerű *vizuális megfigyelésekkel* is kiegészíteni, például megemlíteni, hogy mérhető csapadék ködből is származhat. Hasznos tájékoztatásul szolgálhat a csapadék formáinak (szitálás, csendes eső, zápor stb.) feljegyzése.

11.2. A műszerek elhelyezése

A csapadékmérőt szabad helyen, árnyékmentesen kell felállítani azért, hogy a csapadék minden irányból akadálytalanul juthasson a felfogóedénybe. Célszerű ügyelni arra, hogy minden kiemelkedő tárgytól, fától stb. legalább olyan távolságra helyezkedjen el, mint azok magassága, vagyis biztosítani kell, hogy a csapadék körkörösén még 45°-os szög alatt is szabadon hullhasson a felfogóedénybe, ellenkező esetben ugyanis a műszer kevesebbet mér a valóságos mennyiségnél. Nem célszerű erős szélhatásnak kitett hely kiválasztása sem, mert az csökkenti a felfogható csapadékmennyiség (különösen a hó) mennyiségét.

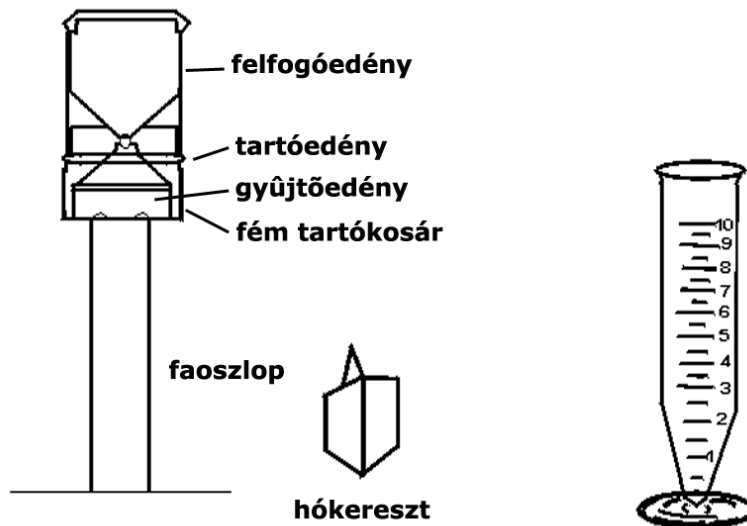
Fontos kritérium az is, hogy a csapadékmérő felső, esztergályozott alumínium gyűrűjének éle a talajtól 1 m-es magasságban helyezkedjen el.

11.3. A hulló csapadékok mérése

11.3.1. Csapadékmérő műszerek

A csapadék mérésére szolgáló eszközöket összefoglalóan *ombrométereknek* nevezzük. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál 1966 óta az ún. *Hellmann-rendszerű kettősfalu csapadékmérő*, illetve annak továbbfejlesztett változata (*Oláh-Csongor-féle kettősfalú állomás-csapadékmérő*) használatos.

A műszer két fő alkotója (11.1. ábra): az alumíniumból készült felfogóberendezés – ennek részei: felfogóedény, tartóedény, gyűjtőedény, fém tartókosár/tartókar – és az üvegből készült mérőhenger. Ezeken túlmenően a műszerhez tartozik egy hókereszt is.



11.1. ábra
A Hellmann-féle csapadékgyűjtő

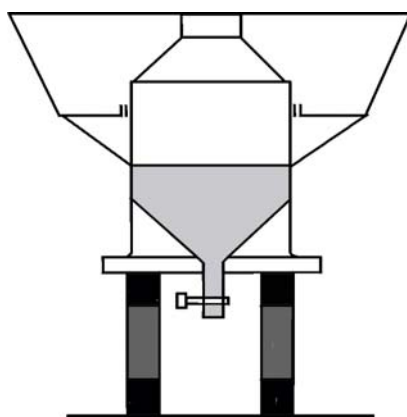
A kör alakú felfogóedény – a saját felmelegedését és a felfogott csapadék ebből fakadó párolgását csökkentendő – kettős falú alumíniumból készült. Külső része a műszerköpeny, belső része a tölcsér, amelyen keresztül jut a felfogott vízmennyiség a gyűjtőedénybe. A gyűjtőedény befogadóképessége 90 mm, azonban az ezt magában foglaló tartóedény kb. 100 mm csapadékot raktározhat (az ekkora napi csapadékmennyiségek hazánkban meglehetősen ritkák). A műszer felszerelését elősegítő fém tartókosarat, vagy tartókart rendszerint egy faoszlop oldalára, vagy végére szokták rögzíteni.

Az üveg mérőhenger falán lévő beosztáson a mm-közök jóval nagyobbak, mint 1 mm. Ennek oka, hogy a keresztmetszete jóval kisebb, mint a felfogóedényé, így a gyűjtőpalackból átöntött víz abban magasabban áll, mint ahogy a földfelszínen állna. Ennek a nagyításnak a célja, hogy a vízoszlop magasságát tizedmilliméteres pontossággal tudjuk leolvasni. A mérőhengeren a beosztás 10 mm-ig terjed. Ha a csapadék ennél több, akkor többször mérünk és az eredményt összegezzük. A mérés során ügyelni kell arra, hogy a mérőedény talpa vízszintes legyen.

A hókeresztet csak a téli időszakban használjuk, célja, hogy megakadályozza az összegyűlt hó kifúvását a felfogóedényből. Ez ugyanis a felfogóteret kisebb részekre osztja és csökkenti azokban a szélhatást.

A hó és más szilárd halmazállapotú csapadék mérése az esőéhez hasonló módon történik. Korábban ehhez az egész műszer leemelése és szobahőmérsékleten történő leolvasztása volt szükséges, ma már a felfogóedényt látják el fűtőszálakkal.

Olyan területeken, melyek nehezen megközelíthetőek, lakatlanok, vagy más okokból alkalmatlanok a rendszeres mérések elvégzésére, a csapadék mérését *csapadékgyűjtőkkel (totalizátorokkal)* végzik. Ilyen műszer a *Mougin-féle csapadékgyűjtő* (11.2. ábra). Ez egy nagy befogadóképességű edény, tartalmát elegendő fél évente vagy évente egyszer megmérni. A tartályba annak leürítése után fagyás- és párolgás-gátló anyagokat öntenek. Az összegyűlt esővíz fagyásának megakadályozására glicerint, vagy klórcalciumot használnak, a paraffinolaj-réteg pedig állandóan a víz felszínén marad, és meggátolja annak párolgását. A mérés során a betöltött keverék mennyiségét levonjuk a csapadékösszegekből.



11.2. ábra
A Mougin-féle csapadékgyűjtő

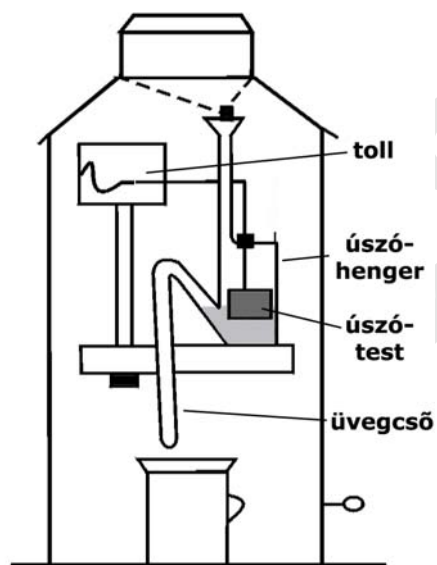
11.3.2. Csapadékmérő műszerek

A csapadék folyamatos mérésére a különböző rendszerű *csapadékmérők (ombrográfok)* használatosak. Ezek segítségével tehát nemcsak a lehullott csapadék mennyiségét, hanem annak intenzitását és a lehullás idejét is megadhatjuk. Ezen műszereknek több típusa terjedt el.

Az úszóhengeres ombrográfok (működésük a felfogott csapadék térfogatán alapszik) közül a hazai hálózatban a *Hellmann-rendszerű csapadékmérő* (11.3. ábra) használatos. Ez csak a cseppfolyós halmazállapotú csapadék regisztrálására alkalmas, így a téli időszakban itt is szükséges a felfogó edény megfelelő fűtéssel történő ellátása. A műszerbe a felfogó nyíláson befolyó esővíz tölcserén és csövön át egy vékony rézlemezről készült, a befolyt víz felszínén lévő úszót tartalmazó hengerbe folyik. A hengerbe jutó víz felemeli az úszót, azzal együtt pedig az úszó függőleges rúdja erősített írókart is, aminek a végén lévő írótoll az óramű által hajtott forgódobhoz ér. Az írótoll rajza a csapadékot nagyítva mutatja, így annak mennyisége tizedmilliméteres pontossággal olvasható le.

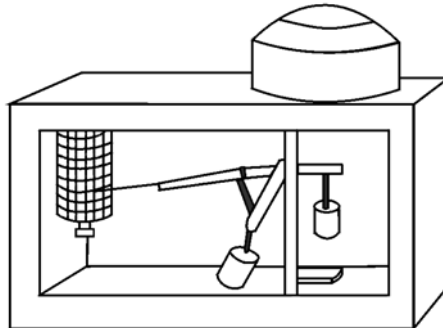
A gyűjtőhenger egyszerre mindössze 10 mm csapadékot tud befogadni. Ha a csapadék mennyisége eléri ezt az értéket, akkor az úszóhenger oldalából ferdén kinyúló szívócső önműködően üríti a hengert, és az írókar visszatér az alaphelyzetbe. Hosszabb, folyamatos esőzések (többszöri kiürítés) alkalmával így a műszer „fűrészfogas” regisztrátumot mutat, ahol a ferde szakaszok meredeksége, illetve a fűrészfogak időbeli sűrűsége fejezi ki a csapadék intenzitását.

Ahhoz, hogy a csapadékmennyiséget tizedmilliméteres pontossággal meg lehessen adni, 5 cm³-es csészékre van szükség. A gyakorlatban azonban ennél nagyobb térfogatú csészéket alkalmaznak.



11.3. ábra
Hellmann-féle úszóhengeres csapadékiró

A hagyományos ombrográfok másik nagy típusát az *Anderkó-Bogdánffy-féle mérleges csapadékiró* képviseli. A szilárd és cseppfolyós halmazállapotú csapadék mérésére egyaránt alkalmas műszerben az a felfogónyíláson egy mérlegtányérra hull, ez hozza mozgásba a mérleg másik karját, mely írókarként funkcionál (11.4. ábra). A súlymérésen alapuló csapadékiró szerkezeteket számos országban alkalmazzák, a hazai mérőhálózatban nem váltak be.



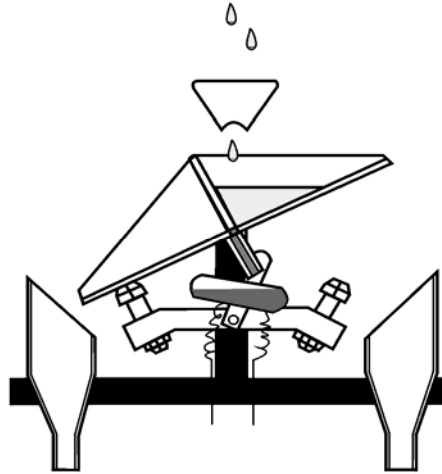
11.4. ábra
Anderkó-Bogdánffy-féle mérleges csapadékiró

11.3.3. Automata műszerek

A csapadékmérés és -regisztrálás automata műszereinek két alapvető csoportja létezik:

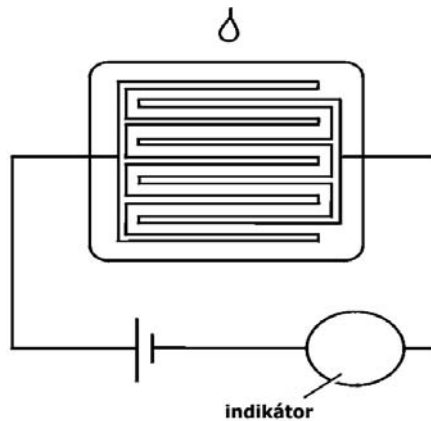
- regisztráló automaták: adott időszakban valamilyen adathordozóra folyamatosan regisztrálják a csapadékatokat, ezeknél szükséges az adathordozó időnkénti cseréje
- jelentő automaták: a mérési eredmények továbbítása itt megoldott, kétféle módon történhet:
 - az adatok továbbítása szabályos időközönként történik,
 - az állomás adatait a központból kérdezik le (nagyobb rugalmassága miatt ez a megoldás az elterjedtebb).

Az automatizálás egyik legjobban bevált változatát a már említett *billenőcsészés* műszerek képviselik (11.5. ábra). A kétkamrájú billenőcsésze kétféle helyzetet vehet fel: a csapadék a cseppgyűjtő tölcéséből vagy az egyik vagy a másik csészébe folyik. Amint a csapadékvíz az éppen töltés alatt álló csészében elér egy bizonyos szintet, a szerkezet átbillen, így a megtöltött csésze kiürül és azonnal megkezdődik a másik csésze töltése. A billenő részre szerelt mágneskapcsoló zárja a jeladó áramkört, így az átbillenések száma jelzi a csapadék mennyiségét, ezek számlálása elektromos jelek segítségével történik.



11.5. ábra
Billenőcsészés csapadékiro

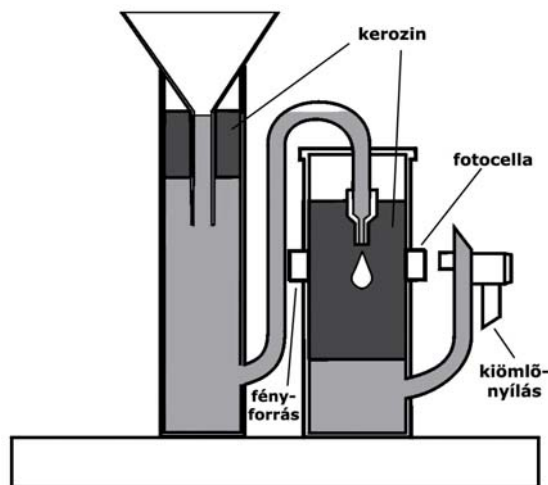
A csapadékhullás kezdeti és végső időpontjának meghatározására az ún. *csapadékindikátor* szolgál. Ennek felfogórésze egy vezetősávokkal sűrűn behálózott, szigetelő-anyagból készült lap. Ha erre vízcsepp esik, az áramkör zárul. (11.6. ábra) A műszer felhasználható jelzésre, riasztásra, regisztrálásra vagy valamilyen automata berendezés bekapcsolására. Ilyen szerkezet nyitja például a csapadékkémiai vizsgálatoknál használatos mintavevő berendezéseket a csepphullás kezdetekor.



11.6. ábra
Elektromos csapadékindikátor

A csapadék nagy pontosságú regisztrálását teszi lehetővé az a speciális berendezés (11.7. ábra), amelynél a felfogott csapadék a tölcseren keresztül az ún. előtartályba jut, amelyben előre betöltve bizonyos mennyiségű víz van, a fölött

pedig kerozin. A beérkező többletvíz hatására a tartály túlfolyó berendezésén keresztül azonos mennyiségű víz nyomódik át a második tartályba, amelyet majdnem teljesen kerozin tölt meg. A túlfolyót elhagyó víz a kerozinban apró cseppeket alkot, amelyek egyenként és lassan úsznak keresztül a kerozintartályon, közben megszakítva egy fotocellára irányuló keskeny fénysugár útját. A felesleges víz alul a második túlfolyón keresztül távozik.



11.7. ábra
Érzékeny csapadékkintenzitás-mérő

Az automata csapadékmérő szenzorok másik fajtája a mérleg csapadékmérő szenzor. Ezeknél a felfogó felületen át a csapadék 10 liter körüli térfogatú felfogó edénybe jut. A felfogó edény (200 cm²) alatt helyezkedik el egy nagy pontosságú elektromos mérlegcella. Ez méri az edény csapadék hatására bekövetkező tömegváltozásait. A mérlegcella kimenő jelét elektronikus jelfeldolgozó fogadja és alakítja át analóg, vagy digitális jellé, amit – figyelembe véve a felfogó felület nagyságát – rögtön 0,1 mm-ben kifejezett csapadékmennyiségnek megfelelően jelenít meg.

11.3.4. A hóvastagság és a hósűrűség mérése

A hóréteg vastagságának (cm-es pontosságú) mérésére cm-es beosztású mérőlécet használnak. A méréseket olyan sík terepen, egyenletes talajon kell elvégezni, ahol a *hóvastagság* megfelel a környezet általános viszonyainak.

A mérés során a régi és a frissen hullott hó együttes vastagságát határozzuk meg. Ezt minden nap meg kell mérni, egészen addig, amíg összefüggő hó borítja talajfelszínt. A méréseket legalább 2-3 helyen el kell végezni, majd ki kell számolni a mérési eredmények középértékét. Hófúvások alkalmával a középértéken

túlmenően feljegyzik a legkiemelkedőbb hóbucka magasságát is. A hómagasságot minden reggel 6.45-kor kell észlelni, amíg a hó teljesen el nem tűnik.

A *hósűrűség* mérésére az ún. *mérleges hósűrűség-mérő* használatos. A műszerhez (magán a mérlegen kívül) tartozik még egy 50 cm² felületű fémhenger, melynek külső részén a hóvastagság megállapítására szolgáló cm-beosztás található. A mintavétel során ezt a fémhengert kell merőlegesen a hóba süllyeszteni. A hósűrűséget a kiemelt minta tömegének és térfogatának hányadosa adja meg kg/dm³-ben.

11.4. Mikrocspadékok mérése

11.4.1. A mikrocspadékok fajtái

A *harmat* a harmatpontjukat elért vízcseppecskék közvetlen kiválása a kisugárzás következtében lehűlt vízszintes felületeken.

A *dér* az apró jégkristályok közvetlen kiválása a kisugárzás következtében fagypontra alá hűlt vízszintes vagy közel vízszintes felületeken. Keletkezése tehát hasonló a harmathoz, azonban 0°C alatt jön létre.

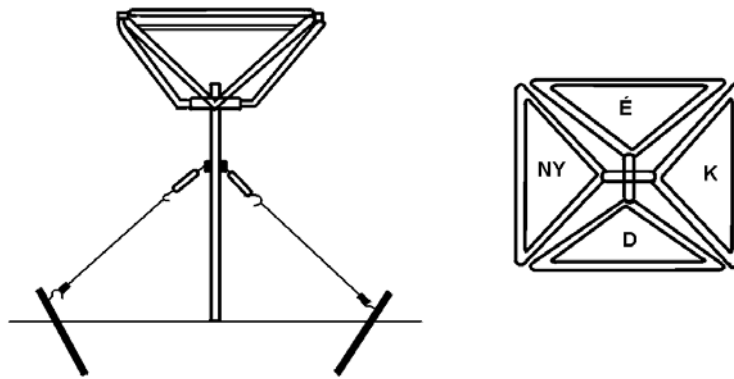
A *zúzmara* 0°C alatti hőmérsékleten keletkezik az áramló meleg, párás levegőből meghatározott időjárási feltételek mellett, szabadban levő kiálló tereptárgyakon. A zúzmara által előidézett súlytöbblet jelentős károkat tesz a távvezetékben és a faállományban.

11.4.2. A harmat és a dér megfigyelése

A harmatnak és a dérnak hazánkban nincs hálózatszerű megfigyelése. Ezek a csapadékmérőben nem is adnak mérhető mennyiségű vizet, csak nyomot. Korábban ez került feltüntetésre. A harmat mérésére korábban a *Hiltner-féle harmatmérleget* használták. Ennél a műszernél a harmatot a talaj közelében vízszintesen elhelyezett 10 cm x 10 cm felületű és ismert súlyú celluloidlapocskával fogjuk föl. Ez összeköttetésben áll egy finom mérleggel, amely grammokban adja meg a felületre jutó harmat mennyiségét.

11.4.3. A zúzmara megfigyelése

A zúzmara műszeres mérése Magyarországon az 1967-68-as év telén kezdődött. A hazai mérőhálózatban használatos műszer (11.8. ábra) a zúzmara súlyának és víztartalmának megállapítására alkalmas. Részei: egy tartóállvány, 4 db Y alakú tartóív a mérőtest befogadására, 4 db 1 m hosszúságú távvezeték-darab (mérőtest), tolómérce a lerakódás vastagságának meghatározására, csapadékmérő üveghenger, valamint a leszedő és olvasztó tégely. A mérőtesteket a talaj fölött 2 m magasan helyezik el nyílt terepen úgy, ahogy azokból két párhuzamos vezeték az észak-déli, míg a másik kettő a kelet-nyugati irányra álljon párhuzamosan.



11.8. ábra
A zúzmaramérő műszer

Az észlelést reggel 6:45-kor kell elvégezni, az október 15. és április 15. közötti időszakban a műszert rendszeresen ellenőrizni kell, mivel a zúzmara-képződés feltételei ebben az időszakban állhatnak fenn. A mérés során először tolómérő segítségével megméri a lerakódás vastagságát (mm-ben), olyan helyről véve a mintát, ahol a lerakódás a legnagyobb vastagságot éri el. Ezután kerül sor a lerakódás fajtájának meghatározására (finom zúzmara, durva zúzmara, jeges durva zúzmara stb.).

A lerakódás irányának meghatározása után kerül sor a vezetékek leemelésére, amit a leszedő és leolvasztó tégelyben helyeznek el, és fűtött helyiségbe viszik. Leolvasztás után az összegyűlt olvadékvíz mennyiségét üveg mérőhengerben tizedmilliméter pontossággal leolvashatjuk. Amennyiben ez a mennyiség meghaladja a 0,1 mm-t, akkor azt az előző napi csapadékhoz kell följegyezni.

12. Automata meteorológiai állomások

Az automata meteorológiai állomások telepítése a világ gazdaságilag fejlett országaiban (Japán, Németország, Franciaország) az 1980-as évek végén indult igazán növekedésnek. A volt szocialista országokban (köztük Magyarországon is) elsősorban anyagi és technikai okok miatt jóval később, a kilencvenes évek közepén telepítették az első állomásokat, és csak napjainkra sikerült (országoként változó mértékben) az automatahálózat kiépítése. A jövőre nézve az automaták számának és jelentőségének további növekedésével számolhatunk, hiszen egyrészt a pontosabb időjárás-előrejelzés, valamint a klimatikus és mikroklimatikus kutatók is megkövetelik a nagyobb állomássűrűséget, másrészt pedig várhatóan a szerényebb anyagi forrásokkal rendelkező országokban is megindul az állomások kisebb mértékű telepítése.

Az automaták segítségével nehezen megközelíthető, lakatlan (magashegységi, tundra, tajga, sivatagi stb.) területekről lehet meteorológiai információkat szerezni. Mivel kisebb anyagi ráfordítással, csekélyebb járulékos és fenntartási költséggel üzemeltethetők a hagyományos állomásokkal szemben, ezért a tudományos igények mellett a gazdasági szempontok is lehetővé teszik a nagyobb sűrűségű méréseket. Emellett alkalmazásuk biztosítja a jó minőségű, nagy pontosságú elektronikus formában megjelenő adatokat.

