

# Elektronikai nedvességérzékelők

Dr. Fábián Tibor okl. villamosmérnök, itaf70@gmail.com

Az egykori házi meteorológiai állomásokban, ipari meteográfokban a szelencés barométer-bimetallos (kettősfémes) termométer-hajszálas higrométer együttesben a relatív légnedvesség „érzékelője” zsírtalanított vékony (szőke női) hajszál volt. Ma már a hajszálat polimer fólia, a rugós vagy súlyterheléses, karos mechanikán alapuló mérőművet ASIC helyettesíti.

## Alapfogalmak

A gázok és gázkeverékek (pl. a levegő) vízgőztartalmának ismerete, az optimális nedvességtartalomra való szabályozás mindennapi életünkben gyakran előforduló feladat. Csak néhány eszköz, területet említünk ezek közül: légkondicionáló-berendezések, fagyasztók, terményszárítók, inkubátorok, páraérzékeny elektronikai készülékek, illetve a félvezető- és gyógyszeripari-laboratóriumok, dohányfeldolgozók, papírgyártó üzemek, hűtőházak. A nedvesség ismerete az erjesztéses folyamatoknál (pl. sör, biogáz előállítása), de még a sajtérelésnél, az új parketta lefektetésekor is fontos.

A  $\text{g}/\text{m}^3$ -ben megadott *abszolút nedvességet* a térfogategységnyi nedves gázban/levegőben lévő vízgőz tömegét jelenti egy adott hőmérsékleten és légköri nyomáson.

A *relatív nedvesség* a vízgőz tényleges nyomásának és az adott hőmérsékletre tartozó telítési gőznyomásnak hányadosa, százalékban kifejezve. A relatív légnedvesség azt mutatja meg, hogy a lehetséges víztartalom hány százaléka van a levegőben.

*Harmatpont* az a hőmérséklet, amelynél a nedves levegőben lévő vízgőz – állandó nyomáson – kicsapódik.

A képletekben a relatív nedvességet a meteorológiában az „f” betűvel, egyéb területeken a görög „fi”-vel jelölik, az angolszász irodalmakban a „%RH” jelölés (Relative Humidity %) a szokásos. *Jelen cikkben a képletekben és a diagramokon a százalékban adott relatív nedvességet  $\varphi$ -vel, ill.  $\varphi$ , %-kal jelöljük, a szövegben pedig az r. n. % rövidítést használjuk.*

## A nedvességmérés legfontosabb módszerei, eszközei

A levegő nedvességéről, ennek meghatározásáról való elmélkedés már az V. században megjelent *Alexandriai Hüpatia* filozófusnő munkáiban. Úgy vélte, hogy a levegőben levő víz mennyisége az általa feltalált hidroszkóppal – egyfajta úszós folyadék-fajsúlymérő eszközzel, amit ma pl. szesz-fokolóként ismerünk – meghatározható.

Mintegy ezer év múlva *Nicolaus Cusanus* német természettudós egyik munkájában leírta az ún. *gravimetrikus higrométert*: a karos mérlegből, mint a középkorban ismert legpontosabb mérőeszközből készített abszolút nedvességmérőt. Ennek „érzékelője” az egyik serpenyőbe helyezett nedvszívó anyag, a gyapjúcsomó volt, s mérleget a másik serpenyőbe helyezett viaszgolyóval egyensúlyozta ki. *Leonardo da Vinci* több rajzán is megtalálható ez a függő-mutatós, lineáris vagy körskálás mérleg, melynél az „abszorpciós szenzor” szerepét szivacs, pamutszálakból álló vatta, kósó vagy szemes termény töltötte be.

A XVII. században jelent meg az első, ún. *mechanikai elvű* higrométer, melynél azt a jelenséget használták ki, hogy egyes anyagok a nedvesség hatására megváltoztatják alakjukat, méretüket. *Santorio* itáliai fiziológus vizsgálataihoz súllyal előfeszített hárfahúrból készített relatív nedvességet „mérő” műszert. A nedvesség hatására a hosszát megváltoztató bélhúr a súlyt – egy fagolyót – felemelte vagy lesüllyesztette. A későbbiekben a húrt sóval átitatott

papírcsíkkal, bőrszíjjal, bálnacsonttal helyettesítették. *Robert Hooke* angol természettudós körskálás higrométerének „érzékelője” a zabnak a nedvesség mértékétől függően feltekeredő, ill. kiegyenesedő toklásza volt.

