

Galileitől a MEMS szenzorig

—

A környezeti paraméterek mérésének fejlődése

Vámos Péter

Környezettan szakos hallgató

Wesley János Főiskola

Környezetbiztonsági Tanszék



WJLF Környezetbiztonsági Tanszék



Környezettan alapszak

Alkalmazott környezetkutató BSc

Expert in applied
environmental studies BSc

wesley.hu

Fig. 1

Mi az a környezeti paraméter?

- **Mérhető** állapotjellemző, amely a környezet aktuális állapotát írja le
- Lehet:
 - **fizikai** (T, p, RH, szél, napsugárzás...)
 - **kémiai** (CO₂, NO_x, pH...),
 - **biológiai** (mikrobiológiai aktivitás, biodiverzitás, pollen-koncentráció...)
- **Térben** és **időben** változik → idősorokkal és térbeli összevetéssel értelmezhető
- Alapja a monitoringnak és döntéstámogatásnak (kockázat, beavatkozás, visszacsatolás)

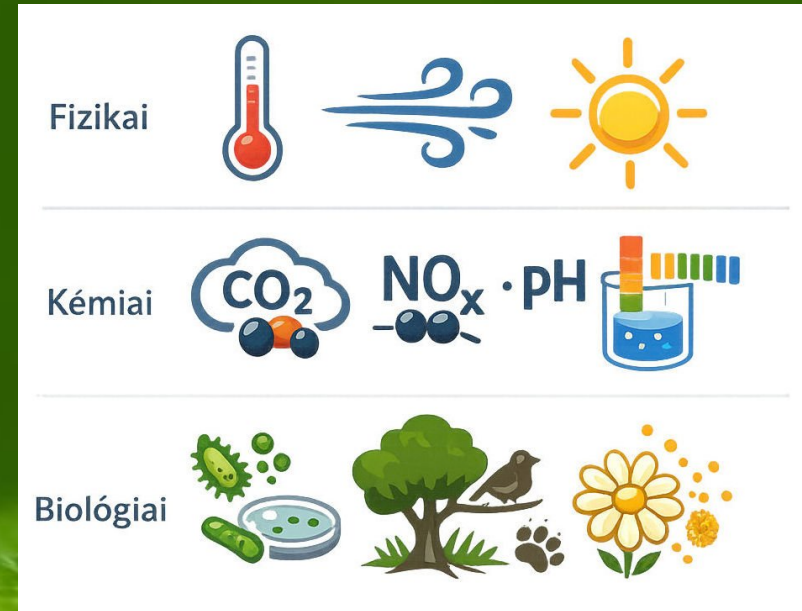


Fig. 2

A mérés előtti korszak: megfigyelés és túlélés

- A környezeti állapotának ismerete a kezdetektől fontos a túléléshez: élelem, víz, lakhatás, biztonság...
- Mezőgazdaság: évszakok, csapadék, fagy, aszály...
→ a vetés és betakarítás időzítése kritikus
- Fejlett csillagászat, geometria, (égitestek látszólagos pályája, időmérés)
- Tapasztalati szabályok és „népi meteorológia” mentén, kvalitatív (és nem kvantitatív) környezet-kép: „meleg”, „szeles”, „esős”, „fagyos”...
- A kora újkori “tudományos forradalomig” (XVI.-XVII. századig)



Fig. 3

Levegő hőmérséklet (T) • Relatív páratartalom (RH) • Légnyomás (p)

- Ez a három együtt írja le a levegő „állapotát”, és meghatározza a mikroklimát
- Kulcs az élővilág számára: vízháztartás, hőstressz, kondenzáció / harmat, párolgás
- Mezőgazdasági jelentőség: élet- és növekedési feltételek, vízigeny, betegségek kockázata, termésbiztonság