12.1 A magyarországi automataállomás-hálózat rövid története

Hazánkban a 60-as években kezdődött el a meteorológiai mérések tágabb értelemben vett automatizálása a *balatoni távjelző szélműszer*, illetve a terepklíma mérések során szerkesztett *digitális adatgyűjtők* révén. Az OMSZ ekkor a fokozatos fejlődés érdekében a nemzeti megfigyelő-hálózat komplex automatizálása helyett a csupán néhány elemet mérő és továbbító ún. célautomaták, valamint a toronyméréseket és az agrometeorológiai programokat elősegítő mérésadatgyűjtők felszerelése mellett döntött.

Az *első digitális adatgyűjtőt* Keszthelyen használták agrometeorológiai mérésekre, azonban ez még nem kielégítő üzembiztonsággal működött. Átütő eredményt jelentett a sarvasi Agrometeorológiai Obszervatórium részére 1975-ben készített 30 méteres torony, amelyen egy 100 mérőhelyes adatgyűjtő mikroprogramozott (intelligens) vezérlője 16 mérőhelyen szélsőérték-figyelést is végzett lyukszalagos regisztrálással. A közel húsz éven keresztül szinte folyamatosan működő adatgyűjtő hét szintben regisztrálta a tornyon a hőmérsékletet, a szélsebességet, valamint a szokásos meteorológiai paraméterek mellett a víz- és talajhőmérsékletet is.

A Debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem megbízásából 1977 tavaszára készítettek egy 25 méteres mérőtornyot, amelyet a Bükk déli részén fekvő Síkfőkúton egy tölgyerdőben helyeztek el. Az oszlopra szerelt érzékelők adatait 40 mérőhelyes központi adatgyűjtő fogadta, ehhez 800 méteres kábellel csatlakozott egy 30 csatornás „szatellit” meteorológiai állomás. A mérési eredményeket mindkettőről a központ regisztrálta lyukszalagra. Az adatgyűjtőpáros még 16 évvel az átadása után is működött, de a lyukszalagos regisztrálás ekkora már elavulttá vált.

A meteorológiai célú mérőtornyok és adatgyűjtők sorában a legnagyobb és legjelentősebb alkotás az 1979-ben létrehozott 120 méter magas paksi mérőtorny. A 80 tonna súlyú, rácsos szerkezetű, alul 13,5 méter, fent 2,5 méter oldalméretű tornyon 10, 20, 50, 100 és 120 méteres szinteken 2,5–4 méteres kinyúló karokra szerelték az érzékelőket. A mérőtorny nemcsak a paksi atomerőmű védelmi rendszerében tölt be jelentős szerepet, a mért adatok elengedhetetlenek bizonyos légköri paraméterek, folyamatok (például a szélsőségek és -irányok magassággal való változásának) jobb megismeréséhez és további kutatásához is.

A *célautomaták* egy adott mérési feladat részleges automatizálását szolgálták, amelyeket az OMSZ a balatoni távszélmérő hálózatban és a Tiszántúlon létrejött kísérleti célú távcsapadékmérő projektjeiben használt.

A balatoni viharjelző szolgálattól a lakosság nemcsak riasztást és prognózist, hanem az aktuális szélviszonyokról való tájékoztatást is elvárta. A feladatok ellátásához szükséges lokális információk megszerzése érdekében tervet készítettek a *balatoni távszélmérő hálózat* kiépítésére. Az első (kísérleti) állomás 1974-es üzembe helyezését követően a későbbiekben még öt állomás telepítésére került sor. 1980-ban a hat állomás révén megvalósult a közeli körzeti hálózat, amelynek koordinálását egy intelligens vevőközpont látta el. Az OMSZ megfigyelő-hálózatában ez volt az első számítógépes eszköz – a mai szemmel nézve igen szerény memóriával (8 kbyte ROM és 2 kbyte RAM) és addig ismeretlen szolgáltatásokkal (on-line hihetőségvizsgálat, a hibásan vett állomás automatikus visszahívása, a szélső értékek jelzése stb.). A távszélmérő hálózat 15 éven át minden szezonban üzemelt, amíg át nem vették helyét az új balatoni automaták. Az új hálózat közel- és távolkörzeti automatákból állt volna, hogy a viharjelzés mellett a hajózás üzembiztonságát növeljék, valamint közvetlen időjárási tájékoztatást nyújtsanak a lakosság számára. Az OMSZ pénzügyi nehézségei miatt csak a közeli körzeti hálózat valósult meg. Ennek hét mérőállomása – az első éveket jellemző mérési hibák után – 1993-tól már megbízható adatokat szolgáltatott a szél irányáról és sebességéről, a levegő hőmérsékletéről és relatív nedvességtartamáról, valamint a csapadék mennyiségéről.

A Tiszántúlon létrehozott kísérleti *távcsapadékmérő hálózat* célja egyrészt az volt, hogy a Nyíregyházi Konzervgyár megfigyelő rendszerét tíz darab, távmérés-sel közvetlenül elérhető csapadékmérővel egészítsék ki, másrészt pedig az, hogy a hálózat telemetrikus csapadékmérőivel lehetővé tegyék az ekkortájt zajló országos radarhálózat kiépítésével nyerhető számszerű csapadékadatok in situ kalibrálását. Az első két állomást 1981-ben Szarvason és Nyíregyházán üzemelték be. A csapa-

dék mérése Hellman-rendszerű ombográffal történt, amit impulzusadóval is elláttak (0,5 mm csapadék/impulzus), megőrizve eredeti regisztráló funkcióját is. A csapadékimpulzusokat egy TELEXDA készülék fogadta, tárolta és a központ hívására postai telexen továbbította. Jóllehet anyagi érdekeltség és karbantartás híján a tervezett hálózat kiépítése elmaradt és a már működők is leépültek, a fent említett két állomás még éveken át hívható volt telexen.

1985 decemberében üzembe helyeztek 3db kísérleti „*Meteor-2*” típusú teljesen magyar fejlesztésű, ígéretes jövő elé néző automata állomást (a mai értelemben vett első automatákat), azonban a karbantartási és pénzügyi nehézségek miatt 1988 nyarán a projekt leállt, és még a sorozatgyártást sem kezdték meg.

Az automatatelepítések az 1992-ben bekövetkezett létszámleépítéssel indultak újra lendületnek. Az 1993-as év folyamán négy darab a finn Väisälä cég által gyártott *MILOS-500-as automata berendezés* érkezett. Az alapkialakítás a szélesség-, szélirány-, hőmérséklet-, légnedvesség-, globálsugárzás-, csapadék-, légnyomás- és jelenidő-szenzorokat, valamint a legszükségesebb modulokat és részegységeket tartalmazta. Az eredeti elképzelés szerint az észlelők által mért adatok is a MILOS-500-ra kerültek volna, és ott történt volna meg az összegzésük az önműködően mért adatokkal. A magyar meteorológiai állomásokon az információcsere évtizedeken keresztül drót nélküli, URH rádió-összeköttetés segítségével valósult meg. A MILOS-500-as esetében súlyos nehézséget okozott, hogy a drót nélküli hírvonalban érzékelhető áthallások és a troposzféra változó mértékű rádióhullám-vezetése, gondot jelentenek a digitális adatátviteli technikában, amely a számítógépes hírközlés alapja. A probléma megoldásaként 1994-ben az állomások áttértek a normál postai telefonhálózat biztosította vezetékes adatközlésre. A végleges koncepció szerint az automata csak az általa mért adatot továbbítja egy állomási (IBM PC) számítógépnek. Ezen gép feladatai közé tartozik többek között, hogy fogadja a MILOS-500 által küldött hat darab adatrekordot, ami a tíz percenként végzett észlelések adathalmazát. Az észlelő az általa végzett megfigyeléseket (például a felhőzet mennyiségét, fajtáját, az időjárás alakulását, valamint az egyéb megjegyzéseket) egy erre a célra rendszeresített billentyűzet révén közli a számítógéppel. Az országos telefonhálózat segítségével összekötött állomások egymással is kommunikálhatnak, illetve a központ a felé áramoltatott adatokra reagálhat, újabb táviratozást, korrekciót kérhet, így megvalósítható a többirányú adatforgalom. Az országban található állomások adatait az OMSZ Távközlési és Informatikai Osztályának NETSYS adatgyűjtő és forgalmazó számítógépe kezeli. *A NETSYS nemcsak a hazai megfigyelések kezelését látja el, hanem a nemzetközi meteorológiai hírvonalak találkozási helye, azok elsődleges koordináló szervere is.*

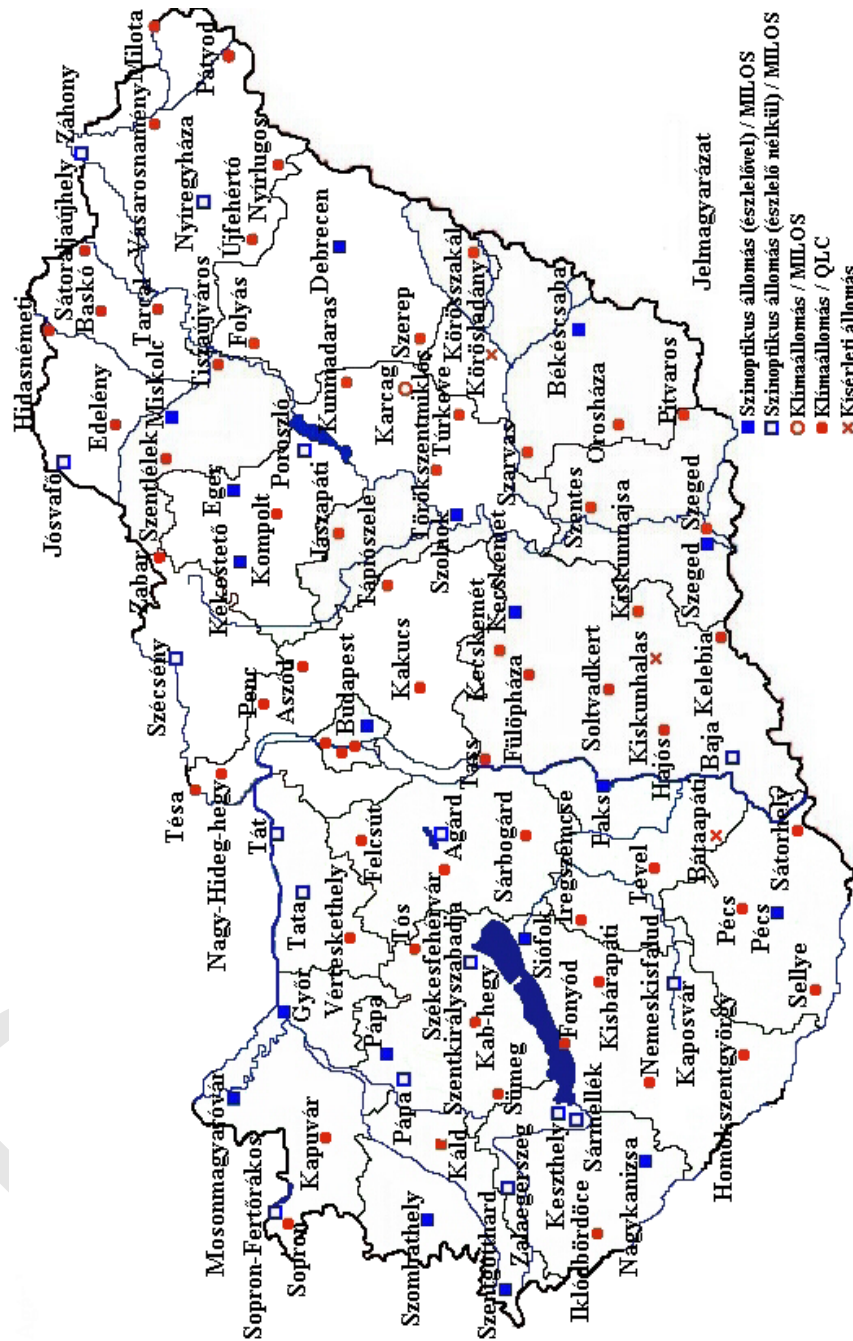
A magyar automata meteorológiai hálózat kiépítésének első fázisa a MILOS-500-asok telepítése volt. Ezeket a jól bővíthető, széles kommunikációs lehetőségekkel bíró, komoly műszaki és informatikai adottságokkal rendelkező adatgyűjtőket a meteorológiai főállomásokon helyezték el. Ezek tulajdonképpen a sok évtizede közelítőleg egy helyen, a nagyobb vidéki városokban, Budapesten, valamint Pestszentlőrincen működő állomásokat jelentik. A főállomások után az

állomáshierarchia fennmaradó tagjai (klímaállomások, csapadékmérő helyek) kerültek sorra. A szűkebb mérési program és a gazdasági okok következtében a hagyományosan klímaállomásnak hívott helyeket, valamint az újonnan létesülő állomások többségét az olcsóbb és szerényebb jellemzőkkel bíró, szintén a Väisälä cég által készített *QLC 50*-esekkel szerelték fel. A MILOS 500-asokhoz hasonlóan ezek az automaták is képesek sűrű, 10 percenként történő adatlevételre, azonban általában erre nincs igény, mert a klímaállomások adatai nem mennek ki nemzetközi forgalomba. A *QLC 50*-esek további jellegzetességei, hogy a hőmérőszensor nem hagyományos hőmérőházban van, hanem egy körkörös, többrétegű lemezsapka alatt, valamint az állomás geometriájától és a telepítés körülményeitől függetlenül szélmérő nélküli és szélmérővel felszerelt változatokra is oszthatók.

Az ország területén 2005-ben 28 OMSZ-üzemeltetésű és egy katonai repülőtéren működő automata szinoptikus állomás működött, amelyből 12-nél az automatikus mérések mellett folyamatos vizuális megfigyelés is folyt. A klímaállomások a szinoptikusokhoz képest csökkentett mérési programmal rendelkeznek. Az országban működő 58 automata klímaállomás közül 55-öt az OMSZ, 3-at más szervezet működtet, emellett még 10 is olyan üzemel, ahol észlelő is dolgozik. A főállomások és a klímaállomások sikeresen megvalósított automatizálása (12.1. ábra) után megkezdődött a csapadékmérő hálózat modernizálása, telekommunikációs betagozása.

Jelenleg az 560 csapadékmérő állomás többsége még mindig társadalmi észlelők segítségével szolgáltatja az adatokat, melyeket havonta egyszer postai úton juttatnak el az OMSZ központjába, majd az adatellenőrzést követően a központi adatbázisba.

Az OMSZ alá tartozó automata állomások száma folyamatosan, gyakorlatilag évről évre változik. Az OMSZ gazdasági lehetőségeihez mérten próbálja folyamatosan bővíteni és modernizálni a hálózatot, melynek gyökeres átszervezése 2007-re várható.

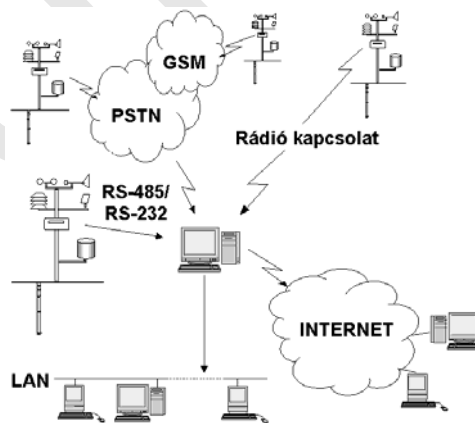


12.1.ábra
Az OMSZ állomáshálózata 2006-ban

12.2. A mérőrendszerek

Noha az automata meteorológiai állomások első ránézésre nem tűnnek bonyolult berendezéseknek, az oszlopra szerelt szenzorok és az adatgyűjtő összehangolt, eredményes működése, valamint a vizsgált meteorológiai paraméterek számszerű megjelenítése komoly (számítás)technikai kihívásokat jelent. A következőkben részletesen bemutatjuk az automata állomások hálózatban való üzemelését, felépítését és működését a legnagyobb egységektől a legkisebbek felé haladva.

Mérőrendszernek nevezzük azt az összeállítást, mely *tartalmaz legalább egy érzékelőt és egy adatgyűjtőt*. Az ilyen egyszerű összeállítás jellemző a csapadékmérő automata állomásokra, amelyek a mért értékeket az adatgyűjtő belső memóriájában tárolják, vagy rádió, illetve telefonkapcsolaton keresztül juttatják el a megfelelő helyre. Általában ennél sokkal bővebb eszközkészlet jellemző egy mérőrendszerre. Valójában az egymással összeköttetésben levő állomások és számítógép(ek) rendszerét tekintjük mérőrendszernek, legyen az akár csak egy egyszerű meteorológiai állomás és egy számítógép a rajta futó programmal. Az általánosan elterjedt mérőrendszer többféle érzékelőt tartalmaz, melyek egy (a mérési program által meghatározott magasságú) oszlopra vannak felszerelve az adatgyűjtővel együtt, és így egy mérőállomást alkotnak. A mért adatok az állomással összeköttetésben levő számítógépre vagy beépített analóg GSM-modem, esetleg rádiós átvitel segítségével egy távoli (központi) gépre kerülnek. Ez utóbbi lehetőségek segítségével a nagy területű hálózat mérőrendszereinek összefogása, koordinálása is megoldható. Speciálisan erre a célra kifejlesztett számítógépes programok segítségével több mérőállomás adatainak bekérésén és feldolgozásán túlmenően helyi hálózaton történő elosztásra, illetve az Interneten való publikálására (beépített HTML konvertáló funkció és webszerver segítségével) is alkalmasak (12.2. ábra).

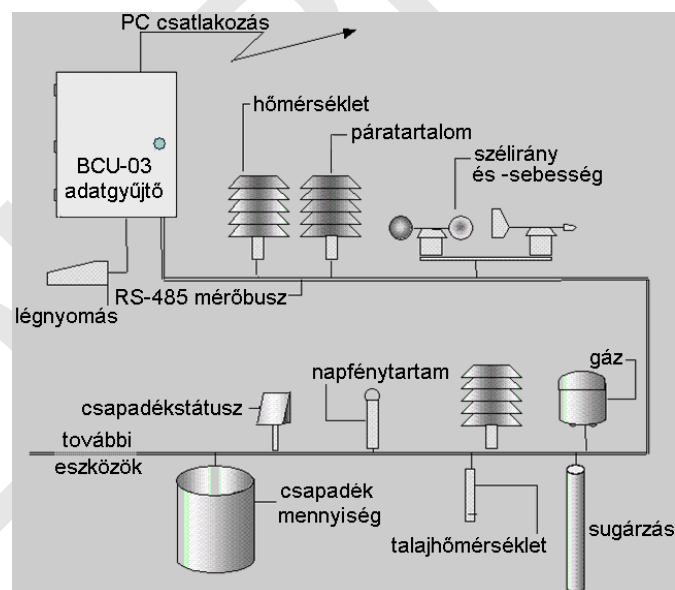


12.2. ábra

Kommunikációs lehetőségek a mérőrendszerekben belül
(forrás: www.boreas.hu)

12.3. Az automata állomások felépítése

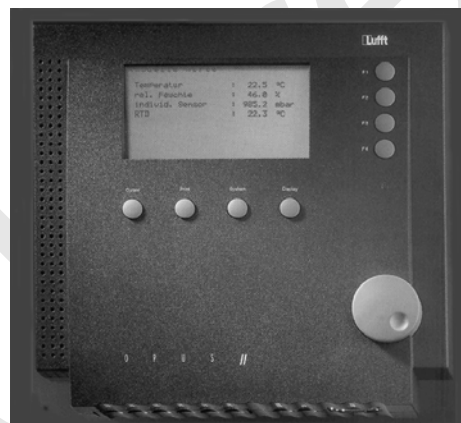
A mérőrendszerek működése után szükséges megismernünk a mérőállomások felépítését, működését. Az érzékelők döntő többsége az RS-485-ös szabványos *mérőbuszra* csatlakozik. Az állomáson belül a mérőbusz egyfajta információs csatorna szerepét tölti be az adatgyűjtő és az érzékelők között, hiszen a mérés indításától az állapotinformáción keresztül a karbantartó parancsig minden ezen a rendszeren történik. Az intelligens eszközök mindegyikében önálló mikrokontroller helyezkedik el. Ez a *központi adatgyűjtő* által vezérelt módon és időpontban méréseket végez, majd a nyers mérési adatokat belső kalibrációs táblázata alapján fizikai mennyiséget leíró jellemzővé alakítja, uniformizált számábrázolási módon továbbítja az eredményeket az adatgyűjtőnek, emellett még saját belső állapotáról is tájékoztatja a központi egységet. Mivel az intelligens szenzorok az RS-485-ös buszra digitális információt küldenek, tökéletes cserekompatibilitás valósítható meg járulékos kalibrálások nélkül. Az adatgyűjtő és az RS-485-ös mérőbuszra csatlakozó intelligens érzékelők alkalmazásával bonyolult, esetenként több helyszínen (más és más épületekben és helyszíneken) történő mérési események összegezhetők egyetlen adatgyűjtőben egységes mérési elrendezést megvalósítva, mivel ez a típusú mérőbusz nagyon hosszú lehet, az eszközöket pedig egyszerűen fel lehet rá fűzni (12.3. ábra).



12.3. ábra

Egy automata meteorológiai állomás felépítése
(forrás: www.boreas.hu)

A mérőbuszon zajló kommunikáció egyik fő szereplője és egyben az egész állomás legfontosabb egysége az adatgyűjtő (12.4. ábra). Az adatgyűjtő feladata az automata meteorológiai állomás központi berendezéseként az egyes eszközök egységes rendszerbe szervezése, a mérések önálló irányítása, az eredmények tárolása és továbbítása a vele kapcsolatban álló számítógépnek. Az adatgyűjtő belső órája szerint, valamint a memóriájában tárolt eszköztábla alapján elvégzi a mérésvezérléshez szükséges feladatokat, azaz az előírt időpontokban mérésindítási, mérésvezérlési, állapotinformáció-küldési és karbantartó parancsokat küld az egyes szenzorok felé. A szenzorokból érkező impulzusfrekvencia mérőjel digitális feldolgozásán túl belső memóriájában tárolja a válaszul kapott mérési- és állapotinformációkat. Ezen információkat a (központi) számítógépre továbbítja eseményrekordok formájában. Az alkalmazástól függően az adattovábbítás történhet helyi indítással a kijelző egységen elhelyezett indítógomb segítségével, vagy a beépített tárolóból meghatározott időközönként automatikusan. Természetesen az adatgyűjtő típusától függően változik a mérőhelyek letapogatási sebessége, ez általában maximum 1 perc ciklusonként. Eközben egy-egy mérési adat 4 másodperc időtartamig marad kiírva a kijelző egységen.



12.4. ábra
Adatgyűjtő

A mérésadatok előjele, négy számjegyes értéke fix tizedesponntal hétszemen- ses kijelzőn olvasható le. A számítógépen való megjelenítés és kiértékelés történhet az adatgyűjtőt készítő cég programjaival vagy a felhasználó által készített adatbázis alkalmazásával.