A XVIII. század végétől elterjedten használt bélhúros műszerkonstrukció *Johann H. Lambert* svájci polihisztor nevéhez, a „higrométer” keresztapjához fűződik (a görög „hygros” nedvességet jelent).

A folyamatos mérésre is alkalmas hajszálas higrométert *Horace B. de Saussure* svájci természettudós készítette 1783-ban, amikor az Alpokban tanulmányozta az optikai távíróval kapcsolatos látthatósági követelményeket. Előbb 8...10 inch hosszúságú, súllyal előfeszített hajszálat, később hajköteget használt. A hajszál a nedvesség hatására csekély változást mutat. Ha a relatív nedvesség 0-ról 100%-ra nő, a hajszál megnyúlása 2...3%-nál nem több, ezért a mérés pontatlansága a  $\pm 5$  r. n. %-ot is meghaladta.

A hajszálas nedvességmérőt a szarvasmarha gyomrának hártájából készített, valamint pontosabb membrános higrométer váltotta fel, melyet elsősorban a magaslégköri méréseknél alkalmaztak.

Az első *kondenzációs higrométer* még az 1650-es években született meg. A Medici-házból való *II. Ferdinánd* toszkánai nagyherceg – Torricelli közreműködésével megalkotott – harmatpont-mérő találmányánál a jéggel feltöltött kúpos sárgaréz csészére lecsapódó párat az alatta elhelyezett, osztásokkal ellátott („kalibrált”) üvegcsében fogta fel. A kondenzációs higrométert *John Dalton* angol kémikus 1801-ben újra felfedezte.

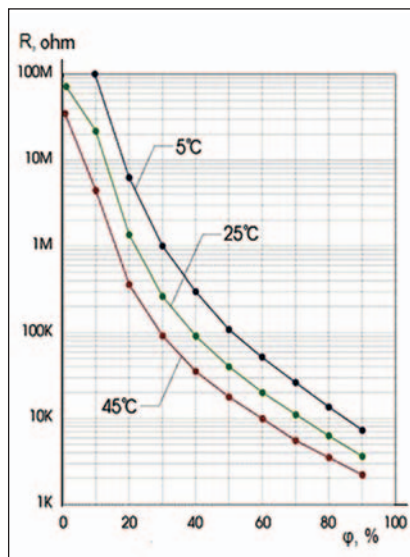
Az 1680-90-es években *Guillaume Amontons* francia fizikus a levegő nedvességtartalmának termodinamikai meghatározására megalkotta a később *pszihrométernek* nevezett műszert. A pszihrométernél az egyik hőmérő a környező levegő hőmérsékletét mutatja, a másik hőmérőt pedig nedvszívó anyaggal bevonják, vagy ilyen anyagba helyezik. Ez a víz párolgása által okozott hőelvonás miatt a környező levegő hőmérsékleténél kisebb értéket mutat. Minél nagyobb a mutatott értékek közötti különbség, annál szárazabb a levegő. A nedvesség mérőszámát a különbség alapján empirikus képlet vagy táblázat segítségével határozzák meg.

Amontons „nedves” higanyos hőmérőjének „érzékelője” bőrcsákó volt, de később szarvasmarha túlkéből, elefánt agyarából, lúdtoll szárából, patkány hólyagjából is készítettek higanytartályt. A pszihrométert az 1700-as évektől kezdve jelentősen korszerűsítették, nedvszívó anyagként pl. szövetet, gézt használtak, a hőmérőket forgatták, lóbálták, rugós motorral biztosították a légáramlást (Assmann) stb. Az elvet még ma is alkalmazzák pl. az NTK termisztoros hőmérőkkel felépített kapcsolásoknál [1].

