

Наталија Јанц

МЕТЕОРОЛОШКА МЕРЕЊА - СВЕДОЧАНСТВА О АТМОСФЕРСКИМ ПРОМЕНАМА

Човек је осетљив на метеоролошке промене. Многе његове активности, од пољопривреде до индустрије, од спорта до свемирских истраживања, директно су зависне од времена.

Нешто теже се препознаје утицај самог человека на климу. Стално прилагођавање површине земље према својим потребама утиче на карактеристичне промене неких слојева атмосфере. Тако, на пример многе урbane зоне формирају властиту климу, која је врло различита од климе градске околине, што се огледа у тенденцији повећања температуре, падавина, облачности, количина талога.

Живот, здравље и удобност људи веома зависе од температуре, влажности, брзине ветра, зрачења, притиска и аеросола. Екстремне вредности имају и снажне ефекте на человека, тако да су сви ови фактори, са изузетком влажности, у стању да наруше здравље. Велики утицај времена на пољопривреду, саобраћај и индустрију, као и на самог человека, објашњава зашто је одувек владало велико интересовање за метеорологију.

Развој физике и механике у XVII веку довео је до радикалне трансформације метеорологије. Као и остале гране науке, напредак метеорологије је зависио у великој мери од проналaska одговарајућих инструмената за мерење и бележење појава којима се она бави, тако да се већ тада покушало са појединачним посматрањем промена. Настанак индуктивних метода у изучавању природних појава као и усавршавање и проналасак метеоролошких инструмената, отворио је пут према егзактном изучавању атмосфере. Несумњиво, међу метеоролошким инструментима су најзначајнији термометар и барометар.

МЕРЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ

Температура изражава степен загрејаности тела. Температура мора да се јасно разликује од топлоте, при чему је топлота облик енергије, док је температура фактор који утиче на постојање енергије. Температура се мери различитим скалама при чему су у најчешћој употреби Целзијусова, Фаренхајтова скала и апсолутна температура.

Јединица за мерење температуре се одређује тако што се најпре одреде две основне вредности, од којих је једна нула а друга стои део или неки други број. После тога се интервал између те две вредности евидистантно подели на одређени број јединица.

Термометар

Обично се Галилеју приписује проналазак првог термометра¹ и сматра се да је био први савремени научник који је размишљао о коришћењу ширења ваздуха за мерење температуре. То почива углавном на основу писања његових пријатеља и ученика, пошто Галилејева документа садржи само једно случајно помињање принципа рада овог инструмента. Галилео Галилеј је пронашао инструмент око 1592, а 1603. га је користио и у својим предавањима. То је био ваздушни термометар, односно ваздушни термоскоп, којим је Галилеј експериментисао у својим млађим годинама. Састојао се од цеви отворене на доњем крају која је завршавала у затвореној стакленој посуди на горњем крају. Посуда је садржавала ваздух и вода у цеви се кретала на доле или на горе, већ према томе да ли се ваздух у посуди ширио или скупљао с рашћењем или опадањем температуре.

У књизи "Математичке рекреације" из 1624. Ларешон први пут уводи термин "термометар".

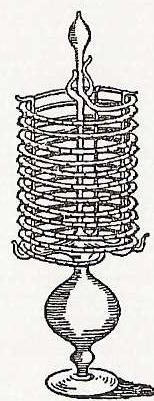
Један побољшани ваздушни термометар конструисао је Ото фон Герике. Састојао се од бакарне сфере која садржи ваздух. На сферу је била прикачена једна U-цев која је садржала алкохол што је запечатило посуду. На алкохолу је био пловак одакле је водио један конац преко калема и подржавао фигурицу малог анђела који је показивао температуру. Кад се ваздух у сferи проширио алкохол у отвореној U-цеви се подигао и анђео се спуштао, обратно, када се ваздух скupљао анђео се пео.

Герике је користио скалу од 6 "степени" од "велике топлоте" до "велике хладноће". Као експериментатор са барометрима он је наравно знао за променљивост атмосферског притиска па је ставио једну мембранизу у сферу свог термоскопа да би компензовao варијације атмосферског притиска одговарајућим варијацијама у запремини обухваћеног ваздуха.

Велико побољшање у конструкцији термометара са течношћу приписује се великим војводи Фердинанду II од Тоскане, једном од оснивача фирентинске Академије дел Чименто. Он је водом заменио обојени алкохол који се користио као термометарска течност, а цев херметички затворио. Ово побољшање је уведено можда већ 1641, а сигурно до 1654. Овакви термометри су били у редовној употреби код чланова фирентинске академије, познати као фирентински термометри. Подеоци ових термометара били су на самом стаклу а не на посебној скали (сл. 1). Но како су поделе била означене финим стакленим зрнцима, уместо танким линијама, неке од предности инструмента биле су изгубљене. Академија је користила четири типа термометара који су имали од 50 до 300 подељака, већ према степену захтеване тачности. Како је цев била пре дугачка ако би се оставила да буде права, била је обликована у спирални облик (сл. 2).