Mivel az eszköz elektronikája különböző méretű készülékházba építhető be, ennek megfelelően a kül- és beltéri típusokon túl az autó műszerfalába szerelhető mobil, valamint a hordozható zsebméretű adatgyűjtők egyaránt rendelkezésre állnak. A hordozható és mobil állomások esetében az adatgyűjtő belső GPS-csatlakozással is ellátható, így a meteorológiai adatok mellett a mérések földrajzi koordinátái is tárolásra kerülhetnek. Az említett négy típus közül a legelterjedtebbek az

állandó mérésekre szolgáló fémállványon elhelyezett kültéri egységek, valamint a terepi (mikroklíma) mérésekre ideális, hordozható adatgyűjtők. Az állványra helyezett adatgyűjtők energiaellátása történhet hálózatról akkumulátoros háttérbiztosítással (amely áramszünet esetén kb. 24 órán keresztül biztosítja a rendszer zavartalan működését), ahol pedig ez nem kivitelezhető, ott a szükséges energiát nap-elem fedezi. Az automata meteorológiai állomások *modulárisan épülnek fel*, hiszen már akár egy mérőeszköz és egy adatgyűjtő mérőrendszert alkot, amit a későbbiek folyamán bővíteni lehet további szenzorokkal, illetve kiértékelő és feldolgozó programmal.

12.4. Szenzorok

A korábbi fejezetekben az egyes meteorológiai paraméterek mérésére kifejlesztett eszközök között már részletesen bemutatottuk azokat is, amelyek digitális adatgyűjtőkhöz csatlakoztathatók. A következőkben egy szabványos automata állomás leggyakrabban használt szenzorait foglaljuk össze röviden.

Hőmérsékletmérés (12.5. ábra): az állandó jelleggel (szabványosan 2 méter magasba) telepített hőmérséklet-érzékelők legtöbbje platina ellenálláshőmérő. Az érzékelők többsége (gyártótól függően) -50 °C és $+70\text{ °C}$ -os hőmérsékleti határok között üzemeltethető, és $0,1\text{ °C}$, illetve $0,2\text{ °C}$ pontosságú eredményeket produkál.

A szenzor számára olyan védőszaluzást készítenek, amely kellő átszellőzés mellett a szükséges árnyékoló hatást is biztosítja (12.6. b ábra). Külső felszíne fehér, hogy minél jobban visszaverje a napsugárzást, míg a belső fekete, hogy elnyelje az akkumulálódott hőt. Megjegyzendő azonban, hogy a hagyományos hőmérőház és a lemezsapka alá elhelyezett szenzorok között bizonyos esetekben akár $0,4\text{ °C}$ különbség is előfordulhat. A megbízhatóbb adatok érdekében, amennyiben lehetséges, az érzékelőt angol típusú hőmérőházba helyezzük el.



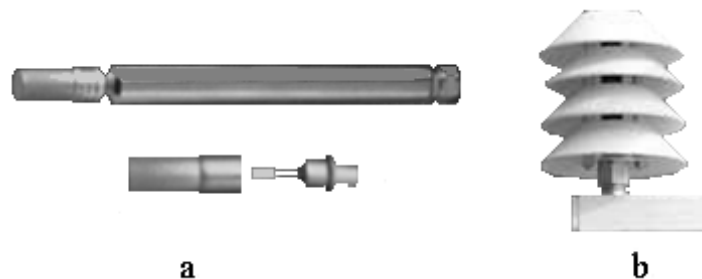
12.5. ábra
Platina ellenálláshőmérővel kombinált kapacitív légnedvességszenzor

Relatív páratartalom-mérő: az automata állomásokon használt páratartalom-mérők többsége az *abszorpciós légnedvesség-mérők* közé tartozik. Ezek egyik típusa a *membrános higrométer*, érzékelő eleme egy rögzített keretbe foglalt kör alakú *szerves hártya*, ún. *aranyütőhártya*, amelynek középpontját igen kis erővel

egy rugó feszíti. A páratartalom változásának hatására a hártya megnyúlik vagy megfeszül. A legnagyobb elmozdulást a hártya középpontja végzi. Ez az elmozdulás mechanikai áttétellel forgómozgássá alakítva egy potenciométer csuszkát mozgat, amely az ellenálláspirálon mozdul el. A potenciométeren mért ellenállás jellemző a relatív nedvességtartalomra. A páratartalom-mérő hőkompenzálását az érzékelő házába beépített bimetal biztosítja.

Az abszorpciós légnedvességmérők másik nagy csoportja a *kapacitív légnedvességmérők* (12.5. és 12.6. ábra). Nedvszívó anyaguk egy henger alakú fémlektrodra felvitt 1 μm vastag dielektromos polimer filmréteg, ezt egy szitaszerű fémlektroda borítja. A polimer réteg elnyeli a vízmolekulákat, ennek hatására *változik a mérőtest kapacitása*, a változás a relatív nedvességgel arányos. Általános jelenség, hogy a hőmérséklet- és a páratartalom-mérőt egybe építik be, és ezt a kombinált szenzort helyezik el a műanyaglemezes védőbura alá (12.6. b ábra).

A páratartalom mérésére alkalmas automata műszerek a *harmatpont higrométerek is*. Ezeknél a fémtükör alatt egy hőcserélő van, amiben egy automatikus vezérlésű szivattyú általában szárazjéggel hűtött alkoholt áramoltat. A tükör fölött fotocella van felszerelve úgy, hogy közvetlen fényt ne kaphasson a ferdén elhelyezett fényforrásból. Amikor a tükrön megindul a páraépződés a lehülés hatására, a vízcseppek a tükrön szórják a fényt. A fotocella fényt kap, kikapcsolja a hűtőfolyadék áramlását és bekapcsolja a fűtést. Egy termoelemes hőmérő méri a harmat megjelenésének és eltűnésének hőmérsékletét.



12.6. ábra

- (a) Abszorpciós elven működő kapacitív légnedvességmérő, valamint
(b) a napsugárzástól védett kombinált szenzor

Széliránymérő (12.7. ábra): Annak ellenére, hogy a ma használt szélirányszenzorok mérési módszere meglehetősen eltérő, közös tulajdonságuk, hogy alacsony indulási küszöbvel rendelkeznek.

A mérőműszerek egyik típusában infravörös LED diódák és fototranzisztorok helyezkednek el egy kódtárcsa két oldalán. A szélzászló elfordulásának hatására a kódtárcsa változást generál a hat bites GRAY kódban, amit a fototranzisztorok érzékelnek. Egyszerre csak egy bit változik meg a GRAY kódban, kiküszöbölve a félreérthetőséget a kódolásban, és minden 5.6° szögelfordulás visszajelzésre kerül a kódban.

Energetikai célú mérések esetében egyre inkább – a fent említetthez képest eltérő mérési elven működő – az ellenállás változásán alapuló készüléket használnak. Ezek az eszközök kitűnő (1°) felbontásúak és kevés áramot fogyasztanak. A szélzászlóval működtetett forgórész tengelye egy potenciométer-csúszkát forogat, a szélmérő rögzített házában van elhelyezve az ellenálláspirál. A szélirány kijelzése fokértékben történik. A mérési tartománya $0\text{--}360^\circ$, ahol 0° felel meg az északi iránynak. Üzembe helyezés előtt a felszerelést a széliránymérő házán feltüntetett függőleges vonal figyelembevételével tájolóval északi irányba kell állítani.



12.7. ábra
Szélirány- és szélsébségmérő

Szélsébségmérő (12.7. ábra): A szélsébség mérésére kanalas anemométert használunk, amelyen – mérési elvtől függetlenül – 3 db 120° -ra elhelyezett félgömbháj karra és agyra rögzítve képezi a forgórészt.

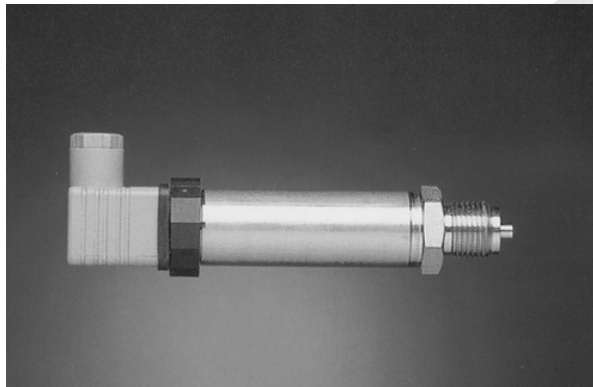
A műszerek egyik típusánál a forgó rész egy réselt tárcsa, ami 14-szer szakít meg egy infravörös fénysugarat egy körülfordulás alatt. A megszakítások négy-szögjelet generálnak az eszköz elektronikájának kimenetén, amelynek frekvenciáját a szélsébség intenzitása határozza meg.

A szélsébségmérők másik típusánál a rögzített házban a forgórész tengelyére fogazott alumíniumtárcsa van ékelve. A fogazott tárcsa fogai és hézagai két vas-mag nélküli tekercs csatolását vezérlik. Az anemométer forgó része egy körülfordulás alatt hat impulzust ad. Az időegység alatt megtett fordulatok, illetve impulzusok száma egyenesen arányos a szélsébséggel.

A szélsébségmérő $0,7\text{--}30$ m/s mérési tartományban üzemeltethető. Ha a szélsébség kisebb, mint $0,7$ m/s, akkor a kijelző egységen „0” szélsébségérték jele-

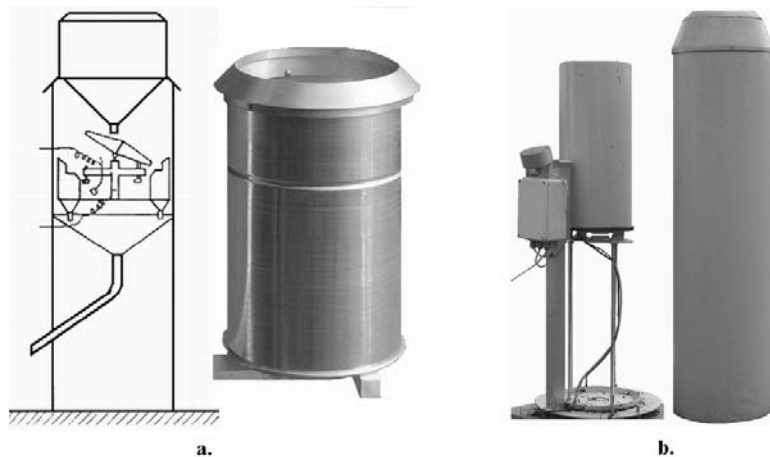
nik meg, és a készülék a szélirány kijelzését is letiltja. A kanalas szélességmérők helyett némely automata állomáson szónikus anemométereket szerelnek fel (erről bővebben lásd „A levegő mozgásának mérési elvei és eszközei” c. fejezetben).

Légnyomásmérő (12.8. ábra): Érzékelő eleme egy sorba kapcsolt légritkított terű szelencesor (Vidi-féle szelence), amely légnyomásváltozás hatására hosszmetét változtatja. Ez az elmozdulás mechanikai áttétellel forgó mozgássá alakítva a potenciométer ellenálláspirálján egy csuszkát mozgat. A potenciométeren mért ellenállás jellemző a légnyomásra. A légnyomásmérő 960–1080 mbar mérés határok között üzemel. A hőkompenzálást az érzékelő házába beépített bimetál biztosítja.



12.8. ábra
Automata légnyomásmérő szenzor

Csapadékérzékelők (12.9. ábra): A lehullott csapadék mennyiségének meghatározására eltérő elveken alapuló automata műszereket (*billenőcsészés csapadékmérőt, mérleg csapadékmérőt, csapadékindikátort, valamint csapadékin-tenzitás-mérőt*) fejlesztettek ki. Magyarországi viszonylatban a leginkább használt típusok a billenőcsészés és a mérleg csapadékmérők (mérési elvüket lásd bővebben „A csapadék mennyiségének mérése” című fejezetben).



12.9. ábra
(a) Billenőcsészés és a (b) mérleges csapadékmérő

Elektronikus párolgásmérő (12.10. ábra): Az eszköz a meteorológiai mérés technikában rendszeresített párolgásmérő kádak elektronikus kiegészítésére szolgál. Az eszköz egyaránt használható „A”, „G” vagy „U” típusú kádakhoz. A minimális áramfelvétel érdekében az eszköz a vízszintet kapacitív érzékelő segítségével méri, 0,01 mm-es felbontás mellett 0,05 mm pontossággal. A kapacitív szonda lehetőséget ad az eszköz rendszerbe integrálására akkor is, ha a meteorológiai állomás táplálása napelemtől történik.



12.10. ábra
Kapacitív párolgásmérő
(forrás: www.innomet.hu)

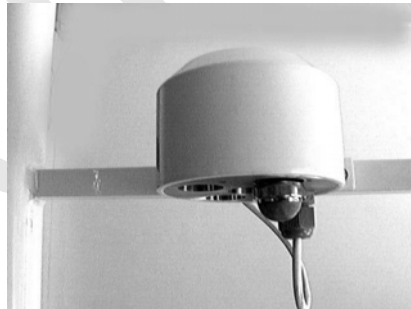
Sugárzásmérés (12.11. ábra): A sugárzási egyenleg összetevőinek, valamint a teljes egyenleg meghatározására piranométereket, pirradiométereket stb. használnak. A hagyományos szenzorokhoz hasonlóan a legmegbízhatóbb és a legpontosabb eredményeket a Kipp & Zonen típusú mérőműszerek szolgáltatják. A szenzor termoelemekből épül fel, és a leggyakoribb felhasználásában a horizontális térszínből érkező sugárzást méri, de alkalmas a földfelszínről visszaverődő sugárzás meghatározására is. A műszerház belsejétől szárító szilikolgel tartja távol a ned-

vességet. A napfénytartam meghatározása az intenzitásmérésekből történik (bővebben lásd a „A napsugárzás mérése” című fejezetben).



12.11. ábra
Kipp & Zonen sugármérő

A gázkoncentráció mérése (12.12. ábra): A különböző gázok és gőzök érzékelésére szolgáló, gyors, pontos mérési adatokat biztosító műszerekkel történik. Az érzékelők egy része gázpatron nélkül működik, azonban általában több mérőfejet tartalmaznak, melyek egységes csatlakozási felülettel rendelkeznek, lehetővé téve a gázérezelő patronok cseréjét. Az adatgyűjtőtől függően 32 különböző gáz érzékelésre nyílik lehetőség. A szűk méréstartományú szenzorok eredményei rendkívül precízek (0,1%), szemben a széles skálán mérő érzékelők 5–10%-os pontosságával.



12.12. ábra
Gázérezelő
(forrás: www.innomet.hu)

12.5. Állomástípusok

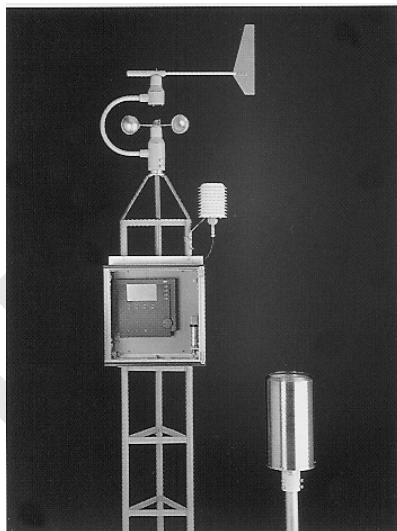
A fent említett főállomások, klímaállomások és csapadékmérő helyek mindegyike (mérési programjaiknak megfelelő részletességgel) kifejezetten meteorológiai célú méréseket folytatnak. Azonban a meteorológiai paraméterek pontos ismerete, alakulása más kapcsolódó szakterületek (hidrológia, közlekedés, mezőgazdaság, környezetvédelem stb.) számára is kiemelten fontos. A szükséges információk jelentős részét itt is az automata meteorológiai állomások szolgáltatják. Ezeket azonban speciálisan a mérési programoknak megfelelően állítják össze, azaz csak olyan szenzorokat és szoftvereket tartalmaznak, amelyek szükségesek a kívánt meteorológiai paraméter teljes körű vizsgálatához. A legfontosabb automata állomástípusok a következők:

A fix telepítésű üzemi meteorológiai állomást általános meteorológiai célokra, észlelőkertbe vagy épületek tetejére tervezték. A korábban részletesen ismertetett országos automata meteorológiai hálózat kiépítése során már említést tettünk a főállomásokon működő MILOS-500-as és a klímaállomásokon működő QLC-50-es automatákról, valamint a csapadékmérő helyekről. Természetesen az OMSZ hálózatán kívül is működnek meteorológiai célú méréseket végző automaták. A rendszerben alkalmazott adatgyűjtő általában nem tartalmaz helyi kijelzőt, hanem közvetlenül a mérésadatgyűjtő számítógéphez csatlakozik. Az adatgyűjtő vízmentesen záródó, fizikai behatásoknak is jól ellenálló dobozban van. Az egyes eszközöket vízmentes csatlakozókkal csereszabatos módon helyezik el úgy, hogy a csatlakozók a mechanikai rögzítést is magukba foglalják. Az oszlop általában belső kábelezésű, fix rögzítésű, elhelyezése betonozott alapon (észlelőkertben) vagy fémdüberekkel (tetőn) történik, a merevítést drótkötelek biztosítják. A barométer az adatgyűjtő dobozában foglal helyet, ezzel szemben a hőmérséklet- és páratartalom-érzékelőt (kombinált szenzor) 2 méteren helyezik el csakúgy, mint a szélirány- és szélesebségmérőt (ha a mérési program nem kíván más magasságot). Hasonló műszerezettségű állomások működnek a különleges tevékenységeket folytató ipari üzemek esetében is, ahol általában (környezetvédelmi) követelmény az automata állomás létesítése.

Az agrometeorológiai állomásokat az általános felhasználáson túl kimondottan mezőgazdasági és növényvédelmi tevékenységet folytató szervezetek számára készítették. Az összeállítás alapja az adatgyűjtő, melyet az érzékelőkkel együtt egyetlen 2 méter magas tartószerkezetre helyeznek. Az állomás az általános meteorológiai paraméterek (levegő-hőmérséklet és -páratartalom, légnyomás, szélesebség és -irány) mérésén kívül – speciálisan agrometeorológiai célokra – csapadékmennyiséget, levélnedvességet, valamint 5 és 50 cm mélységben talajhőmérsékletet is mér. Az oszlop alján és tetején elhelyezett elektromos csatlakozó dobozokban található RS-485 mérőbuszra további eszközök csatlakoztathatók. Az adatgyűjtő által a számítógépre küldött adatokat a mérés céljának megfelelő kiértékelő program segítségével dolgozzák föl. A pontosabb, lokális adatok mérésére

elkészítették a hordozható agrometeorológiai állomást, mely az imént említettől mindössze a könnyen összeszerelhető és szállítható tartószerkezetében tér el.

Bár a *kutató és hidrológiai állomások* műszerezettségüket tekintve szinte teljesen megegyeznek, a mért adatokat olykor a legkülönbözőbb szakterületek képesek hasznosítani. Míg a hidrológiai állomások elsősorban vízgazdálkodási, környezetvédelmi területeken tevékenykedők számára nyújtanak nélkülözhetetlen információkat, addig a kutatóállomások számtalan szakterület speciális kérdéseire adhatják meg a választ (a növényvédelemtől a mikroklíma által befolyásolt jelenségekig). Az állomások alapfelszereléséhez (12.13. ábra) hőmérséklet- és páratartalom-, csapadékmennyiség-, globálsugárzás-, szélirány- és szélesség-, valamint nyomás-érzékelő tartozik. Ez a konstrukció szükség szerint tovább bővíthető csapadékstátusz-, gammasugárzás-, egy vagy több mélységben talajhőmérséklet- és talajnedvesség-szenzorokkal, valamint speciális külső (például talajvízszint-) érzékelőkkel.



12.13. ábra

Kutatási célokra használt automata meteorológiai állomások
(forrás: www.lufft.de.)

Viszonylag új keletűek a hulladéklerakót biztosító, környezetvédelmi állomások, melyek száma várhatóan emelkedni fog a térségi- és regionális hulladéklerakók kiépítésével. A mért paraméterek körét, valamint a hardveres és szoftveres feldolgozás módját a KvVM (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium) rendelet útján szabályozza, ami megfelel az ISPA projektekben támasztott követelményeknek is. Az állomáson szélirány és -sebesség, hőmérséklet és páratartalom, csapadékmennyiség-mérés, valamint a párolgás mérése folyik, de ez szükség szerint egyéb szenzorokkal is bővíthető.

A különféle speciális programokat folytató állomások közül ki kell emelnünk azokat, amelyek energetikai célú méréseket folytatnak. Az alternatív energiaforrások magyarországi kutatása és hasznosítása jelentős növekedésnek indult az elmúlt 10 évben. Mivel a megújuló energiaforrások jelentős része közvetve vagy közvetlenül a napsugárzás hatására alakult ki (nap, szél, víz, biomassa), ezért ezek mennyiségét, illetve néhány fontos jellemzőjét meteorológiai mérések segítségével meg tudjuk határozni. Magyarországi viszonylatban az energetikailag hasznosítható meteorológiai elemek közül a szél emelhető ki. Az energetikai célú szélmérés nagy méréspontosságot, megbízhatóságot igényel, mivel kis pontatlanság is hosszú távon jelentős energiaveszteséget és anyagi kárt okozhat. A mérés két magasságban (10 és 30 méteren) elhelyezett anemométerrel és egy szélirányjelzővel történik, az adatrögzítés pedig legalább 12 hónapon keresztül megszakítás nélkül folyik.

A terepi és egyes mikroklímamérések megkövetelik az egyszerű, *hordozható* „mini” *automata állomások alkalmazását* (12.14. ábra).



12.14. ábra
Terepi mérések során használt hordozható adatgyűjtő

A hordozható zseb méretű adatgyűjtők és a szenzorok egységes csatlakozója segítségével mérési igényünknek megfelelően saját magunk állíthatjuk össze a mérőrendszerünket. Az adatgyűjtő kijelzővel, az érzékelők csatlakozásához szükséges 3 független bemenettel, belső memóriával és hálózatról tölthető beépített akkumulátorral rendelkezik. A tárolási intervallum programozható, a mért fizikai mennyiség mértékegysége pedig a szenzoroknak megfelelően állítható be. A tárolt adatok a kijelzőn megjeleníthetők, illetve törölhetők. Az RS-232-es soros porton át számítógépre csatlakoztatható, ahová a mért adatok a készülék saját, Windows környezetben futtatható programja segítségével letölthetők.

12.6. Az automata meteorológiai állomások telepítése, karbantartása

A telepítés előkészületei közül a legfontosabb a megfelelő helyszín kiválasztása. Lényeges, hogy az állomás leendő helye területileg reprezentatív legyen és topológiáját tekintve ne térjen el a környék földrajzi jellegétől. A közvetlen környezetnek horizontálisan síknak kell lennie, és semmilyen természetes vagy mesterséges tereptárgynak nem szabad leárnyékolnia. Az állomás helyének kiválasztásakor a meteorológiai érvek mellett jelentősek lehetnek a műszaki, a gazdasági és a közigazgatási szempontok is. Törekedni kell a helyszín egyszerű és könnyű megközelíthetőségére, és – amennyiben ez szükséges – az állomás energiaellátásának és ember általi felügyeletének gazdaságos ellátására. Az adatgyűjtő által rendszerezett mérési eredmények lekérésére szükség van vonalas telefonhálózatra vagy GSM kapcsolatra, ennek hiányában a memóriában tárolt adatok csak terepi kiszállítás során tölthetők le. A szélmerést 2 méternél nagyobb magasságban végző állomásokon külön figyelmet kell fordítani a maximum 30 méteres szélmérőoszlop biztonságos, fix felállítására és a villámvédelem biztosítására. Egyes esetekben némely szenzor a zavartalan üzemeltetés miatt megkívánja az állomás körülkerítését.