Már egészen korán kísérleteztek a nedvesség hatására színüket változtató vegyületekkel is – pl. a vízmentesen kék színű kobalt-klorid ( $\text{CoCl}_2$ ) rózsaszínűre változik – de ezek csak indikátorként voltak használatosak.

A XIX. század végén, a XX. század elején a tömegméréses abszorpció mérésénél az erősen nedvszívó lítium-kloridot ( $\text{LiCl}$ ), kalcium-kloridot ( $\text{CaCl}_2$ ) vagy magnézium-perklorátot ( $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ ) használták, melyen a levegőt átvezetve, az anyag súlyának növekedéséből vissza lehetett következtetni az abszolút nedvességtartalomra.

A gázok és gőzök elnyelési sávjainak felfedezése és a spektroszkópia megszületése után, főleg az 1930-as évektől kezdve különböző infravörös sugárforrású *spektrális nedvességmérőkkel* vizsgálták a vízgőzt tartalmazó gázok elnyelési



1. ábra

si sávjait, s ezek alapján következtettek a vízgőz mennyiségére. (Ma a mikrohullámú csillapítást mérik.)

Az 1940-es évektől a nedvesség hatására az *elektrokémiai vagy tisztán elektromos jellemző megváltozásán alapuló* szenzoros műszerek váltak uralkodóvá. Ekkor született meg többek között a higroszkópos anyaggal bevont kvarckristály frekvenciájának, a szilícium-, króm-, alumínium-oxid bevonatú elemek elektromos vezetőképességének, az alumínium-oxid vagy lítium-klorid vékonyréteg dielektrikumú kondenzátor kapacitásának mérésén alapuló módszer [2], [3].

A passzív kétpólusként tárgyalható rezisztív és a kapacitív érzé-



2. ábra

kelőket, valamint a többpólusos, jelfeldolgozó elektronikával kiegészített összetett szenzorokat (szenzor-IC-ket) a következőkben ismertetjük.

## Rezisztív szenzorok

A vezetőképesség vagy impedancia változásán alapuló érzékelők működése a szigetelő alapon létrehozott fűszerű, egymástól elszigetelt vezetősávokra felvitt higroszkópos bevonat vízfellevő képességén, s ezáltal a vezetősávok közötti ellenállás megváltozásán alapul. Az ellenállás-változás több nagyságrendű, az ellenállás és a relatív nedvesség közötti összefüggés nemlineáris. Az általánosan használt szenzoroknál a relatív nedvesség 20%-ról 90%-ra való növekedésekor az impedancia valós része – a kivitelről függően – tíz...száz Mohm-ról pár kohm nagyságrendűre csökken (1. ábra; TDK gyártmányú rezisztív szenzorok ellenállás-relatív nedvesség karakterisztikája különböző környezeti hőmérsékleteken (mérőfeszültség: 1 V effektív, 1 kHz; <http://product.tdk.com/en/techjournal/>)

Az egyik első, sorozatban gyártott ellenállásos szenzor az 1940-es években *Francis W. Dunmore* amerikai fizikus szabadalma alapján készült (US Pat. 2,295,570: Humidity Measuring. 1942. szept. 15.). A szabadalom szerinti érzékelő vékonyfalú üvegcsőre bifilárisan feltekercselt ónozott rézhuzalból állt, melyet lítium-klorid oldattal átitatott porózus kötőanyaggal vontak be. Később a huzalanyagát palládiumra, ill. nikkel-króm ötvözetre módosították, az üvegcsövet műanyagra cserélték, nedvszívó anyagként LiBr és LiCl keverékét használták. A szenzort egészen az 1970-es évek közepéig forgalmazták.

A kerámia alapon vékonyréteg-eljárással készült „Hument” márkanevű polimer fóliás, aranyelektrodás rezisztív szenzorokat 1978-ban hozta forgalomba a japán Nakaasa Instrument Co. Az amerikai Ohmic Instruments szintén a '70-es évektől kísérletezett a nedvszívó polimeres (pl.