Слика 1.
Фиданчики спирални
термометар



Слика 2
Фиданчики спирални
термометар

¹ Од. гр. *θέρμος*, *thermos* = топао + *μέτρον*, *metron* = мера, мерило

Различити инструменти су се упоређивали осигуравањем истог односа између величине посуде, пречника цеви и количине алкохола. Заиста је необично да ови термометри нису имали фиксних тачака. Једини покушај који је фирентинска академија учинила да осигура фиксне тачке састојао се у узимању најниже позиције алкохола у термометру регистроване у Тоскани усред зиме и највише тачке регистроване усред лета. Ове су тачке отприлике поклапале са 16-тим и 80-тим подељком на термометру са 100 подељака.

Фирентински термометри су се брзо проширили Европом.

Хајгенс је 1665. предложио стандардизацију термометара тиме што би се усвојила одређена пропорција између капацитета посуде и калибра цеви и узимајући тачку мржњења воде или тачку кључања воде као фиксну тачку одакле би се могли рачунати подељци. Пожељност експерименталног дефинисања две фиксне тачке и дељења међубласти у одређен број једнаких степени схватио је Х. Фабри 1669, који је користио снег и највећу летњу врућину да екстремне температуре; затим Далансе који је предложио тачку мржњења воде и тачку топљења бутера као фиксне тачке, као и К. Реналдини који је припадао Академији дел Чименто и који је предложио обе тачке - тачке топљења леда и тачку кључања воде и делећи међупростор у дванаест једнаких делова.

Није познато ко је први употребио ширење живе за термометар. Фирентински академици су експериментисали са животом и нашли да се она мање шири него вода, мада брже реагује на промену температуре. Масгрејв је описао клиничке термометре са животом.

Халеј је експериментисао са термалним ширењем воде, живе и алкохола да види шта ће најбоље да послужи за термометре. Нашао је да вода споро реагује на грејање и хлађење али коначно показује знатне промене у запремини. Али, висока тачка мржњења воде истиснула ју је из употребе у нашој клими. Жива је имала предност што је одмах одговарала на грејање али је сразмерно ширење живе било мање него код воде, вински шпиритус се врло осетно ширио али интензивно кључао пре него што је вода у опколној посуди досегла тачку кључања. Размишљајући о резултатима својих експеримената Халеј је закључио да ниједан термометарски медијум не може да се такмичи са ваздухом, и изгледа да је он зачетник идеје поновног оживљавања ваздушног термометра уз одговарајуће мере против његових недостатака.

Фаренхајтово интересовање за метеорологију довело га је до конструкције и побољшања термометара, те је око 1714. увео уобичајени тип термометра који је још увек познат под његовим именом. После рада са алкохолом у једном периоду, Фаренхајт је прихватио живу као термометарску течност, узимајући за своје фиксне тачке температуру топљења леда и температуру крви. Нулу своје скале узео је испод температуре топљења леда за половину интервала између двеју фиксних тачака, при чему је прву обележио са 22,5 степена при чему је тачка топљења леда била 7,5 степени. Ради удобности, сваки степен је поделио у четири дела што је дало бројеве 30 и 90; касније је 90 заменио са 96 и тада је тачка топљења леда дошла на 32 степена а тачка кључања воде на 212 степени, као што је на скали која се и данас користи. Допуштајући чињеницу да се тачка кључања воде мења са атмосферским притиском, Фаренхајт је конструисао термометар са којим је у комбинацији био барометар који је требало да послужи не за мерење висина него само за метеоролошке циљеве.

Скала од 80 степени између тачака мржњења и кључања воде уведена је од Реомира 1730. Увео је ову скалу ($^{\circ}\text{R}$) када је уочио да се алкохол стандардне кон-

центрације са 1000 запреминских делова шири на 1080 делова при грејању од тачке мржњења до тачке кључања воде.²

Скалу од 100 степени изумео је 1742. године Целзијус. Целзијус је означио темпе-ратуру топљења леда са 0, а са 100 тачку кључања воде.

За претварање података са једне скале у другу може се користити следећа формула:

$$t_c = \frac{5}{4} t_R = \frac{5}{9} (t_F - 32)$$

где су

t_c - температура у степенима по Целзијусовој скали ($^{\circ}\text{C}$)

t_R - температура по Реомировој скали ($^{\circ}\text{R}$)

t_F - по Фаренхајтовој скали ($^{\circ}\text{F}$)

Поред ових, постоји и скала апсолутне температуре. У њој је апсолутна нула при најмањој могућој температури једнака $-273,15^{\circ}\text{C}$, а један степен је једнак као код Целзијусове скале. Степени у апсолутној скали означавају се са K (Келвин) у част великог енглеског физичара лорда Келвина. Температура изражена у Целзијусовој скали означава се обично са t , а апсолутна са T . На основу овога важи релација

$$T = 273,15 + t$$

Све ове температуре важе само при нормалном ваздушном притиску који износи $1013,25\text{ mb}$ (760 mmHg) јер, на пример, вода испара на 101°C при притиску од $1050,12\text{ mb}$, а на 91°C при притиску од $727,62\text{ mb}$.