Az automata állomás a telepítést, üzembe helyezést követően is igényli a karbantartást, gondozást. A mérőberendezés kifogástalan működése érdekében illembetartani a gyártó által előírt használati utasításokat, valamint a szervizidőt. Az adatok minősége érdekében érdemes a szenzorokat általában évente egyszer laboratóriumokban kalibrálni, hogy a mérések mindig pontos érzékelőkkel történjenek. Mindezek ellenére előfordulnak hirtelen meghibásodások, üzemzavarok. Az adatgyűjtők típusától (fejlettségétől) függően némelyek jelzik ezt az észlelőnek vagy a szervizközpontnak (például a MILOS-500-asok), és ha szükséges, meg is ismétlik az adatokat. A kapcsolatot a központtal GSM- vagy telefonvonalon tartó adatgyűjtők (jelentő automaták, QLC-50) PC hiányában a hibát nem képesek jelezni, azonban felszólításra az adatokat ismételtelen elküldik. Azon adatgyűjtők esetében, amelyek a mért adatokat a memóriájukban tárolják (elsősorban terepi állomások esetében) és amelyeknél az adatok letöltése csak nagyobb időközönként történik, a probléma a lekérdezés vagy már a feldolgozás pillanatában derül csak ki. Ez esetben a meghibásodástól kezdve az adatok egyáltalán nem, vagy csak hibásan állnak rendelkezésre.

Jóllehet az automata állomások nem igénylik az észlelő, illetve karbantartó mindennapos jelenlétét, időnként szükség van a mérőrendszer ellenőrzésére, karbantartására és a szenzorok kalibrálására.

13. A meteorológiai radarok

13.1. A radarok meteorológiai alkalmazásának általános kérdései

A radarmeteorológia a „közvetett”, távérzékelésen alapuló meteorológiai mérési technikákon belül az aktív képalkotási módszerek közé tartozik.

A radart úgy definiálhatjuk, mint olyan technikai eszközt, amely jól körülhatárolható szerkezetű jelet bocsát ki, majd veszi a jelnek a környezeti objektumok (cél tárgyak) által visszavert részét és ennek alapján meghatározza a környezet, a cél tárgyak térbeli távolságát, mozgásának irányát és sebességét, két- vagy háromdimenziós képét.

A fémobjektumok rádióhullámok útján, nagytávolságból való észlelésének elvét 1904-ben szabadalmaztatta a német Christian Hülsmeier. A második világháború előtt az Egyesült-Államokban, Franciaországban, Németországban, Nagy-Britanniában, sőt Magyarországon is folytattak kutatásokat a rádióhullámok segítségével működő távolság- és iránymérő eszközök kifejlesztésére. Hazánkban Bay Zoltán és csoportja a Tungsram kutatólaborban, 1936-ban készített egy működőképes radarberendezést. Gyakorlati felhasználásra alkalmas radarral a II. Világháború kezdetére egyedül Anglia rendelkezett. Az Angliai-csata (a brit légtér feletti uralomért 1940-41-ben folytatott német légihadművelet) eldöntésében alapvető jelentősége volt annak, hogy az angol légvédelem már a csatorna fölött észlelte a támadó német bombázó és vadászgép kötelékeket, meghatározta azok hozzávetőleges nagyságát és repülési irányát. A brit vadászgépek így a levegőben várhatták a német támadókat. Nem valósult meg tehát a szokásos villámháborús forgatókönyv, mely szerint a német gyorsbombázók és vadászgépek jórészt a földön semmisítik meg a meglepett és fejvesztve kapkodó ellenfél légierejét. A britek RDF (Radio Direction Finding – rádió iránymeghatározás) névvel illették a készüléket, a radar (RADio Detection And Ranging – rádió észlelés és távolságmérés) név az amerikaiaktól származik 1941-ből. A brit Home Chain korai riasztó és légtérelőző rendszerének kezelői kezdetől szembesültek azzal a problémával, hogy a radarok képernyőjén néha zavaró jelek tűntek fel. Alapos vizsgálódás után kiderült, hogy a repülőgépekhez hasonló visszavert jeleket a csapadékot adó felhők vízcseppjei és a hulló csapadék okozzák. Mellékhatásként derült tehát fény a radarok meteorológiai alkalmazásának lehetőségére. Az 1940-es évek végétől elsőként a repülőtereken jelentek meg a kifejezetten meteorológiai célokra kifejlesztett radarok.

Magyarországon az első, keletnémet-gyártmányú, BWR-X12 típusú, 3 cm hullámhosszon üzemelő meteorológiai radart 1969-ben Ferihegyen helyezték üzembe. A berendezés 1979-ig működött. Az első, mobil MRL-5 típusú szovjet gyártmányú meteorológiai radart szintén Ferihegyen állították rendszerbe 1980-

ban. Szentgotthárd-Farkasfán 1982-től, míg a Nyíregyháza melletti Napkoron 1984-től üzemeltek az MRL-5 szovjet radar fix telepítésű változatai (13.1. ábra).



13.1 ábra

A szentgotthárd-farkasfai meteorológiai radarállomás. A napkori állomás épülete ezzel megegyező típusú szerint készült (forrás: Dombai 2006)

A megfigyeléseket óránként végezték a mérési programba tartozott a veszélyes időjárási jelenségek (például zivatarcellák) azonosítása és a radaros csapadékmérés. Speciális alkalmazási területe volt az időjárási radaroknak az először Baranya-megyében (Tenkes-hegy), majd Bács-Kiskun-megyében 1976-ban, illetve 1984-ben létrehozott és 1990-ig működtetett rakétás jégeső-elhárító rendszer. Ehhez kezdetben MRL-1E, majd MRL-5 típusú szovjet gyártmányú radarokat használtak. 2000-ben Pestlőrincen, majd 2003-ban Napkoron került sor az előregedett szovjet radarok cseréjére. Amerikai gyártmányú, a legkorszerűbb, doppler-rendszerrel is rendelkező 5 cm-es hullámhosszon működő radarokat telepítettek a két állomáson. A szentgotthárd-farkasfai állomást megszüntették, helyét 2004-ben a Pogányváron telepített új radar vette át.

13.2. A meteorológiai radarok működése

A következőkben röviden áttekintjük a meteorológiában alkalmazott *impulzus*, *doppler* és *polarizációs radarok* működését.

A radarok eredetileg, és többnyire ma is a rádióhullámok tartományában működnek. Innen ered nevük is. Leggyakoribbak a *mikrohullámú radarok*. Hanghullámokat (anyagban terjedő nyomáshullámokat) használnak a *hang-* és *ultrahangradarok*. Ezek az állatvilágtól (denevér) a haditechnikáig (a tengeralattjárók által, illetve felderítésükre alkalmazott szonár) széles körben elterjedtek. Az infravörös, vagy látható fénytartományban üzemelnek a *lézer-*, *optikai-*, vagy *fényradarok*.

A radar működése napjainkra nem kapcsolódik szorosan a rádióhoz. Ezért a következő elven működő eszközöket sorolhatjuk a radarok közé: A radar *adóegysége* speciális, a sajátos feladathoz illeszkedő szerkezetű jelet állít elő, hogy külső zavarás ne hasson rá. Így a radar az érdektelen jelenségeken keresztül látva a vizsgálandó jelenséget „láthatja”. A kibocsátott jel egy *rövid elektromágneses* (vagy egyéb) *hullámvonulat, impulzus*. A radar által kibocsátott elektromágneses hullámok az útjukba kerülő elektromos vezetők felületéről szóródnak, részben a radar irányába visszaverődnek. A visszavert jelet az *antenna* (13.2.–3. ábra) veszi és felerősíti. *Ha megfelelően szűk sugárnyaládba koncentrálva, meghatározott irányban bocsátjuk ki az elektromágneses impulzust és megmérjük a visszavert jel érkezéséig eltelt időt, a jel terjedési sebességének ismeretében (fény- vagy hangsebesség stb.) megállapíthatjuk, a visszaverő felület távolságát a radartól.* Ilyen sugárnyalákkal végigpásztázva a környezetet, képet kapunk az ott található tárgyak elhelyezkedéséről.



13.2. ábra

Korszerű meteorológiai radar parabola antennája a külső védőburkolattal
(forrás: www.msc-smc.ec.gc.ca/projects/nrp/site_images/woodlads)

A radar impulzusok (elektromágneses hullámok) időtartama mikrosecundum nagyságrendű (a másodperc milliommód része). Adó antennája a jelet szűk sugárnyaládba képes fókuszálni. A meteorológiai radaroknál a sugárnyaláb egy fok szélességű sávba fókuszált, míg a katonai radaroknál ez szélesebb sáv, kb. 20 fok. Egy fok a tapasztalatok szerint a felhő- és csapadékelemek pontos detektálásához leg-

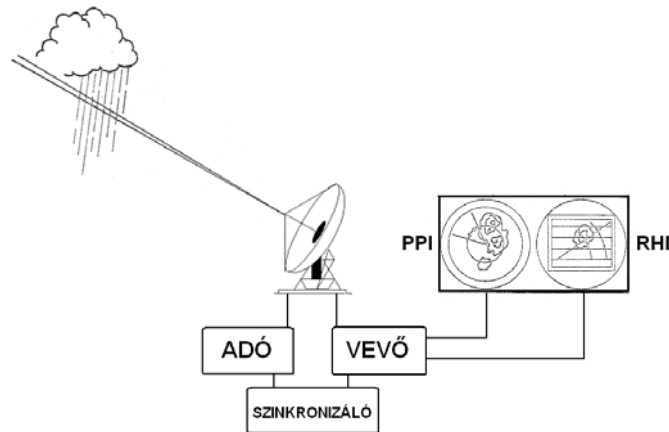
megfelelőbb érték. *Vevő antennája* erősen irányfüggő érzékenységű. Az adó és vevő antennát egyetlen parabola alakú egységbe integrálják.

A radar vezérlő egysége a *szinkronizátor* (13.3. ábra), ez határozza meg az időpontokat, amikor az adó impulzusokat bocsát ki. A rádióhullámok fénysebességgel terjednek (300 000 km/s) ezért 300 km távolságú célok felderítése esetén az utat oda és vissza 2 ezredmásodperc alatt teszik meg. A szinkronizátor a kibocsátott jelek visszaérkezéséhez szükséges idő figyelembevételével néhány ezredmásodperc késleltetéssel indítja a következő impulzust, hogy a kimenő és bejövő jelek időben jól elkülönüljenek, és ne zavarhassák egymást. Az impulzusismétlési frekvencia szoros kapcsolatban van a távolsággal: kisebb távolságra sűrűbben indíthatók impulzusok. A napjainkban használt radarokban változtatható az impulzusismétlési frekvencia, a régi készülékeknél ez gyárilag rögzítve volt.

Az impulzusokat a parabola antenna bocsátja ki, és ez fogadja a beérkező jelet is. Alakja elősegíti a kimenő jel fókuszálását és a bejövő jel erősítését. *Az antenna mozgásával vízszintes és függőleges metszetben lehet mérni.* Az első esetben az antenna körben forog (percenként 3-6 fordulat) és pásztázza a környező légtérrel. Az utóbbi esetben a parabolaantenna nem forog, hanem egy adott égtáj felé néz, de közben bólogató mozgással függőleges síkban pásztázza a légtér egy adott szektorát. Mivel az impulzusok fénysebességgel terjednek, az antenna mozgása a mérésre nincs hatással.

A radarhullámok egy része szóródik a felhő-csapadék rendszerben az energiának csak kis hányada verődik vissza. *A vett energia fordítottan arányos a távolság négyzetével.* A radarnak tehát nagy és rendkívül kis energiát is kell kezelnie. Ezen túlmenően a rendkívül gyenge visszavert jel nagy erősítést igényel. A radar által kibocsátott energia 250 kW- tól 1 MW-ig terjed impulzusonként, hosszabb időre vonatkoztatva ugyanakkor a hálózathálóból felvett átlagteljesítmény mindössze néhány száz W, legfeljebb néhány kW.

A visszaérkező jelet *visszhangnak* vagy *radar-echo*-nak is nevezik. Egy-egy kisugárzott impulzusra több válaszjel is érkezik, mivel többszörös visszaverődés történhet a térben egymás közelében elhelyezkedő csapadéksávokról. Az antenna által felfogott gyenge echót a vevőegység erősíti fel (13.3. ábra).



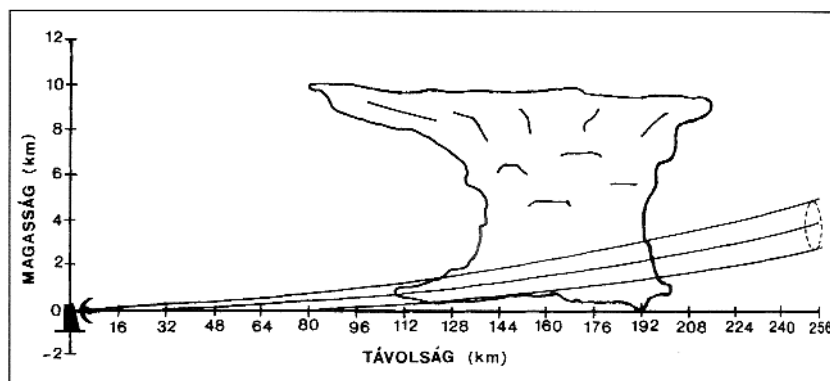
13.3. ábra
Csapadék detektálás radar segítségével

A vevő a jelet a radar kijelzőire továbbítja az antenna tengelyének helyzetére, az impulzusok kibocsátásának és a jelek visszaérkezésének időpontjára vonatkozó adatokkal együtt.

A függőleges és vízszintes mérési irányoknak megfelelően az adatok két kijelzőn jeleníthetők meg. A vízszintes síkban mért adatok a PPI-on (Plan Position Indicator), vagy „térkép indikátoron” jelennek meg (13.3. ábra), míg a függőleges irányban mért adatokat az RHI (Range Height Indicator), vagy „távolság-magasság indikátor” mutatja. Az impulzusok a PPI-on a kör alakú kijelző középpontjából kiinduló, körbeforgó sugáryalábként, az RHI-on a baloldal felől jobb felé pásztázó fényes sávként jelennek meg. A célobjektumok, például csapadéksávok fényes foltok a kijelzőn. Echo-t adhatnak vízcseppek, jégkristályok, hópelyhek. A vízcseppekről erősebb a visszaverődés, mint a hókristályokról, ezért a felhőn belül a fagypontra alatti és fagypontra feletti hőmérsékletű rész határa jól láthatóan elkülönül (az RHI metszeteken fényes vonal jelzi a helyét).

Mivel a radarok hatósugara 250-300 km körül van a Föld gömbhöz közeli alakja hatással van a radar által végzett mérésekre is, hiszen a Föld görbülete 250 km-es távolságban már kb. 3,5 km-es elhajlást jelent, ami oda vezet, hogy például a távolban lévő alacsony szintű felhők már nem vagy csak alig adnak visszavert jelet. A radartól távolodva tehát más magassági szintekre vonatkozóan juthatunk információkhoz (13.4. ábra). Ezt erősíti az is, hogy a különböző magasságokban az eltérő hőmérséklet és légnedvesség miatt a radarhullámok megtörnek, az egyenes-től elhajlanak.

A domborzat jelentősen korlátozhatja a radar által belátott területet. Élénk domborzatú, hegyekkel tarkított országokban sem a völgyekben, sem a hegy-csúcsokon nem célszerű radart telepíteni.



13.4. ábra
A vízszintesen kisugárzott radar hullányaláb elhajlása és tágulása
(forrás: Nagy-Gyarmati-Dombai 1998)

13.3. A meteorológiai radarok alkalmazási területei

A meteorológia területén a radart *három alapvető feladatkörben* lehet felhasználni:

- zivatarcellák és csapadékszónák megfigyelésére (például jégesőelhárítás),
- csapadékmérésre,
- doppler üzemmódban szélmérésre.

A meteorológiai radarok *alkalmasak időjárási rendszerek megfigyelésére, minőségi elemzésre (például zivatarcellák detektálása), vagy csapadékmérésre.*

Az időjárási rendszerek detektálása során a csapadékhullás, zivatarcellák és jégeső gócok pontos helyének meghatározása a cél. Erre az előbb említett módszerekkel kerül sor. Ennél bonyolultabb feladat a csapadék mennyiségi elemzése, a csapadékelemek sűrűségének, a cseppátmérőnek, az esési sebességnek a meghatározása, majd mindezek alapján a csapadék intenzitás becslése. Ehhez a radar-echo energiájából kell kiindulni, amit egyrészt a radarberendezés műszaki paraméterei (teljesítmény, hullámhossz, antenna paraméterek), másrészt a csapadék elemek távolsága, mérete és fajtája befolyásol. A műszaki jellemzők közül kiemelkedik a radar hullámhossza.

A meteorológiában használt radarok a 0,9-10 cm közé eső hullámhosszúakat alkalmazzák. A rövidebb hullámhosszak (3 cm alatt) erős visszavert jelet adnak, de ezzel együtt gyorsan elnyelődnek és szóródnak is a felhő- és csapadék rendszerekben, így az ilyen radar csak kis távolságon mérhet. Ezeket a radarokat néhány km-es körzeten belüli felhődetektálásra használják, ahol még a kisebb felhőelemek is észlelik. A 10 cm-nél hosszabb hullámok kevésbé szóródnak, de visszavert jelük is gyengébb. Ezért a 0,9 cm-es radarokat főképp felhődetektálásra alkalmazzák, míg a többi feladatra 3,2 cm-es, 5,6 cm-es, vagy 10 cm-es hullámhosszú radarokat használnak. A közepes szélességeken általában 5-6 cm-eseket alkalmaznak. A Magyar-

országon az 1990-es évekig használt MRL-5 típusú orosz radar, olyan kétsatornás radar, amelynél a 3 és 10 cm-es hullámhossz felváltva használható, télen a 3 cm-es, nyáron a 10 centist használták. Az újabb típusok egységesen 5 cm-es hullámhosszon működnek.

Adott műszaki jellemzők mellett a radar-echo energiája (E_r) a következő egyszerűsített egyenlettel számítható:

$$E_r = 1/r^2 \cdot \alpha \cdot I^\beta$$

ahol: r a visszaverő csapadékelemek távolsága a radartól, I a csapadék intenzitása, α részint a csapadék jellemzőitől, részint a radar műszaki paramétereitől függő állandó, β a csapadékelemek jellemzői által meghatározott konstans. A két utóbbi állandó pontos meghatározása igen sok nehézséget jelent.

A csapadék jellemzők meghatározásában igen nagy segítséget jelent a kettős-polarizációjú radarok alkalmazása. Ezeknél a radar hullámokat két adóvevő rendszer segítségével vízszintes és függőleges síkban is polarizálják, ezáltal alkalmassá válnak a hulló csapadék cseppek vízszintes és függőleges kiterjedésének mérésére. A cseppek lapultsága pedig a cseppmérettől függ (az 1 mm körüli átmérőjű cseppek még gömbszimmetrikusak). A cseppméreteloszlás utal a folyékony víztartalomra. A fentiek teszik lehetővé a csapadék intenzitás becslését. A radaros csapadékmérési adatok kalibrálására szükség van a csapadékmérő-állomások adataira is.

Egyéb problémák is felléphetnek: a mérést zavarhatják hamis célok. Hamis cél lehet talajcél (hegyek, dombok, épületek), vagy akár madárrajok is. Bár a radar antennája elméletileg 1 fokos szögben sugároz, a gyakorlatban azonban ún. mellék-sugárzást is kibocsát, sőt vétel is van ebből az irányból. A parabola tányér előtt lévő sugárzó ugyanis nem kiterjedés nélküli, pontszerű objektum. Ezért, nem teljes egészében azt képzi le, amire irányul, hanem a másik térfélből is vesz jelet az antenna. Időjárási jelenségek is okozhatnak mérési hibákat, például az erős inverziós helyzetekben a hajnali, kora reggeli órákban, a talaj közeli légréteg erős lehülése miatt, a kibocsátott hullám megtörik a felszín irányába, talajt ér és onnan visszaverődik, ekkor általában egy gyűrűt láthatunk a képernyőn. Napnyugatakor és napkeltekor is megjelenhetnek hamis célok, mert a lemenő/felkelő Nap sugarait néhány pillanatra veszi az antenna, a Nap ugyanis azokon a hullámhosszakon is sugároz, amit a radar használ.

A meteorológiai radarberendezések *radar-szélméreésre* is használhatók. Erre a célra a „doppler-radar” alkalmas, amely nem csak a visszaverődést okozó csapadékelemek helyzetét érzékeli, hanem azok mozgásának radiális, a radar középpontjához képest sugár irányú sebességkomponensét is. A doppler-radar működésének a kibocsátott és visszaérkező jelek frekvencia-eltolódásának mérése az alapja. A doppler radarok meteorológiai felhasználásának részleteit lásd bővebben „A levegő mozgásának mérési elvei és eszközei” c. fejezetben.

DUPress

14. Villámlás-lokalizációs hálózatok

14.1. A villámlás-megfigyelés fizikai alapjai

A villámlás megfigyelés a „közvetett”, távérzékelésen alapuló meteorológiai mérési technikákon belül a passzív képalkotási módszerek közé tartozik.

A zivatarokat kísérő fény- és hangjelenség, a villámlás és mennydörgés az időjárás egyik leglátványosabb jelensége. A zivatarokat az őket kísérő villámcsapások, felhőszakadás, jégeső, és szélvihar ugyanakkor a legveszélyesebb meteorológiai jelenségek közé sorolják.

Ahhoz, hogy a zivatarok területi előfordulását, időbeli lefolyását jobban megismerjük, ezáltal aktivitásukat az okozott károk csökkentése céljából előre jelezhesük az általános légkörfizikai ismeretek mellett hatékony megfigyelő, ún. villámlás-lokalizációs hálózatra is szükség van. Míg az időjárás radarok a csapadékképződési- és a zivatarok kialakulását okozó konvekciós folyamatokról tájékoztatnak, addig a villámlás-lokalizációs hálózatok a zivatarok elektromos aktivitásába engednek betekintést.

A zivatarok a légkör termikus instabilitása által létrehozott konvektív cellák fejlődésével jönnek létre. Ezekben igen gyors, akár 40-50 m/s sebességű feláramlások révén, néhány tízperc leforgása alatt 8-12 km magasságú zivatarfelhők alakulnak ki. A felhőben a nagy sebességgel felfelé mozgó vízcseppek a légkör elektromos terének hatására polarizálódnak. A gyors emelkedés okozta intenzív hűlés nagy magasságban a cseppek fagyását okozza. A jégszemcsékben a külső és belső rész ellentétes töltésű. Az ütközések során letörő kis darabok a töltés egy részét is magukkal viszik nagyobb magasságba. Így a felhőn belül töltéskülönbség alakul ki. A mérsékelt övezetben a zivatarfelhők felső részén (8-12 km) erős pozitív töltésű zóna, középen (6 km körül) erős negatív töltésű rész és végül a felhőalap közelében egy gyengébb pozitív, vagy negatív töltésű sáv jön létre. 10-20 perc alatt 50-100 coulomb töltés is kialakulhat így egy zivatarfelhőben.