Термометри раде на принципу размене топлоте између двају тела у чијем систему после извесног времена наступа топлотна равнотежа, и тада се каже да они имају исту температуру. Са променом температуре мењају се, у мањој или већој мери, све физичке карактеристике. Због тога се температура неког тела мери тако што се оно доводи у топлотну равнотежу са другим чије је понашање приликом температурних промена познато, тј. термометром. Претпоставља се да ће термометар примити температуру тела јер има знатно мањи топлотни капацитет па не може да својом температуром утиче на температуру околине. Промена температуре термометра зависи од количине топлоте коју прима.

Термометар не прима температуру околине тренутно, већ у зависности од свог кофицијента инерције, на шта утиче његова маса, површина резервоара итд.

У зависности од тога која се промена карактеристике тела користи настала услед промена температуре, термометри се деле на следеће врсте:

1. Гасни и термометри са течношћу, засновани на принципу промене запремине гаса и течности са променом температуре.

2. Деформациони термометри, засновани на принципу промене линеарних димензија чврстих тела са променом температуре; или се та промена комбинује са променом запремине течности.

3. Термометри отпора, засновани на промени електричног отпора проводника и полупроводника са променом температуре.

4. Термоелементи, засновани на промени електромоторне силе термоелемената са променом разлике температуре спојева.

² Реомирова скала има данас само историјског значења. У англосаксонској техничкој литератури среће се такође $^{\circ}\text{R}$, али да означи Ранкинов степен, који означава апсолутну температуру изражену у Фаренхајтовој скали, у којој 0°C одговара $491,67\text{ }^{\circ}\text{R}$ (прим. ред.).

У метеорологији се данас користе углавном све ове врсте термометара, само гасни термометар има искључиво лабораторијски значај.

Деформацијски термометар

У метеорологији се најчешће примењују две врсте деформационих термометара: биметални и манометарски, од којих се биметални чешће користе.

Пријемни део биметалног термометра је биметална плочица, односно две затопљене металне плочице са различитим коефицијентима линеарног ширења. Приликом промене температуре плочица се савија услед различитог ширења оба метала.

На инструментима помоћу којих се температура мери на овом принципу поставља се обично биметални прстен који захвата око 270° . Један крај тог непотпуног прстена је учвршћен, а кретање другог краја се користи за мерење температуре.

Линеарна веза између промене лука и температуре искоришћена је при конструкцији термографа, инструмента за мерење и регистровање температуре.

Термометри с течностима

Ови термометри се састоје од једног стакленог резервоара напуњеног течношћу који се продужује у једну капиларну цев затопљену на врху. Температурни коефицијент ширења течности је већи него за стакло и приликом загревања ниво течности у капилару се подиже. Уз капилару је причвршћена једна скала, помоћу које се одређује ниво течности у капилари, а тиме и температура. Причвршћивање скале је веома важно јер се она не сме померати у односу на капилару. Сви метеоролошки термометри израђују се од специјалног стакла и подвргавају се приликом израде термичкој обради.

Као термометарске течности у метеоролошким термометрима најчешће се користи жива, алкохол и толуол. Жива има предност јер поседује знатно мању специфичну топлоту и већу топлотну проводљивост од остале две течности, а то значи да се брже прилагођава температури средине. Недостатак јој је у малом коефицијенту ширења и високој тачки топљења.

Набројаћемо неке врсте ових термометара.

а) Живин станични термометар

Ово је у метеорологији основни термометар за одређивање температуре ваздуха. Резервоар термометра је лоптастог облика величине 9-12 mm. Пресек капиларе је кружан са спољним пречником мањим од 2,5 mm. У термометар је уметнута скала од млечног стакла са подеоцима на сваких $0,2^{\circ}$, а бројевима је обележено на сваких 5 $^{\circ}$. Термометар се поставља вертикално у метеоролошком закону.

б) Алкохолни термометар

Како се живина смрзава на температури око -39° , за одређивање низких температура неопходно је коришћење неке друге термометарске течности. У ту сврху се користи алкохол. Ови термометри су грађени слично станичном са резервоаром у облику цилиндра. Термометар се поставља вертикално поред станичног термометра, и осматрања на њему почињу упоредо са осматрањима живиног термометра чим се температура спусти до -20° . Таква паралелна осматрања су неопходна да би се утврдила поправка због предстилације.

в) Максимални и минимални термометар

За одређивање екстремних вредности температуре ваздуха у неком одређеном периоду, обично у току једног дана, на метеоролошким станицама постоје посебни термометри.

Максимални термометар служи за одређивање највише температуре. Капилара таквог термометра је сужена при дну, тако да жива приликом смањивања температуре не може да прође кроз ово сужење у резервоар. Зато да би термометар наставио да показује стварну температуру мора претходно да се стресе. Максимални термометар за време мерења лежи на посебном постољу приближно хоризонтално, односно са мало подигнутим горњим крајем.

Минималним термометром се одређује најнижа температура. Поставља се увек у хоризонтални положај. Резервоар минималног термометра је виљушкастог облика и напуњен је алкохолом. Овај сложенији облик је потребан да би при истој запремини термометарске течности већа површина била изложена окolini и на тај начин се смањила инерција термометра. У простору капиларе где је алкохол налази се мали стаклени штапић за показивање минималне температуре, а због површинског напона не може изаћи у преостали део капиларе где се налази алкохолна пара. Штапић не мења свој положај у капилари када температура ваздуха расте али за време опадања температуре течност се скупља и мениксус га повлачи наниже. Због тога крај штапића који је ближи мениксусу показује увек нижу температуру која влада у интервалу времена од последњег читања, када је штапић принудно доведен до површине мениска.

Термометри засновани на промени електричног отпора

Термометри засновани на промени електричног отпора могу бити од проводника и полупроводника. Отпор проводника расте с температуром док отпор полупроводника опада с порастом температуре.

Пошто се мерење температуре помоћу ових термометара своди на мерење отпора, то тачност мерења температуре одређује тачност мерења отпора. Због тога се мерење температуре изводи начеће помоћу Витстоновог моста јер је он најподеснији за прецизно одређивање отпора. При избору отпора моста важну улогу игра максимална јачина струје која се сме пустити кроз термометар. Ако је јачина струје кроз термометар већа од максималне, термометар ће се прегрејати што ће проузроковати грешке у мерењу.

Код појединачних врста полупроводника постоји врло изражена зависност електричног отпора од температуре. Полупроводници су иначе врло широка класа чврстих тела, који се по својим особинама електричне проводљивости налазе негде између метала и диелектрика. Зато се и њихова електрична проводљивост мења у врло широким границама. Постоје полупроводници код којих електрична проводљивост скоро да не зависи од температуре и други код којих се проводљивост мења са температуром знатно више него код метала. За ову врсту полупроводника уобичајен је назив термистори. Код већине термистора електрични отпор опада са порастом температуре. То значи да је температурни коефицијент отпора негативан и обратно сразмеран квадрату апсолутне температуре.

Термоелектрични термометри

Ако се споје два различита проводника у затворено коло и њихови спојеви се држе на различитим температурама, у колу ће се појавити електрична струја.

Метали се могу поређати у следећем термоелектричном низу: Bi, Co, Ni, K, Pd, Na, Hg, Pt, Al, Mg, Sn, Cs, Ag, Au, Cu, Zn, Cd, Mo, Fe, Sb, Si. Ако се састави термоелемент од ма која два наведена метала, први од њих ће бити негативан, а други позитиван. Смер струје се добија тако што на хладнијем споју струја тече од позитивног према негативном проводнику. Уколико су два проводника даље један од другог у горе наведеном реду, утолико ће термоелемент састављен од њих имати већу електромоторну силу.

У метеорологији се термоелектрични термометри примењују за мерење температуре ваздуха, тла и воде, а такође и за мерење градијената, где су незаменљиви у погледу једноставности конструкције.

МЕРЕЊЕ ВАЗДУШНОГ ПРИТИСКА

Притисак је сила по јединичној површини којом делује флуид на површини која је са тим флуидом у контакту, а пошто сила на јединичну површину у ма којој тачки флуида не зависи од оријентације те јединичне површине у флуиду, следи да није потребно навести никакав смер када се говори о притиску у некој тачки флуида, тј. притисак је скаларна величина. Притисак који врши ветар веома је мали у поређењу са атмосферским притиском; на пример ветар јачине 6 по бофоровој скали врши притисак који је отприлике хиљадити део атмосферског притиска.

Атмосферски притисак се до недавно изражавао висином живиног стуба, чијом тежином се компензовао. Да би се искључио утицај промене висине стуба услед дејства земљине теже и температуре изводе се одређене редукције.

Као нормални атмосферски притисак сматра се онај који је компензован живиним стубом висине 760 mm, при температури 0°C, на географској ширини 45° и на нивоу мора. Та величина износи 10332,96 kg m⁻².

У метеорологији је као јединица притиска усвојен 1 mb (милибар). Он је у систему CGS једнак 10³ din cm⁻². У систему MKS притиску од 1 mb одговара 10² kg m⁻¹ s⁻².

Веза између милибара и висине живиног стуба изражене у милиметрима дата је формулом

$$1 \text{ mmHg} = \frac{(0,1 \text{ cm}^3 \times 13,596 \text{ g/cm}^3 \times 981 \text{ cm/s}^2)}{1 \text{ cm}^2} = 1,33 \text{ mb.}$$

Нормални притисак изражен у милибарима износи 1013,25.

Барометар

До средине XVII века појаве усисавања, као што је подизање воде у цеви пумпе, обично су се приписивале одбојности природе према празном (вакууму). Међутим, Галилеј је 1638. године указао на занимљиву чињеницу познату у његово време, да се вода у цеви обичне пумпе неће диди за више од 10 m над спољашњим нивоом.

Ово запажање навело је Галилејевог ученика Торичелија да испита до које висине може да се подигне жива која је отприлике 14 пута гушћа од воде. Очекивао је да ова висина може да буде само 14. део висине до које се подиже вода, и када је

на његову сугестију Вивијани извео експеримент, Торичелијева претпоставка се показала тачном. Апарат који су ова два истраживача користила састојао се од стаклене цеви дужине близу 2 m затопљене на једном крају и испуњене живом (сл. 3). Отворени крај је запуштен прстом и цев је тада окренута и урођена запушним делом у отворени суд са живом. Кад је прст уклонен живина површина у цеви спала је на ниво од око 76 см над површином живе у посуди, и остала на том нивоу остављајући на врху цеви празан простор који је касније добио назив Торичелијев вакуум. Торичели је претпостављао да је живин стуб уравнотежен притиском атмосфере на слободну површину живе а мале флуктуације у висини живиног стуба приписао је дневним флуктуацијама атмосферског притиска. Торичелијева рана смрт 1647. га је омела у доказивању ове хипотезе и у њеном супростављању другим хипотезама, а доктрина о *horror vacui* (страх од празнине) је била тако дубоко укорењена да су били неопходни уверљиви инструменти Паскала и Герикеа пре него што је она прогнана из физике.