Amikor a töltésszétválasztás keltette térerősség eléri a levegő átütési szilárdságát (15-20 kV/m), akkor néhány száz méteres szökellési pályák mentén a töltések koncentrálódnak. A szökellési pályák környezetében a levegő ionizálódik. Ahogy a szökellési pályák mentén az összesűrűsödött töltések megközelítik a felszínt a nagy térerősség és a talaj jó vezetőképessége hatására a felszínen ellentétes töltés gyülemlik fel, majd áram indul felfelé ellenkiszülést indítva el. Ha a felhő ionizálódott szökellési pályája és a felszínről elindult ellenkiszülés találkozik, heves töltéski egyenlítődés, villámlás indul meg az ionizált szökellési pályák, az ún. villámcsatorna mentén. Az ilyen villámokat *felhő-föld villámoknak nevezük*. A töltéski egyenlítődés végbe mehet a felhő ellentétes töltésű részei, vagy más felhők ellentétes töltésű részein kialakult villámcsatornák mentén is. Ilyen esetben *felhőn be-*

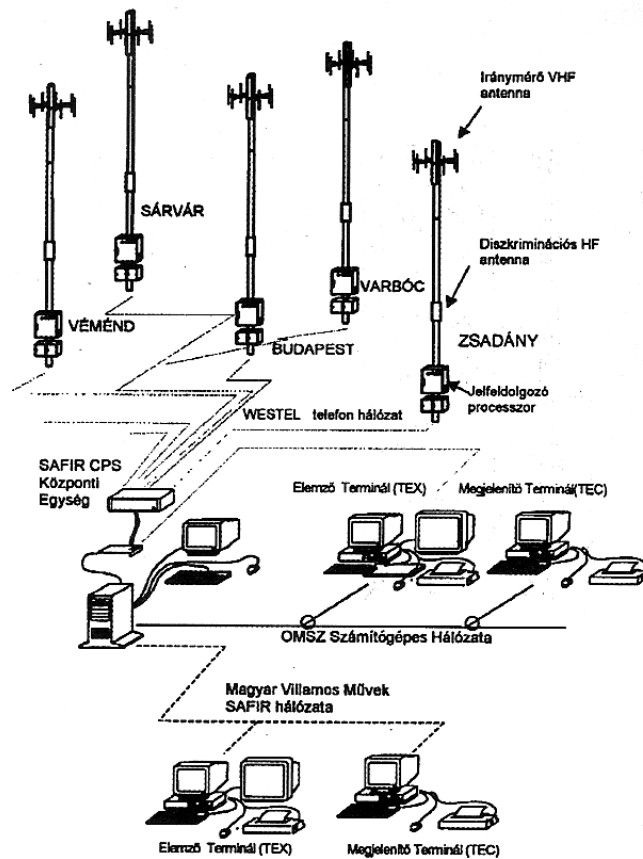
lúli, vagy felő-felhő villámról beszélünk. Az előbb leírt folyamat néhány tized másodpercet vesz igénybe, amiből a villámlás párszor tíz milliomod másodperc alatt zajlik le. A kisülés során a villámcsatorna egyre szűkül, majd a töltés kiegyenlítődés pillanatában megszakad. Ha a csatorna a töltés kiegyenlítődés teljes lezajlása előtt megszakad, akkor pályája ionizált állapotban marad és ott újabb villámkisülések mehetnek végbe néhány tized másodperces késleltetéssel.

A villámcsatornában a nagy és változó sebességgel mozgó, hatalmas töltésmennyiség igen széles frekvenciaspektrumú (néhányszor tíz KHz-től 1-2 GHz-ig terjedő) elektromágneses sugárzást idéz elő. A felhőn belüli villámok frekvenciaspektruma egyenletes, míg a felhő-föld villámoknál a néhány MHz-es hullámhosszak dominálnak. Az elektromágneses hullámokat a villámcsatorna hatalmas antennaként sugározza szét.

A villámlások nagy távolságból történő megfigyelésének a kisüléseket kísérő elektromágneses sugárzás mágneses és elektromos erőterének érzékelése nyújt alkalmat. Megfelelő berendezések segítségével meghatározható a villámlás helye és alapvető elektromos paraméterei (télerősség, csúcsáram, energia, polaritás és időbeli lefolyás).

14.2. A villámlás-lokalizációs hálózatok felépítése

A villámlás okozta sugárzás érzékelése történhet kisebb (HF) és nagyobb frekvencián (VHF). Az első esetben hurokantennákat, a második esetben dipólantennás érzékelőket alkalmaznak. Ez utóbbiak alkalmasak a zivatar teljes elektromos aktivitásának detektálására. Az érzékelők antennából, vevő- és jelfeldolgozó egységből állnak. Több érzékelő adatátviteli vonalon keresztül csatlakozik egy központi számítógépre. *Az érzékelők detektálják a kisülések okozta elektromágneses hullámokat, meghatározzák ezek időbeli lefolyását és irányát.* A központi egység a bejövő adatokat feldolgozva meghatározza a villámlás helyét és elektromos paramétereit, valamint tárolja és megjeleníti az eredményeket (14.1. ábra).



14.1 ábra
Az OMSZ villámlás lokalizációs hálózatának felépítése
(forrás: Dombai 1998)

14.2.1. A villámlás helyének meghatározása

A villámlás helyének behatárolására alapvetően két módszer ismert. Az első az iránymérésre épül (angol neve Direction Finding, DF). A másik, a különböző elhelyezkedésű állomásokon a jel távolsággal arányos beérkezési időkülönbségén alapul. Ezt időmérési technikának (Time Of Arrival, TOA) nevezik.

A helymeghatározás iránymérési (DF) módszerénél a nagyobb frekvencia-tartományban az ún. *interferometriás technikával* történik a helymeghatározás, vagyis az irányt a jelek beérkezésének fáziskülönbsége alapján állapítja meg a berendezés. A kisebb frekvenciatartományban egymásra merőlegesen elhelyezett hurokantennákon az irányok szerint eltérő indukált feszültség alapján végzik a helymeghatározást. Mindkét esetben két eltérő helyen lévő antenna által vet jel

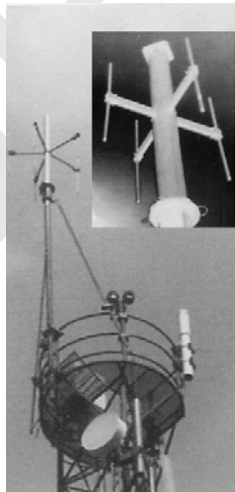
irányának metszéspontja jelöli ki a villámlás helyét. Ha a hely a két antennát összekötő alapvonalra esik, nem lehetne pontosan kijelölni a villámlás pontos helyét a vonalon, ezért legalább három antennára van szükség. Olyan vevőegységgel, ami az irányt nem csak a vízszintes síkban, de függőlegesen is méri, a villámcsatorna felhőn belüli magassága is meghatározható.

Az időméréses helymeghatározás során azt mérik, hogy a kisülések közel fénysebességgel terjedő elektromágneses hullámai a különböző földrajzi helyzetű antennákra milyen időkülönbséggel érkeznek be. Két vevőn mért időkülönbség egy hiperbola mentén jelöli ki a kisülés lehetséges helyét. Három antenna esetén páronként egy-egy, összesen három hiperbola keletkezik, amelyek közül kettő-kettő metszéspontja már meghatározza a villámlás helyét.

14.2.2. A SAFIR rendszer

A magyarországi villámlás megfigyelő rendszerben a francia DIMENSIONS cég által gyártott SAFIR (System d' Alerte Foudre par Interferometrie Radioelectrique), a felhő-felhő és felhő-föld villámok megkülönböztetésére és helyének meghatározására alkalmas berendezést használja az OMSZ.

A SAFIR rendszer az iránymeghatározást nagyfrekvenciás (VHF) dipólantennákon mérhető fáziseltolódás (interferometria) felhasználásával végzi. A frekvenciatartomány 108-118 MHz közötti 8 (14.2. ábra).



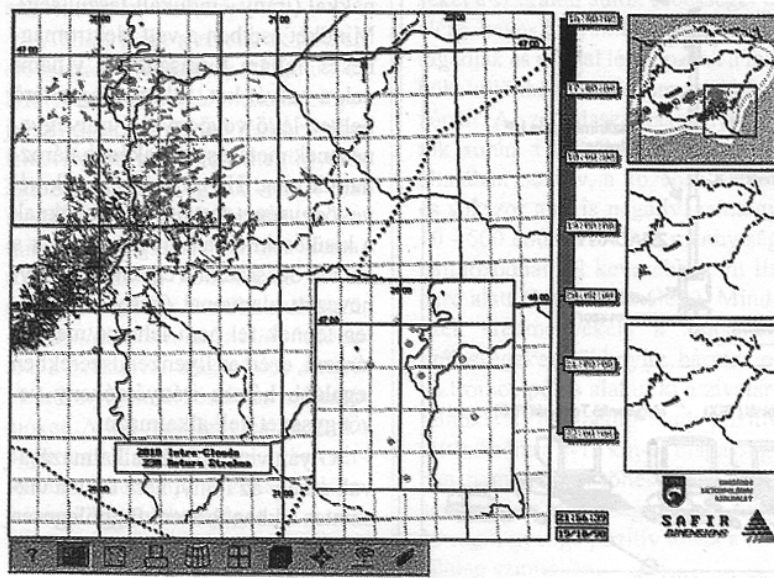
14.2. ábra
A SAFIR rendszer egyik nagyfrekvenciás dipól antennája
(forrás: www.met.hu)

A gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos előnye a rendszernek, hogy nagy érzékenységének és vételi dinamikájának köszönhetően *alkalmas a viszonylag gyenge, felhőn belüli villámok detektálásra is. Mivel a felhőn belüli villámok mintegy 30-50 perccel megelőzik a jelentős károkat okozó felhő-föld villámokat, ez a veszélyeztetett területeken 30-50 perces időelőnyt biztosít a riasztásra és a védekezésre.*

A SAFIR rendszert felszerelhetik kisméretű antennával is, ami lehetővé teszi annak meghatározását, hogy a villámlás elérte-e a földet, valamint elektromos paraméterei is számíthatók.

A rendszer első három állomásának (Budapest, Sárvár, Vémend) telepítésére 1997-ben került sor. Így az ország területének 60%-os lefedettsége valósult meg. 1998-ban két további állomás telepítésével (Zsadány Varbóc) az ország egész területét (és a körülvevő, kb. 50-100 km-es sávot) lefedi a hálózat. A rendszer így öt antennából és az OMSZ távközlési központjában telepített SAFIR-CPS központból áll (14.1. ábra). Az érzékelők telepítésénél fontos szempont volt, hogy kisméretű horizontkorlátozású, kis háttérzajú, folyamatos energia ellátással és kommunikációs kapcsolattal rendelkező helyek legyenek. Az érzékelőket mobiltelefon tornyok tetején 15 méter magas toldatokon helyezték el.

A hálózat által szolgáltatott elsődleges információk tartalmazzák a felhőn belüli és felhő-föld villámok pontos idejét, helyét és elektromos paramétereit (14.3. ábra).



14.3. ábra
A SAFIR rendszer által 1998 október 19-én lokalizált villámlások megjelenítése.
(forrás: Dombai 1998)

A Rendszer valós idejű adatszolgáltatása számos információt tartalmaz. Ezek közé tartoznak a villámok lokalizációs adatai, gyakorisága, a zivatar cellák azonosítása, mozgási iránya és sebessége, illetve a zivatarcellák mozgásának előrejelzése. Ezen kívül képes tetszőleges múltbeli események visszajátszására kvázi valós időben, tetszőlegesen hosszúságú időtartamokra lokalizáció és gyakoriság eloszlási térképek készítésére, az adatok grafikus megjelenítésére.

2005 júniusában indult útjára a Väisälä cég koordinálásával a FLASH (Full Lightning detection Austria, Slovakia, Hungary) nevet viselő közép-európai egyeztetett villámlokalizációs program, amelynek fő célja a különböző típusú villámérzékelő rendszerekről származó adatok integrálása révén egy egységes közép-európai villám detektáló hálózat kialakítása.

15. Magaslégköri megfigyelések

15.1. Az aerológia mint tudományág

A talaj közeli *súrlódási réteg* fölött helyezkedik el a *szabad légkör*, amelyben a talaj hatása a szél irányát és sebességét nem módosítja, valamint az éghajlati elemek értékeit nem befolyásolja. A súrlódási réteg a mérsékelt övi szélességeken kb. 1 km vastagságú, az Egyenlítő fölött azonban, ahol az erős keverő mozgások miatt a felszíni tényezők magasabb légrétegekben is hatnak, függőleges kiterjedése átlagosan 2 km. *A szabad légkörben végbemenő időjárási jelenségeket, a benne lejátszódó fizikai folyamatokat tanulmányozza az aerológia.* Feladatai közé tartozik a súrlódási réteg határterületének vizsgálata, továbbá megfelelő kutatási módszerek és műszerek kidolgozása. A földbázisú megfigyelő rendszereken belül tehát, a talaj közeli megfigyeléseken túlmenően a másik fő csoportot a magaslégköri megfigyelések alkotják.

Az aerológiának az az ága, amely a magaslégkört műszerek vagy műholdak segítségével kutatja, az ún. közvetlen vagy *direkt aerológia*. Vannak olyan mérési módszerek, megfigyelések, amelyek révén a légkör felsőbb rétegeinek bizonyos folyamatai a talajról megállapíthatók. Ezeket a módszereket foglalja össze a közvetett vagy *indirekt aerológia*.

Ezen megfigyelések eredményei elsősorban az előrejelzők, valamint a repülésmeteorológia számára hasznosíthatók, de a meteorológiai kutatás minden ágában fontosak (felhőfizikai vizsgálatok, légköri frontok, turbulens folyamatok, futóáramlások stb.). Ezek az adatok kiegészítésként az időjárási helyzet analízisét adják, segítségükkel térképek készíthetők a talajszint időjárásáról, a felsőbb légrétegek fizikai állapotáról is. A mérések pontosabbá válása és az aerológiai állomások számának növekedése tette lehetővé a *szinoptikus aerológia* kialakulását, amely egy-egy nagy terület fölött vizsgálja a felsőbb légrétegek időjárási változásait. Kutatási szempontjai egységes módszerekkel történő egyidejű méréseket kívánják meg.

15.2. A magassági légállapot mérése

Magassági légállapoton valamely hely fölött a levegő fizikai állapotának egy bizonyos időpillanatban való meghatározását értjük. A mérés a műszert vivő eszköz pályájának vízszintes vetülete fölött történik, és a legkorszerűbb módszerekkel kb. 1,5 óráig tart. A szinoptikus gyakorlatban azonban a mérési eredményeket a fel szállási hely fölötti függőlegesre és a műszer felbocsátásának időpontjára vonatkoztatják.

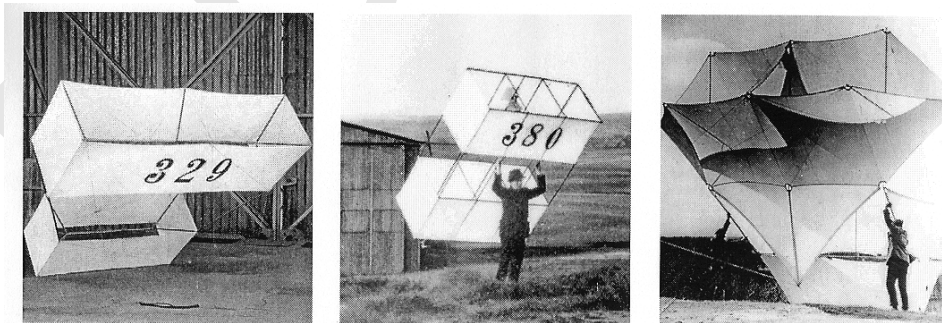
A magassági légállapotmérések kiterjednek a levegő összetételének, mozgási állapotának, hő- és nedvességtartalmának, sűrűségének, elektromos és mágneses állapotának meghatározására. A szinoptikus gyakorlatban azonban a levegőnek többnyire azon jellemzőit mérik, amelyekből a légtömegek energiaviszonyaira lehet következtetni, a várható időjárás alakulása ugyanis elsősorban ezektől az állapotjelzőktől függ. Így a magaslégköri mérések feladata a szél, a légnyomás, valamint a levegő hőmérsékletének és relatív nedvességtartalmának mérése a talajtól kiindulva minél nagyobb magasságig.

A felmerülő mérési feladatok három csoportba sorolhatók:

- a planetáris határréteg vizsgálata,
- a szabadlégkör 30–35 km-es magasságig terjedő tartományának szondázása,
- és a szabadlégkör magasabb rétegeinek szondázása.

15.3. A magaslégkör kutatásának rövid történeti összefoglalása

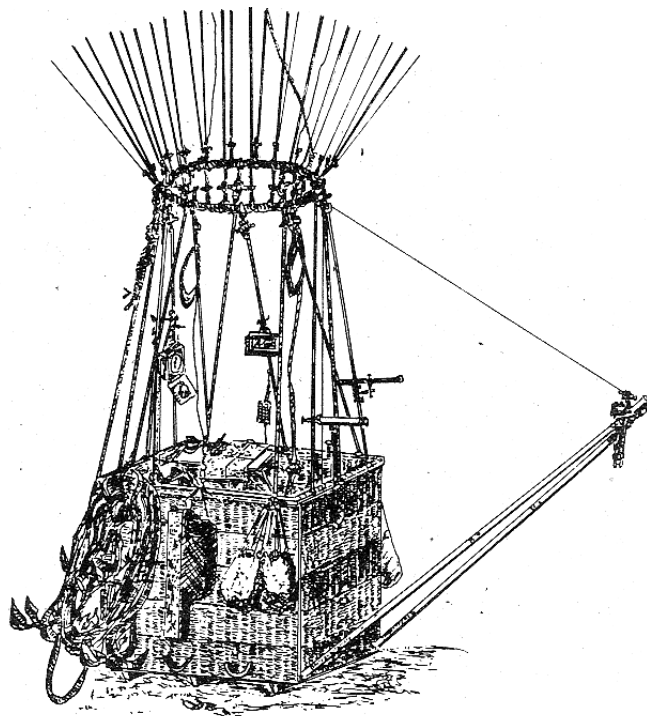
A magaslégköri mérések történetének kezdete B. Pascal nevéhez fűződik, aki 1643-ban barométerével felmászva az 52 m magas párizsi *Szent Jakab toronyba*, megállapította, hogy fenn alacsonyabb a légnyomás. Az első „hordozóeszköz” felbocsátására 1749-ben, Glasgow városában került sor, amikor A. Wilson elsőként *sárkányt* alkalmazott méréseihez. A Montgolfier-testvérek 1783-ban hajtották végre az első forrólevegős *léghajó-felszállást*. Egy év múlva J. Jeffries már *hidrogénnel töltött léghajóval* végzett légkörkutató felszállást. Az utas nélküli kísérletek során a sárkányokat részesítették előnyben, mivel ezeket mérés közben a meghatározott helyen lehetett tartani. A 19. század második felében már olyan meteorológiai sárkányokat fejlesztettek ki, melyek lökéses szélben is viszonylag stabilan viselkedtek (15.1. ábra).



15.1. ábra

Különféle meteorológiai sárkányok a 19. század végéről
(forrás: www.dmg-ev.de)

A sárkányokkal azonban csak 6–7 km-es magasságig tudtak méréseket végezni, a nagyobb magasságokba léghajóval próbáltak feljutni. Ennek oka részben az volt, hogy sugárzásméréseket kívántak végezni, ehhez pedig az ember jelenléte is szükség volt. A léghajós felszállások egyik legnevezetesebbje J. Glaisher és pilótája nevéhez kötődik, akik 1862 és 1869 között végrehajtott 28 felszállásuk egyike során 11000 m magasra emelkedtek (15.2. ábra).

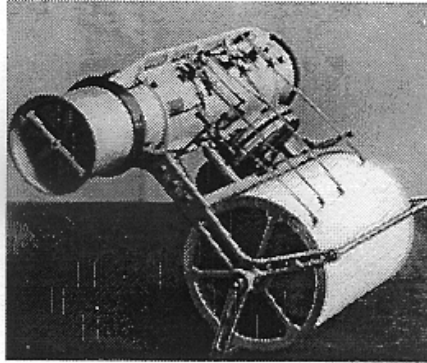


15.2. ábra
Glaisher léghajójának műszerekkel felszerelt kosara
(forrás: Czelnai 1993)

Mivel ezen felszállásoknak sok áldozata volt, a 19. század vége felé kezdtek áttérni az öniró műszerekkel végzett *ballonszondázásra*. 1892-ben H. Hermite és G. Besancon 7600 m magasra jutatott fel egy ballonszondát, a technika továbbfejlesztésével azonban a léggömbök 16 000 m fölé tudtak emelkedni. Gondot okozott ekkor, hogy a regisztrátumok kiértékelése csak a műszer földet érését követően, esetenként több hét késéssel volt lehetséges.

1928-ban Molcsanov megszerkesztette az első *rádiószondát*, ezek továbbfejlesztésével a léggömbök felbocsátása során a 30–35 km-es magasság rendszeresen, a 40–45 km-es magasság pedig alkalmanként elérhető vált. Az 1940-es évektől lehetővé vált a léggömbök rádióteodolitos, majd radaros követése, módot adva a magassági szélméérésre is. Közben, az I. világháború előtt már megjelentek az első

a *repülőgép-meteorográfok*. A magaslégköri mérésekre használatos műszerek a talajközeli megfigyeléseknél használt önrő berendezések (baro-, termo- és higrográfok) egyesítéséből és továbbfejlesztéséből alakultak ki. Azokat a regisztráló műszereket, amelyek a levegő három állapotjelzőjét (légnomás, hőmérséklet és nedvesség) együttesen mérik, *meteorográfoknak* nevezzük (15.3 ábra).



15.3. ábra
Meteorográf
(forrás: www.dmg-ev.de)

1946-tól megkezdtek a műszerhordozó *meteorológiai rakéták* alkalmazását, amelyekkel a mérések hatósugarát a 100 km feletti rétegekre is ki lehetett terjeszteni, így a magaslégkör különböző magasságú részei (mezoszféra, termoszféra, exoszféra) is megismerhetővé váltak.

A rakétákkal fölbocsátott a Föld körüli pályán keringő *meteorológiai műholdak* lehetővé teszik az időjárási helyzet gyors, nagy területekre vonatkozó folyamatos áttekintését, mellyel jelentőségük a napi prognosztikában felbecsülhetlenné vált. (A felhőzettel kapcsolatos információk a rövidtávú, a Föld energiagazdálkodására vonatkozó adatok pedig a hosszútávú előrejelzés szempontjából különösen fontosak.)

Ezekkel lényegében teljessé váltak a magaslégköri megfigyelések, a további fejlődés a minőség, pontosság és gazdaságosság fokozását célozta meg. A fejlődés fő frontja a távérzékelési módszerek területére helyeződött át.

15.4. A magaslégköri kutatások eszközei – direkt aerológia

A szállító- és tartóeszközöknek számos változata van, ezek ismertetésére az alábbiakban kerül sor.