Паскал је преко Мерсена сазнао за Торичелијеве експерименте и поновио их је и са живом и са водом. Он је у почетку нагињао да резултате припише *horror vacui* или се ипак приклонио Торичелијевој хипотези и дефинитивно је потврдио помоћу кључног експеримента за чију је идеју могао да захвали Декарту. Експеримент је септембра 1648. под Паскаловим надзором спровео његов зет Переје, који је барометром Торичелијевог типа, увек са истом цеви и истом живом, мерио притисак на узастопним станицама на путу ка врху Пиј де Дом у Оверњу. Висина живе је на свакој станици показивала прогресивно опадање са порастом висине. У међувремену је други барометар, који је био постављен у подножју планине и очитаван с времена на време од стране другог осматрача, показивао мале промене. Истовремена варијација висине са атмосферским притиском која је тада установљена указивала је на близку везу међу њима.

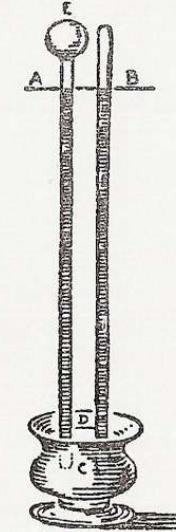
Роберт Бојл је око 1659. експериментално доказао да висина флуида у барометру зависи од спољног притиска. Поставио је барометар у звоно своје ваздушне пумпе, и приметио да се стуб спуштао кад се ваздух повлачио а подизао кад је приступ ваздуху поново омогућен.

Водени барометар је конструисао Ото фон Герике али није сигурно да ли независно или имитирајући Торичелија. Нашао је да је могуће, помоћу испражњеног звона, да се вода усисавањем подигне са тла до трећег спрата његове куће али не и до четвртог. Герике је приписивао подизање воде атмосферском притиску, а флуктуације нивоа дневним варијацијама тог притиска о чему је начинио дугачку студију.

Даље модификације Торичелијевог оригиналног облика барометра имале су за циљ да се направи инструмент који је компактнији и лако преносив или прецизнији у својим показивањима.

Назив "барометар"³ предложио је Мариот 1676. године.

Један од најпознатијих барометара је познат као Хуков барометар с точком. Хук је касније предложио метод за повезивање обичног барометра са казаљком и скalom, при чему је цев стајала у кориту са живом. Казаљка је функционисала подизањем



Слика 3
Торичелијев
барометар

³ Од гр. βάρος, baros = тежина

и спуштањем малих тегова који су у овом случају почивали на слободној површини живе у кориту.

У каснијем периоду се инсистирало на прецизности рада и очитавања инструмента и узимање у обзир разних врста грешака, од којих је неизбежна она која потиче од ширења живе у зависности од температуре ваздуха.

На метеоролошким станицама ваздушни притисак се мери скоро искључиво живиним барометром.

Анероид и барограф

Први анероидни барометар конструисао је Лисјен Види 1843. Анероид⁴ се користи за практичне потребе мерења притиска и у случајевима када није неопходна велика тачност. Пријемни елемент код анероида се састоји од спљоштених ваљака од танког лима чије су основе савијене у виду концентричних таласа. Из кутијица је одстрањен ваздух тако да промена притиска изазива њихову деформацију која се системом полуза преноси на казаљку, те се на скали очитава његова вредност. Код анероид-барографа, који ради на истом принципу, преко преносног механизма се врши регистровање промена притиска. Материјал кутија је осетљив и на промену температуре, па се компензација врши биметалном плочицом или гасом који се оставља у кутијицама. Анероид је лако преносив и подесан за употребу али је потребно његово често баждарење.

Барограф је барометар који сам бележи промене атмосферског притиска. Код једног типа живиног барографа кретање живе у барометру преноси се преко пловка на перо које је у контакту са покретном папирном траком намотаном на цилиндар који се покреће сатним механизмом. Постоје и барографи код којих се положај живиног менинска фотографски бележи.

МЕРЕЊЕ ВЛАЖНОСТИ ВАЗДУХА

Водена пара је увек присутна у атмосфери, али никада не чини више од једног делића укупне њене масе. Упркос томе, њено присуство је од великог утицаја на физичка својства атмосфере. Ваздух је увек влажан пошто садржи водену пару, иако на неким местима у врло малим количинама.

Релативна влажност U је мера за то да ли је ваздух влажан или сув. Према дефиницији је релативна влажност ваздуха температуре T једнака количнику између стварног (e) и максималног (E) притиска водене паре при температури T , и често се изражава у процентима, са максималном вредношћу од 100%.

$$U = e / E = 100 \cdot e / E \%$$

Када се употреби само термин влажносћ, обично се мисли на релативну влажност.

Хигрометар

Најранији хигрометар је изгледа направила Академија дел Чименто, која се ба-вила између осталог унапређивањем термометара. Овај хигрометар⁵ састојао се од шупљег

конуса од плуте са спољашњим омотачем од калаја. На дно конуса од плуте приододат је стаклени конус. Када би се инструмент напунио ледом, влага из ваздуха се таложила на стакленом конусу и одатле отицала у мерну посуду (сл. 4).

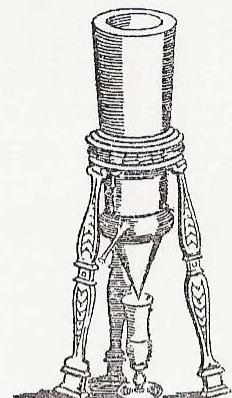
Молино је сачинио једноставан хигроскоп качећи на кожну врпцу металну куглу која је имала хоризонталан показивач који је прелазио преко градуисане скале како се врпца увртала или одвртала са варирањем влажности, радећи дакле на сличном принципу као данашње популарне метеоролошке кућице са баком и деком.

Хук је конструисао хигроскоп од "брка" дивљег овса. "Брк" је чекиња која расте из махуне која прекрива зрневље дивљег овса. Примећено је да кад је зрневље било зрело, тада је чекиња била савијена на једном крају за скоро прав угао и да уколико је тада дошло до влажења, савијени крај се постепено увртао у смеру остатка чекиње. Хук предлаже да се направи инструмент у облику кутије са покlopцем од слоноваче и странама од плетеног прућа, или још боље од покlopца од слоноваче који је само постављен на стубиће. На овај начин ваздух би имао слободан приступ "брку", чији је један крај фиксиран за основу апарата, док се други крај пео и пролазио кроз плочу од слоноваче и носио лаку казаљку, која је прикачена за "брк", и која се креће по градуиранијој скали. Да би се повећала осетљивост апарата, могло би се користити више "бркова" који су настављени једни на друге. Казаљка је показивала промене у влажности ваздуха крећући се постепено по скали како се савијени део "брка" окретао. Да би се могло узети у обзир комплетно обртање казаљке, Хук је предложио да игла покреће овај зупчаник за један зубац напред или назад сваки пут када казаљка пређе преко њега. Хук је установио да је овај инструмент веома осетљив. Казаљка би начинила пун круг ако се дунуло на "брк" и јасно је одговарала на топлоту ватре или Сунца.

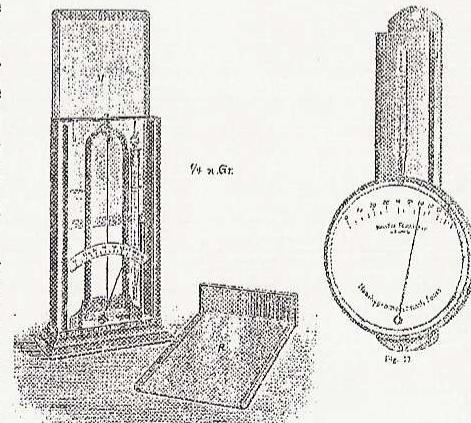
Хигрометар и хигрограф

Мерења су показала да дужина људске власи зависи од релативне влажности. Када је длака очишћена од масноће, водена пара се кондензује у порама и оне се попуњавају водом. Тако, са повећањем релативне влажности влас се издужује и обратно. Ова особина се примењује при конструкцији хигрометра, инструмента за директно мерење релативне влажности.

Хигрометри са длаком се конструишу тако да се длаке затегну између једне чврсте полузе и полузе са казаљком где се налази и тег да би се длаке затегле. Обично се поставља више длака заједно да не би дошло до кидања, а и зато што се оне не издужују једнако, па све заједно дају неко средње издужење (сл. 5).



Слика 4. Хигроскоп направљен у Академији дел Чименто



Слика 5. Хигрометар

⁴ Од гр. ἀ-, a = не + νηρός, neros = течан

⁵ Од гр. ὑγρός, hygros = влага

Хигрограф, инструмент за регистровање влажности ваздуха, заснован је на истом принципу као хигрометар, само је сноп длака већи јер је и преносни механизам гломазнији. Овај сноп је обично заштићен металном решетком.

За мерење влажности електричним путем обично се користи промена отпора пријемног елемента услед промене влажности ваздуха. За израду пријемног елемента се у том случају користи литијум-хлорид. То је хигорскопна материја чији се електрични отпор јако мења при промени влажности. Преимућство ових инструмената је у томе што се њихова показивања могу лако регистровати или слати на већу даљину па се користе и у радио сондама. Недостатак им је у томе што скала није линеарна, осетљиви су на промене температуре и што могу да буду оштећени капима воде.

Психрометар

Психрометријски⁶ метод је један од најраспрострањенијих начина за одређивање влажности ваздуха. Састоји се у томе да се на основу разлике у температури коју показују два станична живина термометра, од којих је једном резервоар обмотан чистом влажном крпицом, одреди влажност (сл. 6).