15.4.1. Mérőtornyok

A légkör alsó, kb. 1000 méteres rétege a *planetáris határréteg* vagy sűrűdési réteg. Ez a réteg, főképpen ennek a felszínnel érintkező változó (néhány tíz, néhány száz méter) vastagságú alsó része, az ún. turbulens határréteg vagy Prandtl-réteg a felszín és a légkör közötti kölcsönhatások helyszíne, aminek következtében az áramlás itt gyakran turbulens, a különféle termodinamikai állapotváltozók pedig viszonylag erősen tükrözik a felszín hatásait, így erős változékonyságot mutatnak. A planetáris határréteg a különféle légköri szennyezőanyagok transzportja szempontjából is kulcsfontosságú szerepet játszik.

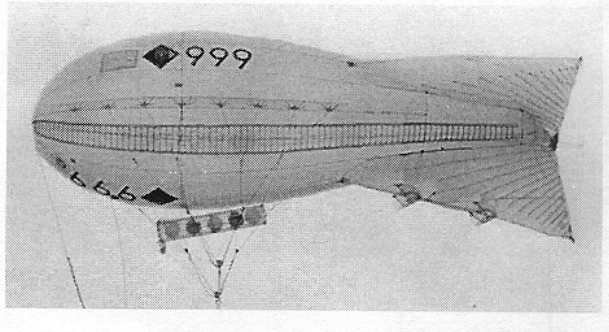
Az itt zajló folyamatok részletes vizsgálatára elvileg a legegyszerűbb megoldást a magas *mérőtornyok* telepítése, illetve ezekre különböző szinteken megfelelő műszerek felszerelése jelentené. Hazánkban a paksi atomerőmű közelében és a Vas megyei Hegyhátsálon létesült ilyen torony. A paksi tornyon 2, 10, 50, 100 és 120 m magasan van egy-egy mérőerkély, amelyeken a szélirány, szélesség, hőmérséklet, légnedvesség és más elemek mérésére szolgáló eszközök helyezkednek el. A hegyhátsági adótornyot 10 m, 48 m és 82 m magasan szélességmérőkkel, míg 115 m magasan szélesség- és széliránymérő műszerekkel szerelték fel.

Az ilyen tornyokkal kapcsolatos leggyakoribb kritikák az alábbiakban fogalmazhatók meg:

- létesítésük rendkívül költséges,
- a műszerekhez felmászni nehéz és veszélyes, ezért olyan megbízható műszerekre van szükség, amelyek ritkán igényelnek karbantartást,
- az így végezhető mérések hatósugara mindössze 500–600 méterig terjed.

15.4.2. Kötött léggömbök

A kötött léggömböket (aerosztátok) az előbbiekhöz hasonló magasságig alkalmazzák. Ezek erős műanyagból készült, nagy méretű, áramvonalas, gázzal tölthető testek (15.4. ábra). Teherbírásuk nagy, hiszen saját (akár 45 kg-ot is elérő) súlyukon kívül 10 kg műszerterhet is képesek 500 m magasban tartani. A sárkányokhoz képest könnyebben kezelhető, a tornyokhoz képest olcsóbb eszközök, melyek állandó felügyeletet és kezelést igényelnek.



15.4. ábra
Kötött műszerhordozó ballon
(forrás: www.dmg-ev.de)

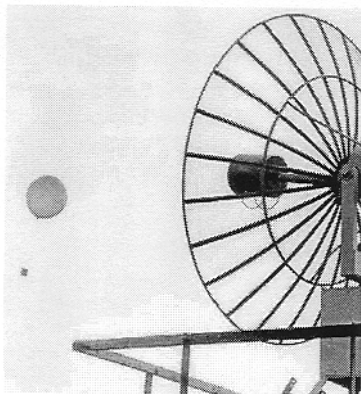
15.4.3. Ballonszondák, vetőszondák

A planetáris határreteg 500–600 m fölötti részeinek elérésére az ún. *lassú emelkedésű ballonszondák* alkalmasak. Ezek a szokványos meteorológiai ballonszondáktól főként abban különböznek, hogy kisebb a hordozó léggömb szabad felhajtása, így ezek mindössze maximálisan 100 m percenkénti emelkedésre képesek. Ennek révén részletesebb adatok nyerhetők az alsó légrétegek állapotáról és mozgásáról.

A szabad légkör alsó 30–35 km-es tartományának szondázásában a döntő szerepet a *ballonszondák* játsszák. Ezek olyan meteorográfok, amelyek szabad léggömbre kötve a talajtól a léggömb pukkanásáig mérik és regisztrálják a felsőbb légrétegek állapotjelzőit. Viszonylag gazdaságos eszközök, melyek egyik fő technikai előnye már első, 1901-ben történt alkalmazásuk után nyilvánvalóvá vált: a rugalmas, tágulásra képes gumiballonokról kiderült, hogy lényegében egyenletes emelkedésre képesek. Ezt az ún. *pilot-léggömbös méréseknél* alkalmazták.

Pilot-léggömbnek a meteorológiai szaknyelvben az olyan műszer nélkül felbocsátott, szabad léggömböket nevezik, melyeket a magasban uralkodó szél vizuális megfigyelésére használnak. Ha egy felbocsátott léggömb oldal- és magassági szögeit két, egymástól ismert távolságban lévő pontból, optikai teodolittal időközönként, de egyidőben leolvassák, e szögekből, trigonometriai módszerekkel kiszámíthatóvá válnak a léggömb egymást követő térbeli helyzetei. Ezután az egymást követő pozíciókat a vízszintes síkra vetítve, megkapják azokat a horizontális szélesség-vektorokat, amelyek az egyes légrétegek mozgására jellemzők.

Noha ez az eljárás meglehetősen bonyolult, többek között az egyidejű leolvasásokból adódó nehézségek vagy az optikai teodolitok alkalmazásának korlátai miatt (alacsony felhők vagy köd esetén a léggömb nagyon rövid ideig követhető), mégis ez az eljárás évtizedekig a meteorológia egyik leghasznosabb adatforrása volt. Fokozatosan áttértek a rádiós szélmérésekre, azaz a léggömbök *rádioteodolitos*, illetve *lokátoros* követésére (15.5. ábra).



15.5. ábra
Pilot-léggömb követése rádióteodolittal
(forrás: www.dmg-ev.de)

Mára a rádiószondás légállapotmérések játsszák a legalapvetőbb szerepet a szabadlégtérben végrehajtott rendszeres meteorológiai mérések között. Ezen mérések köre nemcsak a magassági szélérésekre, hanem a léghőmérséklet, légnedveség és a légnyomás mérésére is kiterjed.

A *rádiószondák* általában két fő részből állnak: az érzékelő elemeket tartalmazó egységből és a rádió adó-vevő berendezésből, amely a méréssel egyidejűleg továbbítja az adatokat a földi vevőállomás részére. Világszerte sokfajta rádiószonda van használatban, melyek rendszerkonceptió, adattovábbítás és mérőelemek tekintetében eltérnek egymástól. Az alkalmazott érzékelők általában az alábbiak:

- légnyomásmérés: Vidi-dobozos aneroid, ritkább esetben hipszométer
- hőmérsékletmérés: termisztor, illetve bimetall hőmérő,
- légnedveségmérés: membrános vagy hajszálas higrométer.

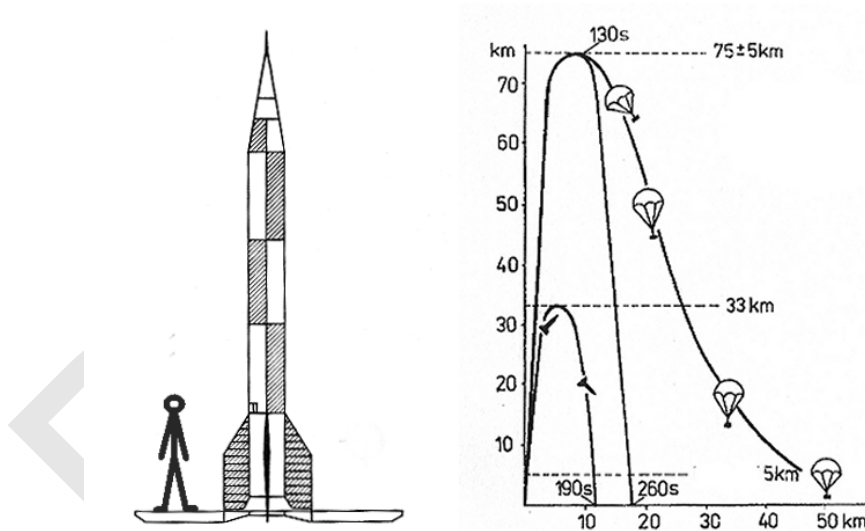
A troposzféra szondázására bizonyos földrajzi környezetekben a ballonszondák helyett ún. *vetőszondákat* (vagy *ejtőszondákat*) használnak, amelyeket repülőgép visz a magasba. A gépből kivetett szonda ejtőernyővel ereszkedik alá, s közben folyamatosan adja a légállapotmérésre vonatkozó jeleket, a repülőgép pedig a szonda földet (vizet) éréséig az adott körzetben kering, és veszi azokat. Ilyen megoldásra lehet szükség például olyan óceáni térségek fölött, ahol nincsenek rádiószondázó állomások, és ahol a túl gyakori összefüggő felhőtakaró lehetetlenné teszi a poláris műholdak multispektrális szondázó módszereinek alkalmazását.

Főleg kutatási célokra használnak még a fentiekén kívül más, különleges felszerelésű szondákat is, például *ózonszondák*, amelyek az ózonkoncentráció rétegenkénti meghatározására szolgálnak, valamint *sugárzásmérő szondák*, *levegőkémiai szondák* stb.

15.4.4. Rakétaszondák

A magasabb, de 30–35 km-t nem meghaladó magasságokban a légkör szondázásában a ballonszondák szerepét a *rakétaszondák* veszik át. Általuk mára a légkör bármely távoli tartománya elérhető, bár ma is rendkívül költséges eljárásról van szó. Két sajátos problémáról is érdemes említést tenni. Az egyik, hogy a rakéta gyors emelkedése közben a légállapotmérések végrehajtása különféle technikai nehézségekbe ütközik. A másik, hogy bizonyos magasságokon túl a megszokott állapotjelzők (például kinetikus hőmérséklet) elvesztik jelentésüket, ennek következtében a különböző magasságú légköri tartományok vizsgálatára alkalmazott rakéták műszerfelszerelése eltérő.

Az alacsonyabb (kb. 50–60 km-ig) terjedő rétegek szondázásakor esetenként olyan megoldást választanak, hogy a mérőberendezés az emelkedés közben nem is működik. A tetőpont elérésekor az ejtőernyővel felszerelt szonda leoldódik, s lassan ereszkedve végzi el a méréseket, az adatokat pedig rádióan továbbítja (15.6. ábra). Ez esetben bizonyos határokon belül alkalmazhatók a hagyományos mérési eljárások, hátránya ugyanakkor a viszonylagos lassúság, valamint az, hogy a szonda a felbocsátás helyétől nagy távolságra sodródhat.



15.6. ábra
Rakétaszonda és pályája

A problémák kiküszöbölésére olyan mérési technikát kellett kifejleszteni, amely lehetővé tette a mérések elvégzését a rakéta emelkedése közben is. Ennek eredményeképp jött létre az a megoldás, amely szerint a mérőműszereket ún. *torlópontokon* (azok a pontok, ahol a levegőmolekulák merőlegesen ütköznek a test

felületébe) helyezik el. Ezekon a pontokon ugyanis a nagy sebesség miatti torlódás, valamint a sűrűlódás következtében fellépő melegedés számítható, így lehetőség van a megfelelő korrekciók használatára.

A 60 km-es magasság fölötti térben a közvetlen hőmérsékletmérés a csökkenő légsűrűség miatt egyre bizonytalanabbá válik, ezért a hőmérséklet értékét közvetett módszerrel, a hang terjedési sebességének mért értéke alapján határozzák meg. Ehhez a légnyomás, légsűrűség és az átlagos molekulásúly ismerete szükséges. Ez az eljárás a *homoszférán* belül (kb. 90–100 km-ig) ad megbízható eredményeket.

A légnedvességet – a hőmérséklet és a légsűrűség csökkenése következtében rohamosan csökkenő gőznyomás, illetve az abszolút nedvesség értéke miatt – 5–6000 m fölött már csak harmatpont-higrométerrel lehet kielégítő pontossággal mérni. Mivel ennél is magasabban, azaz 20 km fölött pedig már speciális módszerekre (például levegőminta vétele) lenne szükség, ezért a nagy magasságokba emelkedő rakétaszondák ilyen műszerekkel már nincsenek felszerelve, ehelyett például a napállandó mérésére és a sugárzási spektrum vizsgálatára szolgáló specializált műszereket szállítanak.

A szélmegfigyelések szempontjából a rakétaszondák a 30 és 80 km közötti rétegből szolgáltatják a legértékesebb adatokat, ez ugyanis az a réteg, amire nézve más forrásból származó adat nem áll rendelkezésre.

15.4.5. Úszó léggömbök (trajektóriasondák)

A légkör egy adott rétegében a légáramlásokkal együtt mozgó, azaz az őket körülvevő légtestek, légmozgások trajektóriáit követő szondák a függőleges szondázáshoz képest más típusú, a meteorológia számára érdekes és fontos adatokat szolgáltatnak. Potenciális eszközt jelentenek az óceánok és a lakatlan szárazföldi területek fölötti megfigyelésekre, ahol a függőleges szondázásokat végző állomások telepítése lehetetlen.

Az *úszó léggömbök* elvileg a ballonszondához hasonló rádiószondát hordoznak, a gyakorlatban azonban van némi eltérés. Mivel a *trajektóriaszondákat* eleve hosszabb ideig tartó mérésre szánják, nagyobb kapacitású áramszolgáltató telepekre van szükség. Más rádióberendezést alkalmaznak, mivel a szonda a mérési program közben több ezer kilométerre távolodhat a bázisállomástól. Az adattovábbítás feladatát az utóbbi években a műholdak vették át – a szondák adatszolgáltatási menetrendjét a műhold által kisugárzott hívójelek vezérlik –, de ezek helymeghatározó technikája révén vált lehetővé a trajektóriaszondák helyének meghatározása is.

15.4.6. Repülőgépes megfigyelések

Az eddig tárgyalt magaslégköri mérési módszerekhez képest a repülőgépes megfigyeléseknek két fontos előnye van:

- a mérésekkel egyidejűleg vizuális megfigyelésekre is lehetőség nyílik,
- a repülőgépet oda lehet irányítani, ahol a mérésekre szükség van, és tetszés szerint lehet vertikális, vagy meghatározott útvonalak berepülésével horizontális metszetet készíteni.

A repülőgépes megfigyelések jelentőségét növelte az is, hogy az automata mérőberendezések fejlődésével az utasszállító gépeket is fel lehetett szerelni olyan berendezésekkel, amelyek a személyzet zavarása nélkül folyamatosan mérik, regisztrálják és továbbküldik a légkörre vonatkozó adatokat. Sőt lehetőség nyílt a nagyobb méretű gépek vetőszondával történő felszerelésére is. Ráadásul a technikai fejlődés együtt járt a légiforgalmi útvonalak és a járatok sűrűbbé válásával is.

Emellett egyes kutatási programokhoz ún. *repülő laboratóriumokat* szereltek fel. Ezek során már korábban volt példa arra is, hogy repülőgépeken a fenti méréseken túlmenően időjárási radarmegfigyeléseket és levegőkémiai mintavételezéseket is végeztek, a mérések eredményeit pedig rögtön a fedélzeti számítógépeken dolgozták fel.

A repülőgépes mérések is hasonló technikai problémákat vetnek fel, mint a rakétaszondázás. A hőmérséklet torlópontban történő méréséhez a repülőgép orrára vagy szárnyára hosszan előrenyúló mérőrudat szerelnek fel, a hőmérőt pedig ennek csúcán helyezik el. A szél irányát és sebességét nem műszerrel mérik, hanem a repülőgép mozgásait kiértékelve, számítással határozzák meg.

15.5. A magaslégköri kutatások eszközei – távérzékelésen alapuló mérések (indirekt aerológia)

15.5.1. Aktív és passzív mérési módszerek

A meteorológiai távérzékelésen alapuló méréstechnikákon belül aktív és passzív távérzékelést lehet elkülöníteni.

Aktív távérzékelésen azt értjük, amikor a mérőberendezés valamilyen elektromágneses vagy akusztikus jelet bocsát ki, és a vizsgált objektum tulajdonságaira annak alapján következtetünk, hogy mi történik ezzel a sugárzással, miközben a vizsgált objektummal kölcsönhatásba lép. Ide tartozik mindenféle radar-, lézer-, lidar- (fényradar) és sonar- (hangradar) megfigyelés.

Passzív távérzékelésről pedig akkor beszélünk, ha adott egy tőlünk függetlenül létező sugárzás, és megfigyelésünk arra irányul, hogy ez a sugárzás az általunk vizsgált objektummal kölcsönhatásba lépve hogyan viselkedik (szóródik, elnyelődik).

dik, visszaverődik stb.). Ebbe a körbe a különféle műholdas megfigyelések, valamint a légköri összozonmennyiség spektrofotometriás meghatározása és a légköri aeroszol összkoncentrációjának vizsgálata a légköri homályosság mérése útján.

A fenti módszerek megkülönböztetésén túlmenően felmerül az a különbség is, hogy egyesek ezek közül képszerű információt nyújtanak, mások viszont a légköri tartományok egyes tulajdonságairól fizikailag értelmezhető mérési adatokat szolgáltatnak. Ez utóbbiakat távszondázási eljárásoknak nevezik.

14.5.2. Képpalkotás távérzékeléssel (távszondázás)

Távszondázáson a távérzékeléssel végrehajtott mérést értjük. Két altípusa különíthető el: *passzív távszondázás* és *aktív távszondázás*.

A meteorológia területén két alapvető fontosságú képpalkotó távérzékelő módszer honosodott meg:

- műholdas képfelvétel: passzív képpalkotás,
- radarképek felvétele: aktív képpalkotás.

A műholdfelvételek feldolgozása révén az egyes felhőrendszerek sokrétű analizésének elvégzésére, illetve a felhőzetre és a talajfelszínre vonatkozó információk különválasztása nyílik lehetőségünk. A TIROS-N műhold 4 spektrumában készített felvételek többek között az alábbiak vizsgálatát teszik lehetővé: a felhőzet, a hó- és jégviszonyok megfigyelése a nappali órákban, a felszíni vízfelületek (például hóolvadási területek) kimutatása, a felhők magasságának vizsgálata éjjel és nappal. A kapcsolódó eljárások felhasználhatók például az aktív zivatarvédekezés körzeteinek azonosítására. A geoszinkron műholdak nagytérségi felhőképeinek feldolgozásából széladatokat levezetése is lehetővé válik. Az egymást követő képek összevetéséből ugyanis jól látszik a felhők haladási iránya és sebessége, a felhők sugárzási hőmérséklete megadja a széladat magasságát is.

A radarmeteorológia által alkalmazott képpalkotási eljárások révén az időjárási rendszerek detektálására, felhő detektálására, radaros csapadékmérésre, valamint a Doppler-radarral végzett szél mérés által a különböző szélrendszerek leírására, illetve akár a teljes szélmező rekonstrukciójára nyílik lehetőségünk. A vertikális szélprofil vizsgálatára használatos az ún. *wind profiler*.

A passzív távszondázás során a direkt, szórt és visszavert napsugárzás, valamint a hosszúhullámú terresztriális sugárzás légkörön való áthaladásakor végbe ment módosulásait figyeljük meg, amelyekből következtetni lehet a légkör összetételére, szennyezettségére és fizikai állapotára az alábbi technikák segítségével.

Multispektrális műholdszondázás: Elsősorban a hőmérséklet függőleges eloszlását, a légköri nedvességtartalom és az ózon eloszlását mérik ilyen módszerekkel, ami felhőmentes területeken a szén-dioxid 13,33–14,97 μm közötti elnyelési sávjában történik, *inverz eljárással*. Ennek lényege, hogy a műholdakról mérhetők az ebben a sávban kibocsátott sugárzás spektrumának bizonyos jellemzői, és ezekből vissza lehet következtetni arra, hogy a különböző sűrűségű légrétegek milyen hő-

mérsékleten sugároztak. Felhős területek fölött nagyszámú szondázással igyekeznek felhőmentes lyukakat eltalálni. A légnedvesség szondázásával a vízgőztartalmat három szintben, az ózontartalom szondázásakor pedig a teljes függőleges légoszlop összózontartalmát határozzák meg. Ezek a hőmérsékleti profilok kevésbé pontosak, mint a rádiószondás mérések adatai, azonban gazdaságosságuk, valamint az azonos műhold által mért profilok egymás közötti összehasonlíthatósága mindenképp használatuk mellett szól.

Ózon-spektrofotometria: A légköri ózon mennyiségének legalapvetőbb mutatója az *összózon*, amelyen az egységnyi alapterületű függőleges légoszlop teljes ózontartalmát értjük. Az összózón mennyiségét azzal a fiktív rétegvastagsággal (*Dobson-egységben* – $1 D = 10 \mu\text{m}$) adjuk meg, amelyet a légkörben levő ózon a talaj felszínén elfoglalna. Mérése a *Dobson-féle ózon-spektrofotométer* segítségével történik, speciális obszervatóriumokban. A mérést, a légkörön áthaladó sugárzás-intenzitás-csökkenés és más zavaró hatások miatt két, egymáshoz közel fekvő és az ózon által különböző mértékben befolyásolt hullámhosszon kell végezni.

A légköri homályosság mérése során a légkör átlátszóságának azon csökkenését mérjük, amelyet a felhőn kívüli szilárd és cseppfolyós aeroszol-részecskék okoznak a látható fény elnyelése és szórása által. Mérése az ún. *Volz-féle napfotométerrel* történik, amelynek érzékelő eleme szilícium fotodióda, melyet a Nap direkt sugarai megfelelő interferencia-szűrőkön keresztül érnek. A létrejövő fotoelektromos áram arányos a kiválasztott spektrumsávba beérkező sugárzás intenzitásával.

Az aktív távszondázás feladatai közül a repülésmeteorológia szempontjából kiemelendő a felhőalap mérése, a látástávolság mérése, valamint a légköri turbulenciák detektálására alkalmazott akusztikus szondázás.

A felhőalap mérése: A repülőterek meteorológiai kiszolgálása szempontjából alapvető fontosságú a felhőalap magasságának folyamatos és pontos mérése. A regisztráló műszerek fejlődése tekintetében a nagy minőségi változást a *lézeres felhőalaplómérők* hozták. Ezek a berendezések a felhő magasságát 10 m-től 1500 m-ig tudják mérni ± 5 m pontossággal.