Када ваздух није засићен воденом паром, температура коју показује термометар са влажном крпицом је мања од температуре ваздуха, тј. од температуре коју показује суви термометар. Да би се овај процес убрзao, вештачки се повећава струјање ваздуха око резервоара термометара помоћу аспиратора са пропелером. На основу очитаних података из психрометријских таблица се израчунава притисак водене паре и релативне влажности ваздуха.

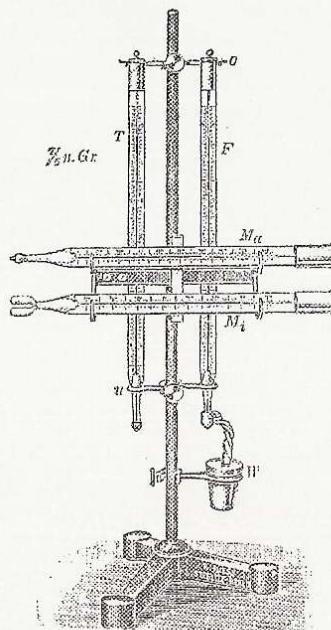
Психрометар се поставља у метеоролошки зајлон у метеоролошком кругу.

МЕРЕЊЕ ВЕТРА

Кретање ваздуха у атмосфери у односу на површину тла зове се ветар. Под појмом ветра обично се подразумева хоризонтално струјање, тј. хоризонтална компонента вектора брзине кретања ваздуха. Класични елементи тог струјања су брзина и смер.

Јединица за брзину ветра је m/s, али се у метеоролошкој пракси често изражава у чворовима, тј. морским миљама на сат. Једна морска миља је 1,852 km, а то је 3,6 km h⁻¹ = 1 m s⁻¹ = 2 чвора.

Брзина ветра може се донекле одредити и обичним посматрањем кретања предмета на земљи, као и таласањем мора. Енглески контра-адмирал Бофор посветио је почетком прошлог века овом питању посебну пажњу и користећи између осталог упоређење стања мора са бројем разапетих једара на једрењацима, предложио



Слика 6. Психрометар
T - суви термометар
F - влажни термометар
W - досуга са десаштеваном водом у којој је једним крајем урењена крплица
Ma - максимални шемометар
Mi - минимални шемометар
O - осаштак

1805. године посебну скалу за одређивање јачине ветра. Са малим изменама та скала се очувала до данас. Бофорова скала имала је 12 степени и још степен 0 за тишину. За орканске ветрове скала је у новије доба проширена са 5 степени, при чему последњи 17. степен представља орканске ветрове од 56 m s^{-1} и веће.

Ветроказ

Још је Хук конструисао инструмент за мерење јачине и смера ветра. Код овог инструмента се једна плоча слободно њихала на шипки која се кретала преко градуисане скале како је ветар са стране дувао на плочу. Што је ветар био јачи, то је плоча била више одувана у страну дуж скале, што је тада регистровано као јачина ветра (сл. 7). У принципу је овај анемометар био у многоме сличан савременим ветроказима.

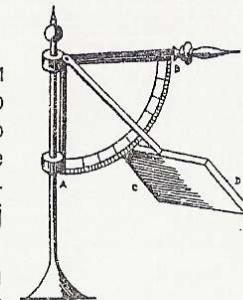
Ветроказ је инструмент који је и данас у широкoj употреби и обично се поставља у круг метеоролошке станице. На врху стуба висине 10 m налази се ветруља чијим се окретањем покреће горњи део ветроказа за који је причвршћен лук са 8 подељака, а обешена је и плочица дужине 30 cm, ширине 15 cm, а тежине 200 g која се окреће око хоризонталне осовине. Плочица се подигне утолико више што је ветар јачи. За мерење брзине ветра служи лук са подељцима чији се размак експериментално одређује. Таквим ветроказом се одређује и правац ветра, јер су за носећи стуб хоризонтално причвршћене шилке које означавају четири главне и четири споредне стране света. Да би се добила средња вредност ових параметара ветроказ треба посматрати неколико минута.

Данас су за мерење брзине у употреби најчешће инструменти са следећим пријемним деловима:

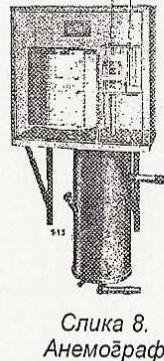
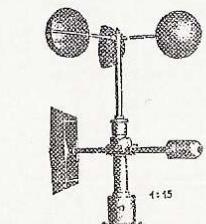
- плочица на коју ваздушна струја врши притисак а брзина се одређује мерењем тог притиска,
- систем од неколико чашица које се врте око вертикалне осе а брзина се одређује по брзини обртања тих чашица,
- елиса која се врти у ваздушној струји,
- Прантлова цев усмерена у сусрет ваздушној струји а мерењем разлика притиска одређује се брзина ветра,
- тела чија се температура разликује од температуре ваздуха а брзина се одређује на основу губитка топлоте тела.

Анемограф

Инструмент који бележи правац и брзину, односно пређени пут ветра, зове се анемограф⁷ (сл. 8). Пријемни део анемографа обично сачињавају три до четири повезане шупље полулопте (чашице) једнаког полупречника које се налазе на једнаком међусобном растојању. Полулопте су везане за основу која иде кроз центар система.