A látástávolság mérése: A repülésbiztonság szempontjából még fontosabb a látástávolság folyamatos mérése. Jelenleg két korszerű műszertípus van forgalomban. Az első típus esetében a sugárvető és az érzékelő elkülönül egymástól, és a mérés arra irányul, hogy az infrasarkanak mennyit gyengülnek, miközben eljutnak a sugárvetőtől az érzékelőig. Ezek az ún. *transzmisszióméterek*. A második típusnál a sugárvetőt és az érzékelőt egybeépítik (egymás mellé helyezik), és az érzékelő azokat a szórt sugarakat fogja fel, amelyek a sugárvető által kibocsátott impulzusokból egyenesen visszaverődnek. Ezek az ún. *köddetektorok*, melyeket nemcsak repülőtereken, de ipartelepeken, kikötőkben, meteorológiai állomásokon stb. is alkalmaznak. Egyes berendezések méréshatára 10 m-től 1 km-ig, másoké 100 m-től 10 km-ig terjed.

Akusztikus szondázás: A hanghullámok terjedésének (intenzitásának és frekvenciájának) vizsgálata alapján a turbulens örvények, szélnyírások stb. elég nagy

pontossággal érzékelhetők és mérhetők, de kiváló eszközként szolgálnak a mikro- és mezoskálájú légköri folyamatok experimentális kutatására is. Példaként említhető meg az ún. *SODAR*, amellyel az atmoszféra alsó részének szélprofilja, valamint a vertikális turbulenciaszerkezete vizsgálható. A turbulenciák detektálása elsősorban a repülőgépek leszállása közben történt balesetek számának csökkentésében jelent segítséget.

A meteorológiai műholdakkal és radarokkal kapcsolatos fontosabb ismereteket bővebben lásd a „Meteorológiai műholdak” és „A meteorológiai radarok” c. fejezetekben.

DUPRESS

DUPress

16. Meteorológiai műholdak

16.1. A műholdak helye a meteorológiai megfigyelő alrendszerben

A földfelszín 70%-át borító tengereken, a sarkvidéki területek nagy részén, a kontinensek belső, hegyvidéki, nehezen megközelíthető területein (a földfelszín legalább 80%-a ide sorolható) nem működik állandó felszíni meteorológiai állomáshálózat. Az időjárási előrejelzés és az éghajlatkutatás ugyanakkor nem nélkülözheti az e területekről származó adatokat.

A meteorológiai műholdak és a hozzájuk kapcsolódó földi létesítmények együttesen *a meteorológiai megfigyelő alrendszer űrbázisú alrendszerét képviselik*. Ez további két részre tagolódik: *a meteorológiai műholdak jelentik az űrszegmensét, ami kiegészül a földi szegmensbe tartozó felszíni vevő- és adatfeldolgozó állomásokkal* (16.1. ábra).

Az első műholdakat katonai céllal, az ellenséges területek megfigyelésére hozták létre. Hamar kiderült, hogy az időjárás megfigyelésére is megfelelnek, így meteorológiai megfigyelések végzésére alkalmas berendezésekkel is felszerelték őket. Majd a hatvanas évek első felében megjelentek az első kifejezetten meteorológiai célokra létrehozott műholdak, hogy a földi meteorológiai mérőhálózatban táguló réseket a segítségükkel tömjék be, adataikat felhasználják az időjárás-előrejelzésben.

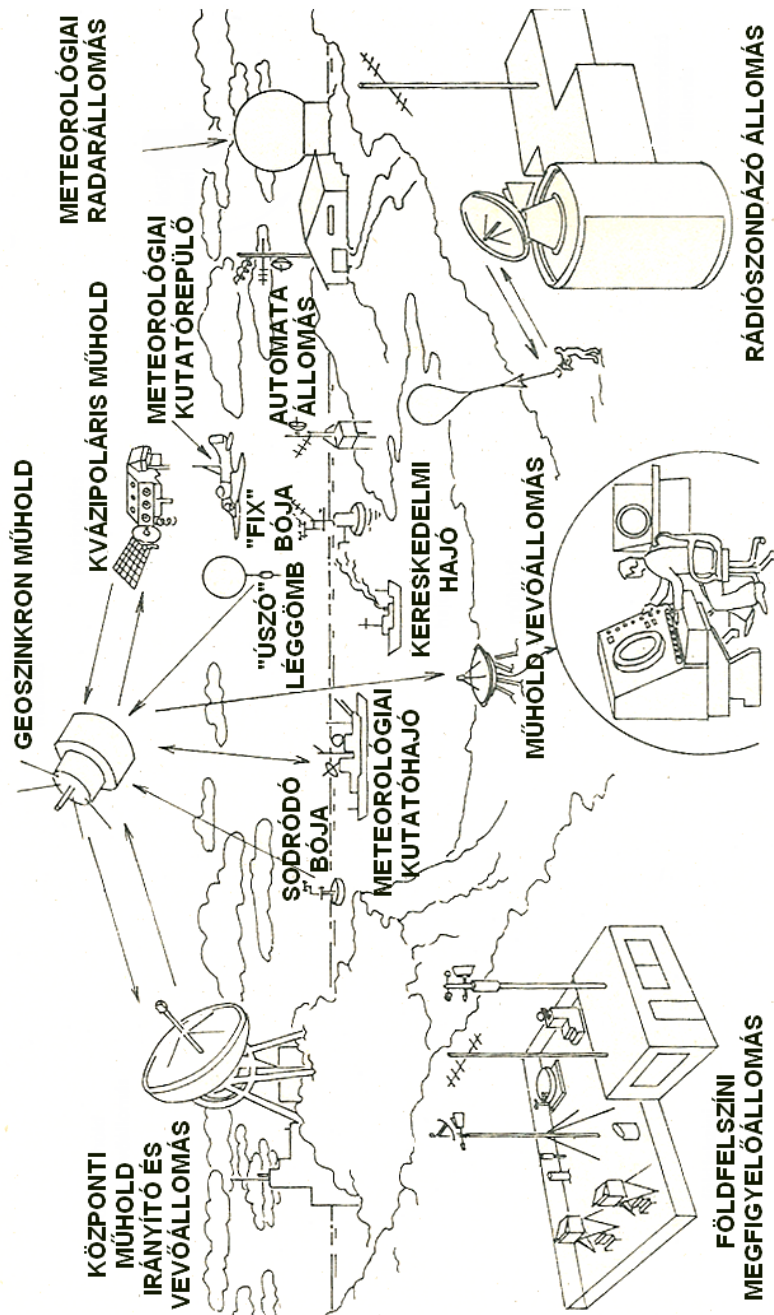
Az első meteorológiai célú műholdat, a TIROS I-et (Television and Infrared Observation Satellite: televíziós és infravörös megfigyelő műhold) 1960. április 1-jén lötték fel az Egyesült Államokból, amit öt éven belül további öt követett. 1964-től indult a szintén amerikai *Nimbus* műholdcsalád.

A korai műholdakon *újabb és újabb megfigyelési technikákat és adattovábbítási módszereket dolgoztak ki*, amiket a műholdak újabb generációin alkalmaztak. A Szovjetunióban a Kozmosz sorozat tagjai jelentették a meteorológiai műholdak első generációját.

Az első kilenc tagból álló operatív műholdsorozat az amerikai ESSA volt 1966-tól. Ugyanebben az évben bocsátották fel az amerikaiak az első geoszinkron meteorológiai műholdat, az ATS sorozat első tagját.

Az amerikai operatív meteorológiai műholdak második generációját jelentette az 1970-től indult ITOS sorozat. Ennek komoly újdonsága a *digitális jeltovábbítás* megjelenése volt.

Ebben az időben jelent meg a szovjet Meteor sorozat, amelynek legutóbbi tagjai ma is üzemelnek. Az amerikai operatív műholdak harmadik generációját a ma is üzemelő TIROS-N (NOAA) sorozatképviselei.



16.1. ábra.

A meteorológiai megfigyelő alrendszer űrbázisú és földi bázisú szegmensei közötti kapcsolatrendszer
 (forrás: Czelnai 1993 alapján)

Fontos lépés volt a GARP (Global Atmospheric Research Program – világméretű légkörkutató program) kísérlet. Ennek keretében elméleti modellkísérletek és gyakorlati célú műholdkísérletek történtek: az Egyesült Államok, a Szovjetunió, az EU és Japán bocsátott fel meteorológiai műholdakat a globális megfigyelések módszerének kidolgozása céljából. Ekkor került sor az amerikai SMS/GOES, a japán GMS (Himawari) és az európai METEOSAT felbocsátására. Később ezt a rendszert a volt Szovjetunióból felbocsátott GOMS egészítette ki.

Napjainkra a meteorológiai műholdak alkalmazási köre kibővült, a terület dinamikusan fejlődő ágazat, melynek jelentősége egyre nő.

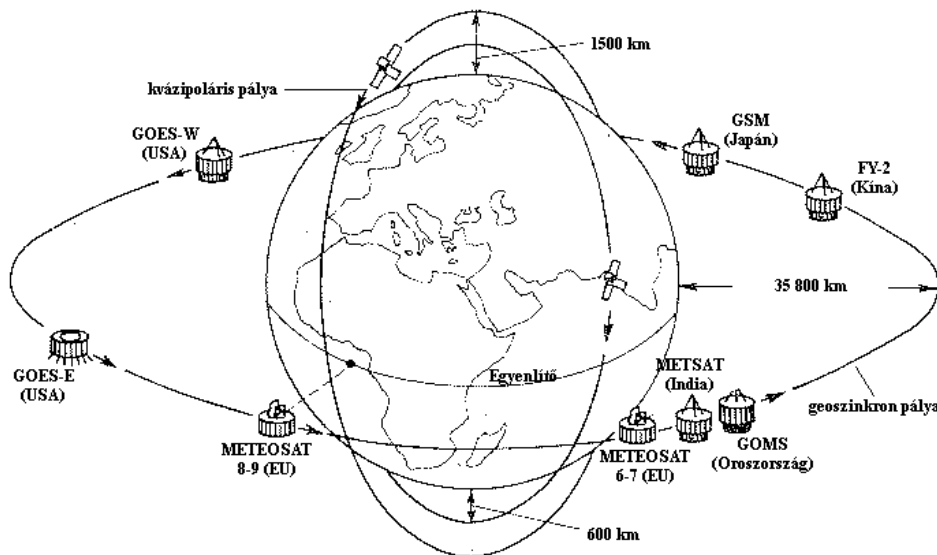
16.2. A műholdak csoportosítása

A műholdak csoportosításának alapja pályájuk, mivel ezek helyzete, magassága meghatározza azt, hogy a műhold milyen feladatokra alkalmas. Pályájuk szerint megkülönböztetünk „kvázipoláris” vagy „napszinkron” és „egyenlítői” vagy „geoszinkron” pályán keringő műholdakat (16.2. ábra). A két műholdtípus által gyűjtött adatok egymást kiegészítik, bizonyos feladatok ellátására (adatgyűjtés más mérőeszközökről, adatfeldolgozás és adattovábbítás) ugyanakkor egyaránt alkalmasak. A geoszinkron műholdak előnye, hogy a Föld jelentős, kontinensnyi területein zajló nagytérségi meteorológiai folyamatokról tudnak folyamatosan adatokat szolgáltatni, míg a kvázipoláris műholdak bolygónk egészén nagy részletességgel, azonban nem folyamatosan végeznek megfigyeléseket. Adataik digitális (szám) és analóg (képi) formátumban jutnak el a felhasználókhoz.

A műholdak akkor tudnak földkörüli pályán maradni, ha a rájuk ható keringési sebességből származó centrifugális erő éppen egyensúlyt tart a Föld tömegvonzásával. Ezért tehát, a keringési idő és a keringési magasság kölcsönösen meghatározzák egymást. Minél alacsonyabb a pálya, annál nagyobb keringési sebességre, következésképp rövidebb keringési időre van szükség. A pálya nem lehet túl alacsony mivel, a sűrű légkörben a keletkező súrlódási hő elégetné a műholdat. A tapasztalatok szerint egyéves üzemidőre kb. 500 km magas pálya esetén lehet számítani.

A műhold pályájának alapvető jellemzője az ún. inklináció (δ). Ez a műhold pályasíkja és az Egyenlítő síkja által bezárt szög a keleti irány felől mérve. Két speciális inklináció lehetséges:

- a műhold pályasíkja mindkét póluson áthalad, az Egyenlítővel derékszöget zár be ($\delta = 90^\circ$). Ebben az esetben poláris pályáról beszélünk.
- a műhold pályasíkja az Egyenlítő síkjában fekszik ($\delta = 0^\circ$). Ez az ún. egyenlítői pálya.



16.2. ábra

A geoszinkron és kvázipoláris pályán keringő műholdak rendszere

16.3. A kvázipoláris műholdak

A kvázipoláris pálya magyarul majdnem poláris műholdpályát jelent. Valódi poláris pályának egyezményesen azokat a műholdpályákat tekintjük, amelyek pályasíkja magában foglalja a Föld forgástengelyét, így ezek a műholdak minden keringés alkalmával áthaladnak a Föld mindkét pólusa fölött.

A műhold pályasíkjának abszolút koordináta-rendszerhez viszonyított állása megadható a földi egyenlítő síkjához viszonyítva, illetve egy távoli csillag iránya alapján. A poláris műholdpálya inklinációja $\delta=90^\circ$, egy ehhez képest Kelet felé 10 fokkal megdőlt pályáé $\delta=80^\circ$, míg egy Nyugat felé 10° -kal dőlő pályáé $\delta=100^\circ$.

A fizikai mennyiségek megmaradási törvényei szerint minden keringő vagy forgó rendszer megtartja keringési pályáját mindaddig, amíg valamilyen erőhatás e síkból ki nem téríti. Jelen esetben ez azt jelenti, hogy a poláris pályára állított műhold pályasíkja is változatlan marad egy külső, tehát Földön kívüli (abszolút) viszonyítási rendszerhez képest. Ugyanakkor a Föld forgása miatt, a földi koordináta-rendszerhez képest a műhold pályasíkja fokozatosan elfordul, és csillagnaponként (23h 56m) egy teljes körülfordulást végez.

Így az Egyenlítő közelében levő ponton megfigyelt poláris pályájú műhold, helyi időben regisztrált áthaladásai naponta 4 perccel korábban következnek be. Ez azért történik így, mivel a Föld Nap körüli keringése miatt a Nap delelései a csillagidőhöz képest 4 perc/napot késnek.

Ha azt akarjuk, hogy a műhold áthaladásai helyi időben mindig ugyanakkor történjenek, akkor a műholdpálya látszólagos elfordulását 4 perccel késleltetnünk kell. Ezt legegyszerűbben *az inklináció szögének napi 1°-kal, a Föld forgásával ellentétes irányban történő elforgatásával érhetjük el*. Ebben az esetben azonban már nem beszélhetünk valódi poláris pályáról. Az ilyen a polárisat megközelítő pálya az ún. *kvázipoláris pálya*.

Ez a napi 1°-os pályasík elfordulás 800-1500 km-es magasságú pálya esetén $\delta=100^\circ$ -kal érhető el. Ezt a meteorológiai szempontból legelőnyösebbnek tekintett pályát *retrográd napszinkron pályának* nevezik. Az ilyen pályán mozgó műholdak tehát adott földrajzi szélesség felett *azonos helyi időben* haladnak át.

Az Egyesült Államok Nemzeti Óceán és Légkör Hivatala (National Ocean Atmospheric Administration – NOAA) által felbocsátott TIROS-N (NOAA-12, -14) műholdjai 858 km magasságú, $\delta = 99^\circ$ inklinációjú pályáján 102 perc alatt kerülik meg a Földet. Az Egyenlítő fölött É-felé haladva helyi időben mindig 15 órákor D-felé haladva mindig 03 órákor haladva át. Naponta mindegyik kétszer halad el ugyanazon pont fölött, egy területről így a műholdpár 4 képet készít. A kvázipoláris műholdak áthaladásai a Föld felszínéhez képest Nyugat felé tolódnak el körönként 25 fokkal (2775 km-rel).

Ezek a műholdak nemcsak közvetlenül maguk alatt képesek mérni, hanem szélesebb sávban – például egy 900 km magasságú pályán keringő műhold kb. 25 fok széles sávot tud letapogatni radiométerei segítségével. Így *az egymást követő pályák sávjai a pólusok felé haladva egyre növekvő mértékben átfedik egymást*. Alacsonyabb szélességeken „rések” is előfordulhatnak.

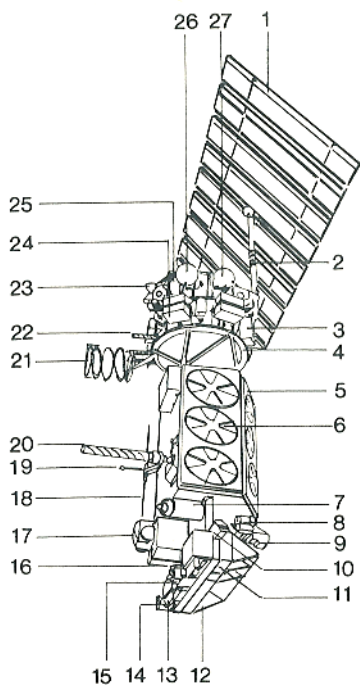
A NOAA-12 -14 (TIROS-N sorozat) fedélzetén két fő mérőberendezés található: a TOVS és az AVHRR (16.3. ábra).

A TIROS-N Operational Vertical Sounder (TOVS) vertikális szondázó egység, 3 műszerből áll:

- Nagyfelbontású infravörös sugázmérő (High Resolution Infrared Radiation Sounder – HRIRS): 17,4 km vízszintes felbontású, 20 csatornás.
- Mikrohullámú szondázó egység (Microwave Sounding Unit – MSU): 109,3 km felbontással és 4 csatornával.
- Sztratoszférikus szondázó egység (Stratospheric Sounding Unit – SSU): 147,3 km felbontással és 3 csatornával.

A nagy felbontású sugázmérő egység (Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR), 5 hullámhossztartományban készít képeket:

- látható tartomány (0,58-0,68 μ m)
- közeli infravörös tartomány (0,725-1,1 μ m)
- közeli infravörös tartomány (3,55-3,93 μ m)
- távoli infravörös tartomány (10,3-11,3 μ m)
- távoli infravörös tartomány (11,5-12,5 μ m)



16.3. ábra.
A TIROS-N műhold szerkezete
(forrás: Almár 1981)

1. napelemtábla, 2. napelemtábla- mozgató motor, 3. mozgatómotor elektronika, 4. S-sávú antenna, 5. a szolgálati rendszerek egysége, 6. hőszabályozó lapocskák, 7. Földérzékelő, 8. nagy energiájú proton- és alfaérzékelő, 9. közepes energiájú proton- és elektronérzékelő, 10. Nap-érzékelő, 11. inerciális mérőegység, 12. napárményékoló, 13. műszertartó platform, 14. nagy felbontású sugárzásmérő egység (AVHRR), 15. sztratoszféraszondázó egység (SSU), 16. nagyfelbontású infravörös sugárzásmérő egység (HRIRS), 17. mikrohullámú szondázóegység (MSU), 18. parancsnoki antenna, 19. S-sávú antenna, 20. URH adatgyűjtő antenna, 22. S-sávú antenna, 23. fűvőkák, 24. akkumulátorok, 25. forgatórendszer, 26. hidrazintartály, 27. nitrogéntartály

A képek felbontása $1,1 \times 1,1$ km a műhold alatti pontban, ami jobb, mint a METEOSAT-képeké, viszont ezek ritkábban állnak rendelkezésre.

Működési programjuk többértű. Beletartozik a felhőzet megfigyelése, vertikális szondázás, közvetlen real-time adatszolgáltatás és adatgyűjtés.

Legfontosabb feladatuk a felhőképek felvétele. A felhőzetről, illetve a földfelszínről visszaverődő és kiinduló sugárzások különbségének érzékelésével történhet a látható fény sávjában (a különböző borítású felszínek eltérő albedója), ill. az infravörös tartományban. Korábban TV-kamerát használtak, olyan felvételsűrűséggel, hogy az egyenként $1-10$ millió km^2 területet lefedő képek és az egymás melletti sorok közt legyen átfedés. Ma letapogatásos (scanning) technika használatos, ami kislátószögű sugárzásmérő teleszkóppal (távcsővel) történik, mely a műholdpályára merőlegesen forogva-ingázva széles tartományt lát.

A képfelvévő egységének felbontó képessége, (a felvételen még megkülönböztethető legkisebb képi elem) a két hullámhossz tartományban közepes (4 km) és nagy felbontású (1 km) képek készítését teszi lehetővé. *Ez alkalmas a nagytérségi felhőrendszerek áttekintésére, illetve a tengeri jég, gleccserek mozgásainak, hótakaró és belvizek kiterjedésének megfigyelésére.*

A vertikális szondázás az 1970-es évek eleje óta elterjedt eljárás a műholdaknál. A műholdak egyes radiométerei képesek a szén-dioxid, a vízgőz és az oxigén

elnyelési sávjaiban olyan mérések végrehajtására, amik lehetővé teszik a hőmérséklet és közvetve a légnyomás függőleges menti eloszlásának meghatározását. A mérés a szén-dioxid és a vízgőz néhány infravörös elnyelési sávjában, ill. az oxigén és a vízgőz néhány mikrohullámú elnyelési sávjában történik, az ún. *inverziós eljárással*.

Az inverziós eljárás a légköri gázok sugárzáselnyelésének mérésén alapuló módszer. Felhasználja, hogy sugárzáselnyelés az elnyelő gázok mennyiségétől függ, amit a hőmérséklet vertikális eloszlása határoz meg. Ezért az állandó gázok (O₂, N₂, CO₂) elnyelési vonalain mért sugárzáselnyelés lehetőséget ad a hőmérséklet függőleges profiljának meghatározására. Egyes változó gázok (H₂, O, O₃) koncentrációja ezután kiszámítható az e gázok vonalaiban történő sugárzáselnyelés és a hőmérsékleti profil felhasználásával. A szondázási adatokból kiszámítható az egyes elnyelő gázok légköri összmenyisége is, aminek például az ózon koncentráció változásainak nyomon követésében kiemelkedő jelentősége van.

A közvetlen *real-time* (valós idejű) *adatszolgáltatás* a földi állomások számára azt jelenti, hogy a műholdak folyamatosan sugározzák mérési eredményeiket a 136-137 MHz-es sávban, illetve 1691-1695 MHz-en (S-sáv). A képek továbbítása közepes felbontású APT (Automatic Picture Transmission), és nagyfelbontású HRPT (High Resolution Picture Transmission) technológia felhasználásával történik. A vertikális szondázás adatainak továbbítása DSB (Direct Sounding Broadcast) rendszerben zajlik, tehát a mért eredményeket a műhold azonnal ki is sugározza.

A műholdak fontos funkciója a globális megfigyelőrendszeren belül, az *adatgyűjtés olyan mérőplatformokról, melyek mozognak, de nem képesek saját pozíciójukat érzékelni* (például sodródó bójják, meteorológiai léggömbök).

Mérési eredményeiket rendkívül széles körben használják fel. A felvételek közvetlen információt nyújtanak a *felszín hőmérsékletéről*, annak infravörös kisugárzása alapján. A „*felszín*” *derült időben a földfelszint, borús területeken a felhőtetőt jelenti, mivel a felhőzet nem engedi át az infravörös és látható fénysugarak nagy részét*. A felhővel, illetve köddel borított területek is jól kivehetők a felvételeken. Az infravörös képek segítenek az erdőtüzek lokalizációjában, sőt az égés hozzávetőleges hőmérsékletének meghatározásában is.

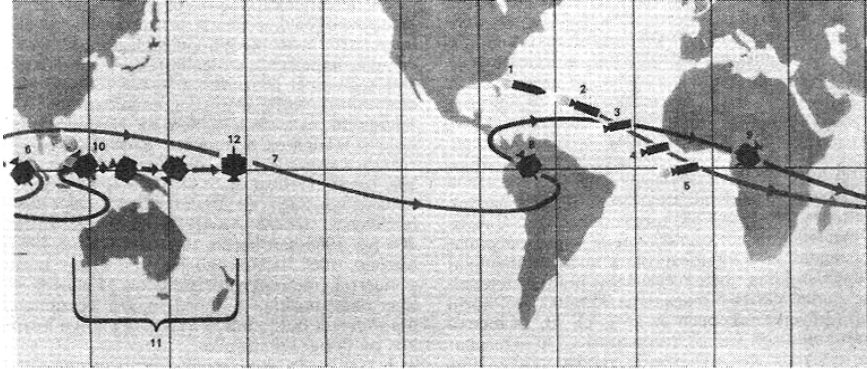
A TIROS-N sorozat legutóbbi tagjai a NOAA 17-18 2002-ben és 2005-ben kerültek felbocsátásra. Az EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) szervezet 2006 októberében juttatta fel a kazahsztáni bajkonuri űrközpontból a MetOp-A műholdat, amely az EUMETSAT Polar Sytem (EPS) műhold sorozat első tagja. A 837 km magasságú kvázipoláris pályán keringő műhold feladata a globális időjárási adatgyűjtés a környezetmonitoring és a numerikus időjárás előrejelzések és katasztrófa elhárítás számára. Az új műhold 11 egységből álló műszerkészletének elkészítésében az EUMETSAT, ESA, a Francia Űrügynökség (CNES) és a NOAA szakemberei vettek részt. Új műszer a műhold fedélzetén az Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI), ami egy integrált infravörös légköri interferometriás szondázóegység. Az infravörös tartományban mért

sugárzási adatok alapján függőleges hőmérsékleti és légnedvesség profilok és különböző gázok (pl. ózon) függőleges menti eloszlásának nagy pontosságú meghatározására alkalmas. A műhold a NOAA műholdakat kiegészítve, azokkal közös rendszert alkot.

Az előbbieken kívül számos más kvázipoláris meteorológiai műhold üzemel. (például: METEOR, DMSP, ERS). A mikrohullámú tartományban mérő műholdak (DMSP) „átlátnak” a nem túl nagy vízcseppekből álló felhőkön. Ezekkel lehetőség van a csapadék mennyiségének becslésére, a hó és jég detektálására, a talaj-nedvesség becslésére, Az ERS műholdak radarjaik segítségével képesek a tengerfelszín közelében fújó szél meghatározására a hullámzás megfigyelése alapján.

16.4. A geoszinkron műholdak

Ahogy az előzőekben láthattuk, a műholdak akkor maradhatnak egyensúlyi (folyamatos, új energia befektetést nem igénylő) földkörüli tehetetlenségi pályáján, ha a keringésükből eredő centrifugális erő a rájuk ható gravitációs erővel egyensúlyt tart. Minél távolabb van a pálya a földfelszíntől, annál kisebb szögsebességgel kell keringenie, következésképp annál kisebb erő szükséges a pályán tartásához. 34.794 km magasan a műhold egyensúlyi szögsebessége ($0,72921 \cdot 10^{-4}$ radián/s) pontosan egyenlő a Föld tengely körüli forgásának szögsebességével. Ha tehát, az egyenlítő adott pontja fölé ebben a magasságban állítanak pályára egy műholdat, akkor az a Földdel együtt keringve *égitestünkről nézve állandóan az adott pont fölött tartózkodik majd* (16.4. ábra). Mivel pályájuk ilyenképpen a Földhöz igazodik e műholdakat *geoszinkron* (Földhöz igazodó), vagy más szóval *geostacionárius* műholdaknak nevezzük.

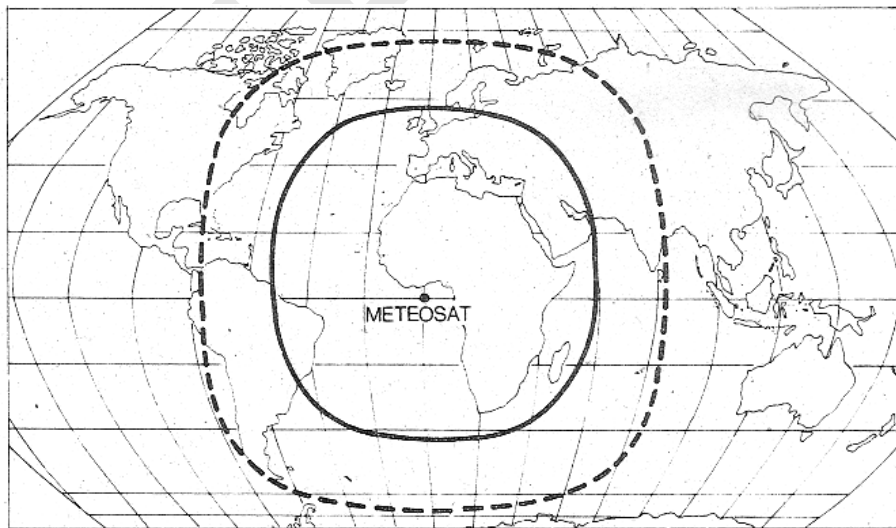


16.4. ábra.

A műhold geoszinkron pályára állítása Cape Caneveralból

1. indítás. 2. a második fokozat kiég. 3. a harmadik fokozat beforgatása az Egyenlítő irányába. 4. helyzetstabilizálás. 5. a harmadik fokozat működése. 6. a műhold eléri a 34.794 km-es magasságot. 7-8. helyzetstabilizálás az Egyenlítő felett. 9. végső pályaelőmozdítás az apogeum (földtávolsági) pontban. 10. az apogeum hajtómű begyújtása. 11. precíz helyzetbeállítás az Egyenlítő felett kiserakétákkal. 12. a műhold fix pozíciója geoszinkron pályán az Egyenlítő felett (forrás: Almár 1981)

A meteorológiai megfigyelő eszközök között kiemelt fontossággal rendelkeznek, mivel *nagy távolságuk miatt a felszín nagy összefüggő területén teszik lehetővé az időjárás időben folytonos követését.* Az Európa nagy részét lefedő műholdképeket például a Guineai-öböl felett elhelyezkedő METEOSAT műhold készíti (16.5. ábra).



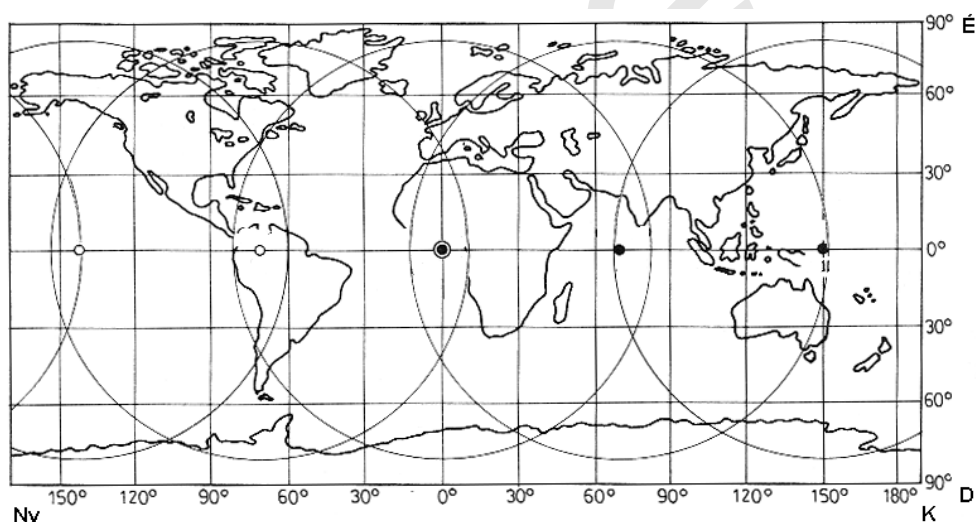
16.5. ábra

A METEOSAT műhold képfedési (folytonos vonal) és távközlési (szaggatott vonal) sávja (forrás: Czelnai 1993 alapján)

Ahogy a fenti ábrából látható a műhold kb. 50 földrajzi fok sugarú területről tud használható minőségű felhőképeket készíteni. 4 műhold tehát képes az egyenlítő-menti terület lefedésére. A jelenleg pályán levő geoszinkron műholdak így egészében képesek Földünk trópusi és mérsékeltövi területeinek lefedésére (16.6. ábra és 16.1. táblázat).

16.1. táblázat
A geoszinkron műholdak legfőbb jellemzői

Név	Felbocsátó ország	Helyzete
GOES-W	USA	Ny.h. 140°
GOES-E	USA	Ny. h. 70°
METEOSAT 8-9 (MSG 1-2)	EU	K.h. 0°
METEOSAT 6-7	EU	K.h. 10°; K.h. 57°
GOMS (ELEKTRO)	Oroszország	K.h. 70°
METSAT	India	K.h. 70°
FY-2	Kínai Népköztársaság	K.h. 105°
GMS (Himawari)	Japán	K.h. 140°



16.6. ábra.
Öt geoszinkron műhold által biztosított globális lefedettség

A geoszinkron meteorológiai műholdak tehát mindig a földfelszín ugyanazon helyéről gyűjtenek adatokat, 15-30 percenként szolgáltatva mérési eredményeket. Az Atlanti-európai térségről 1977-től az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA), majd 1987-től EUMETSAT METEOSAT (Meteorological Satellite) műholdja készít felvételeket. A sorozat tagjai az Egyenlítő és a 0 hosszúsági kör metszéspontja, a Guineai-öböl fölött helyezkednek el.

A METEOSAT első sorozatának műholdjai 3 hullámhossz tartományban készítettek képeket:

- látható tartomány (0,4-1,1 μ m)
- infravörös tartomány (10,5-12,5 μ m)
- a vízgőz elnyelési sávja (5,7-7,1 μ m).

A felbontás a látható fény tartományában a legjobb (2,5 \times 2,5 km a műhold alatti pontban, hazánk térségében 3 \times 3,75 km; másutt 5 \times 5 km, ill. 6 \times 7,5 km).

Az EUMETSAT 2003-ban pályára állította a korábbinál több és fejlettebb műszerrel felszerelt meteorológiai műholdat, az MSG-t (Meteosat Second Generation – második generációs Meteosat). A szervezet 2004 februárjától kezdte meg a műhold adatainak operatív szolgáltatását. 2005 decemberében bocsátották fel az MSG-2 (Meteosat 9) műholdat, amely 2006 elejétől az elsődleges adatszolgáltatóvá lépett elő a korábbi Meteosat műholdak helyét átveve a Guineai-öböl felett. Az MSG-1 (Meteosat 8) tartalékba került, meghibásodás esetére, míg a sorozat korábbi, még üzemelő tagjai (Meteosat 5, 6, és 7) Az Indiai-óceán fölé települnek át, javítva a globális lefedettséget. A Meteosat 5-öt 2006 végén kivonják a szolgáltatásból.

Az MSG térben, időben és spektrálisan is jobb felbontású képeket állít elő, mint elődei. Félóra helyett negyedóránként, 5 ill. 2,5 km helyett 3 és 1 km-es térbeli felbontásban, 3 sáv helyett 12 sávban készít felvételeket (16.2. táblázat).

A műhold egyik új műszere a GERB (Geostationary Earth Radiation Budget), egy pásztázó radiométer, ami két sávban gyűjti az adatokat. Méri a Napról a Földre érkező sugárzás mennyiségét és méri a földfelszín visszaverését és kisugárzását. Ezzel segít a klímaváltozás nyomonkövetésében. A másik új eszköz a műhold fedélzetén a SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), mely a látható és infravörös tartományban készít felvételeket.

Az infravörös tartományban mért adatokból derült időben a talajfelszín sugárzási hőmérséklete származtatható, ami a téli időszakban különösen fontos a fagy előrejelzés miatt. *Ha a felhőzet zárt, a felhőtető hőmérséklete mérhető.* A felhők rövidhullámú visszaverő képessége a felhőzet magasságától, fejlettségétől függően eltérő. A látható tartományban készült képeken jól elkülönülnek tehát a felhőtípusok. A látható tartományban, infravörös tartományban és a vízgőz elnyelési tartományában készült felvételek kombinálása, az ún. *multispektrális felhőanalízis* lehetővé teszi *a felhőzet magasságának és fejlettségének meghatározását.* Továbbá, mivel a képek szinte folyamatosan (15 perces időközökben) állnak rendelkezésre a műhold által lefedett területről, így *a felhőzet fejlődésének folyamata* (például a zivatargócok kialakulása) *és mozgása is nyomonkövethető.* A felhőzet mozgása alapján megállapítható *a felhőzet magasságában uralkodó szél sebessége és iránya.*

Működési programjuk a kvázipoláris műholdakéhoz hasonlóan sokrétű: *képek felvétele, adattovábbítás, adatgyűjtés, adatszolgáltatás* tartozik bele.

16.2. táblázat
 Az MSG (Meteosat 8-9) műholdak képfelvevő egységének csatornái.
 (forrás: www.eumetsat.int/Home/Main/Media)

Csatorna	Spektrális sáv (µm)	Térbeli felbontás (km)	Felhasználás
HRV 0,75	0,6-0,9	1	Felhőszerkezet, szél
VIS 0,64	0,56-0,71	1	Felhő a szárazföldek felett, szél
VIS 0,81	0,74-0,88	1	Felhők a vízfelületek felett, vegetáció
NIR 1,6	1,50-1,78	3	Felhők a hó és jégfelszínek felett
MIR 3,8	3,48-4,36	3	Alacsony szintű felhők
IR 6,2	5,35-7,15	3	Magas vízgőztartalom
IR 7,3	6,85-7,85	3	Közepes vízgőztartalom
IR 8,7	8,30-9,10	3	Teljes vízgőzmennyiség mérése
IR 9,7	9,38-9,94	3	Teljes ózon tartalom mérése
IR 10,8	9,80-11,80	3	Felszín és felhőtető hőmérséklete, szél
IR 12,0	11,00-13,00	3	Felszín hőmérséklet korrekció
IR 13,4	12,40-13,40	3	Magasabb szintű felhők vizsgálata

Képek felvétele ún. Spin/scan radiométerekkel történik: a szerkezet a radiométer távcsövével együtt körben forog a Föld tengelyével párhuzamos tengely körül, miközben a távcső szögállása az Egyenlítő síkjához képest minden körülfordulásnál lépésszerűen változik. Percenkénti 100 fordulat esetén 20-30 perc alatt készül el a teljes képfedési zóna letapogatásával. A képek felbontása a látható fény tartományában 1-2,5 km, az infravörös sávban 5-7 km.

Az adatok előfeldolgozása nagyteljesítményű fedélzeti számítógépekkel történik. A vevőállomással nem rendelkező felhasználók is közvetlenül hozzájuthatnak a műholdak ilyen előfeldolgozott analóg képeihez automatikus képtovábbítási technológiával (APT– Automatic Picture Transmission) a műholdak S-sávjában (az 1691 MHz-es frekvencián). Általános az is, hogy a nagyobb nemzetközi közpon-

tokban kidolgozott analíziseket és előrejelzési térképeket a geoszinkron műholdakra visszasugározzák és azok APT-formátumban kisugározzák a kisebb felhasználók számára.

Az előfeldolgozott megfigyelési eredmények továbbítása a hatalmas adattömeg következtében speciálisan felszerelt földi vevőállomásokat igényel, nagyteljesítményű számítógépekkel, mert a felhasználhatóvá tételhez tónus korrekciókat kell végezni, rájuk kell helyezni a földrajzi koordinátákat, a kontinensek partvonalait, az egyes kivágatoknak megfelelő formátumot kell létrehozni stb.

Az adatgyűjtés az jelenti, hogy a műholdak különböző földfelszíni mérő- és adatgyűjtő platformok (automata állomások, bóják, ballonok, hajók, repülő) adatait veszik és továbbítják a kijelölt adatfeldolgozó központok számára. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a METEOSAT analóg és digitális, és a NOAA digitális adásait, 1992-től rendszeresen veszik, feldolgozzák és felhasználják az előrejelzések készítésénél.

16.5. A földi szegmens

A meteorológiai műholdak működtetése sokféle létesítmény (felbocsátó és irányító állomások, központi adatfeldolgozó állomások, felhasználó állomások stb.) rendszerének fenntartását igényli.

A műholdakat üzemeltető országok központi állomásai vezérlik a műholdak működését, illetve elsődleges feldolgozás céljából veszik azok nyers mérési adatait. Meghatározott időközönként (a kvázipoláris műholdaknál, amikor azok az állomás közelébe érnek) az állomás hívójelet sugároz ki, amivel utasítja a műholdat a mért adatok leadására.

A központi állomásokhoz kapcsolt *adatfeldolgozó központokban* történik például a kvázipoláris műholdak szondázási eredményeinek, a tengerfelszín hőmérsékleti adatoknak, a sugárzási egyenleg-mérési adatoknak a feldolgozása, vagy a geoszinkron műholdak felhőfelvételeinek kiértékelése, a különböző magassági szintek szélmezejének meghatározása is.

A műholdak képesek a saját analóg képeik, illetve a központi állomásokról visszasugárzott előrejelzések továbbítására az általuk lefedett távközlési tartományon belül (16.5. ábra). Ezeket a jeleket egyszerűbb állomásokon is tudják fogni azokban az országokban, amelyek nem működtetnek önállóan műholdakat. Emellett a műholdak továbbítják egyes felszíni mérőplatformok (automata állomások, bóják) jeleit a központokba.

A felhasználók vevő állomásai ennek megfelelően többfélék. VHF-vevőállomások a 136-138 MHz-es frekvencián a kvázipoláris műholdak által sugárzott adatok (például látható és infravörös APT képek) vételére alkalmasak.

Az S-sávban működő vevőállomások a kvázipoláris műholdak digitális formátumú vertikális szondázási adatainak és nagyfelbontású HRPT képeinek vételére,

illetve a geoszinkron műholdak által sugárzott analóg és digitális információk vételére képes speciális vevőállomások.

Műholdaknak jelentő földi mérőplatformok olyan automata, vagy félautomata eszközök, amelyek bizonyos meteorológiai paraméterek helyszíni, folyamatos mérését végzik és adataikat a műholdak segítségével juttatják el a feldolgozást végző központokba. Két csoportjuk van: a saját program alapján, meghatározott időközönként sugárzó platformok és a lehívható, adataikat a műhold által kibocsátott jelre leadó mérőplatformok.

DUPRESS

Felhasznált irodalom

- Almár I. (főszerk.) (1981): *Űrhajózási Lexikon*. Budapest.
- Bencze P.–Major Gy.–Mészáros E. (1982): *Fizikai meteorológia*. Budapest.
- Czelnai R. (1993): *Bevezetés a meteorológiába I. Légekörtani alapismeretek*. Budapest.
- Czelnai R. (1993): *Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei*. Budapest.
- Czelnai R. (1995): *Az Országos Meteorológiai Szolgálat 125 éve (1870–1995)*. Budapest.
- Dombai F. (1998a): A SAFIR – villámlás-lokalizációs hálózat Magyarországon. *Légekör* 43/4:16–22.
- Dombai F. (1998b): Villámlás-lokalizációs hálózat Magyarországon. *Természet Világa* 129. I. különszám: 31–34.
- Dombai F. (2006): Adalékok a radarmeteorológia hazai történetéhez: automatizált radarmegfigyelések Magyarországon. *Légekör* 51/1:13–20.
- Dombai F.–Tánczer T. (1995): Távérzékelés. In: Simon I.–Tánczer T. (szerk) *Fejezetek a magyar meteorológia történetéből 1971–1995*. Budapest. 121–142.
- Horváth E.–Kapovits A.–Weingartner F. (1987): *Meteorológiai megfigyelések kézikönyve*. Budapest.
- Huler, S. (2004): *Defining the Wind : The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry*. Crown.
- Károssy Cs. (1999): *Légekörtan I. Általános meteorológia*. Szombathely.
- Kapovits A. (2006): A radarmeteorológia meghonosítása Magyarországon. *Légekör* 49/3: 18–22.
- Kerényi J. (1998): Műholdas adatok az időjárás előrejelzésében. *Természet Világa* 129/1. különszám: 28–30.
- Lamb, H. H. (2002): *Climate, History and the modern World*. London és New York.
- Makra L. (1995): *Meteorológiai műszertan*. Szeged.
- Mezősi M. (1995): Meteorológiai megfigyelések. In: Simon I.–Tánczer T. (szerk) *Fejezetek a magyar meteorológia történetéből 1971–1995*. Budapest. 75–121.
- Nagy J.–Gyarmati Gy.–Dombai F. (1998): Radarok az időjárás előrejelzésében. *Természet Világa* 129. I. különszám: 25–27.
- Nyitrai L. (1998): A földfelszíni megfigyelések automatizálása napjainkban. *Légekör* 43/2:19–23.
- Nyitrai L. (2000): Földfelszíni megfigyelések automatizálása napjainkban II. rész. AQLC 50-es klímaautomaták telepítése. *Légekör* 45/3:21–26.
- Péczeli Gy. (1979): *Éghajlat*. Budapest.
- Robinson, N. (1966): *Solar radiation*. Amsterdam, London és New York.

- Szász G.–Tőkei L. (1997): *Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek*. Budapest.
- Tar K. (2005): *Általános meteorológia*. Debrecen.
- Tóth R.–Bereczky L. (1993): A földfelszíni megfigyelések automatizálása. *Légekör* 38/4:22–25.
- Varga B. (2005): Szélprofil vizsgálatok Magyarországon. In: Tóth T.–Baros Z.–Bíróné Kircsi A. (szerk.) *A megújuló energiák kutatása és hasznosítása az Európai Unió újonnan csatlakozó országaiban*, (A Magyar Szélenergia Társaság Kiadványai 3. sz.). Debrecen. 71–77.
- Varga B.–Németh P.–Dobi I. (2006): Szélprofil vizsgálatok eredményeinek összefoglalása. In: Dobi I. (szerk.) *Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei*. Budapest. 7–20.
- Wantuch F. (2000): Egy éve működik a hazai villámlás lokalizációs rendszer. *Légekör* 45/1:34–36.
- World Meteorological Organization (1996). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, Sixth Edition, WMO-No. 8. Genf.
- Zsembeli J. (2001): *A felszínalakítás és takarás hatása a talaj vízmérlegére és hőmérsékletére liziméterekben* (doktori értekezés, kézirat). Debrecen.

Internetes források:

- <http://www.haditechnika.hu/ARCHIVUM/198004/800414.htm>
http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/31_2-4.pdf
http://www.honvedelem.hu/honvedseg/logisztika/mh_meteorologiai_szolgalat
http://www.mindentudas.hu/doc/vissy_nyomtathato.rtf
<http://www.met.hu>
http://www.srh.weather.gov/srh/jetstream/synoptic/additional_symbols.htm
<http://www.wmo.ch>
www.boreas.hu
www.eumetsat.int/Home/Main/Media
www.innomet.hu
www.lufft.de
www.msc-smc.ec.gc.ca/projects/nrp/site_images/woodlads
www.wilsonalmanac.com