Слика 7.
Хуков ветроказ



Слика 8.
Анемограф

⁶ Од гр. ψυχρός, psychros = хладан

О МЕРЕЊУ

Однос између пута ветра и пута чашица је скоро константан а вредност те константе се одређује у аеродинамичком тунелу. Овај однос је ближи стварној константи код анемографа са три чашице.

Анемограф региструје на траци смер ветра, пут (на основу чега се израчунава средња брзина) и тренутну брзину ветра. Покретање казаљки се врши помоћу система полуза које су сегмент цилиндра на коме је регистрациони папир; једна казаљка бележи праве SEN (југ, исток, север), а друга NWS (север, запад, југ). Пут ветра се региструје помоћу чашица, а за мерење тренутне брзине служи Пито-ова цев.

МЕРЕЊЕ ПАДАВИНА

Вода у атмосферу долази путем испарања са водених и копнених површина. Присуство воде, било да је у гасовитом, течном или чврстом стању, од посебног је значаја за динамику струјања ваздуха у атмосфери.

На метеоролошким станицама се врше осматрања свих врста падавина. Брста падавина се одређује визуелно, док се количине мере. Интензитет и време трајања падавина може да се одређује визуелно и инструментално.

Количина падавина се мери дебљином слоја воде која би се од њих добила на хоризонталној површини под условом да нема отицаја и испарања. Дебљина слоја се изражава у милиметрима воденог талога насталог од кише, росе, као и воденог еквивалента чврстих падавина као што су снег, град и ледена киша, а које се прикупљају у кишомеру.

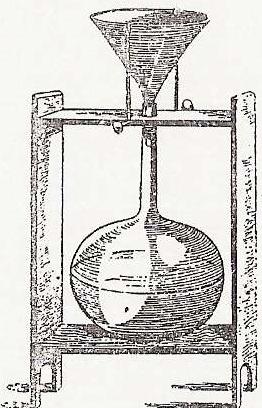
Сврха мерења падавина је добијање просторне и временске расподеле воде која се из атмосфере таложи на тло.

Кишомер

Ричард Таунли конструисао је око 1677. године кишомер који се састоји из левка пречника 30 см, одакле је воду помоћу цеви одводио у суд где је вода могла да се измери.

Око 1695. године Хук је конструисао други такав инструмент који је био у употреби у Грешам колеџу већ те године (сл. 9). Састојао се од стакленог левка дијаметра око 29 см који је био монтиран на дрвени сквир и који је водио у већу боцу са 50 см дугим танким грлићем пречника 5 mm да би се избегло испарање. Сама стаклена посуда могла је да прими више од два галона (9 литара). Два подупирача или канапа држала су левак чврсто на ветру. Прве кишомере сличним данашњим начинио је Хорсли 1722, који је употребио левак пречника 75 см и сакупљао воду у цилиндричну мерну посуду дубоку 25 см са дијаметром од 7,5 cm.

И данас, најчешће коришћени принцип мерења кише састоји се у скупљању падавина у један суд са отвором од неколико стотина квадратних центиметара јер се претпоставља да у тај отвор падне иста количина као и на било коју једнаку хоризонталну површину у околини. Због тога положај кишомера мора да буде такав да гарантује репрезентативност места, а конструкција



Слика 9. Хуков кишомер

МЕТЕОРОЛОШКА МЕРЕЊА - СВЕДОЧАНСТВА О АТМОСФЕРСКИМ ПРОМЕНАМА

таква да не проузрокује разлике у атмосферским условима између инструмената и околине.

Кишомер је метални суд који се поставља на 1 m изнад тла са површином горњег отвора од 200 cm². Унутра се налази левак и један мањи суд у који се слива киша, а помоћу мензура се одређује количина падавина са тачношћу од 0,1 mm. У зимским месецима, снег који напада у кишомер треба пре мерења да се истопи.

Плувиограф⁸ (омброграф⁹) је регистрирни инструмент за мерење количине падавина. Површина горњег отвора је као и код кишомера 200 cm². Код њега се вода слива у један резервоар који се повремено празни. Када се ниво воде у цилиндру подигне до превоја са сифоном вода исцури кроз сифон у лочче. Пловак је повезан са казаљком која уписује на ваљак криву падавина. При пражњењу суда на графикону се добија вертикална линија. Свај инструмент се не употребљава у зимском периоду због појаве негативних температуре које му онемогућују функционисање.

Мерење снежних падавина

Приликом снежних падавина углавном се мери висина снежног покривача и густина снега, па се затим одређује количина воде коју снег садржи. Висина снега се мери помоћу снегомерне лјетве на заклоњеним и отвореним местима посебно јер количина снега зависи од јачине ветра. Мерење се врши на више места па се онда узима средња вредност. Тачност мерења износи један центиметар.

За мерење густине снега употребљава се Хелманова вадилица и снегомерна вага. Помоћу вадилице се извади снег, истопи се и мери се количина воде. Маса снега једнака је запремини воде и зато се помоћу мензура измери запремина па се густина израчуна.

За мерења на терену је подеснија снегомерна вага код које се маса снега мери директно.

⁸ Од лат. pluvia = киша

⁹ Од гр. ὥψηρος, омбрөс = киша