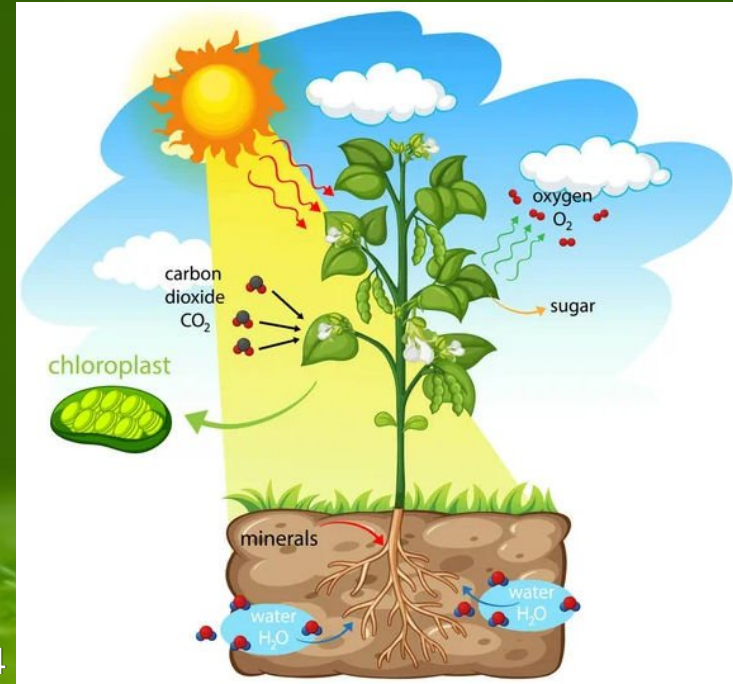


Fig. 4

T + RH → harmatpont
(kondenzáció feltétele,
levélnedvesség)

Hőmérséklet: intenzitás vs. „hőmennyiség”

- A hőmérséklet intenzív mennyiség: „mennyire meleg”
- A „melegség mennyisége” kiterjedt jellegű: függ az anyagtól és a tömegtől
- Középkori intuíció: láng nagy „intenzitás”, meleg vas nagy „mennyiség”
- A hőtán létrejöttéhez kellett egy reprodukálható mérésekre alkalmas eszköz: a hőmérő
- A mérés kulcsa: skála + rögzített pontok + összehasonlíthatóság



Fig. 5

Thermoszkóp → „barothermoszkóp”

Alapelv: gáz/folyadék hőtágulása
(melegítés → térfogatnövekedés)

A korai eszközök nyitott rendszerek voltak
→ relatív mérés

Galileo Galilei thermoszkópja:
A mérés a légnyomástól is függött,
ezért „barothermoszkóp”-nak is hívják

A pontos hőmérsékletméréshez
le kell választani a nyomás hatását.

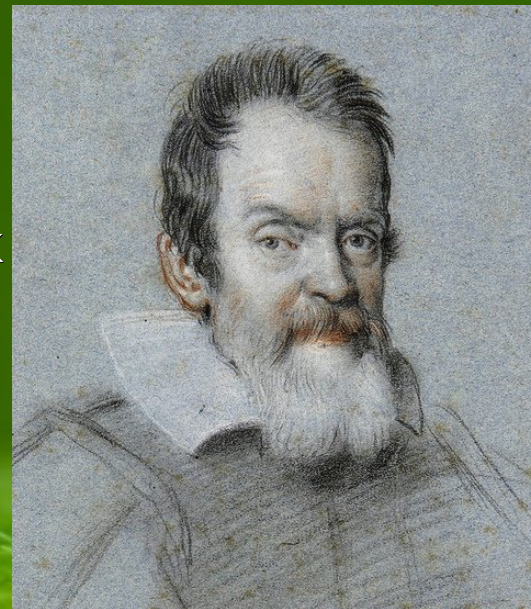


Fig. 6



Fig. 7

Zárt folyadékos hőmérők

Alapelv: lezárt üvegcsőben lévő folyadék hőtágulása látható elmozdulást okoz

A leforrasztott (zárt) alkoholos hőmérőt gyakran Ferdinando II de' Medici köréhez kötik, (1654 körül) többen párhuzamosan dolgoztak

Accademia del Cimento (Firenze, 1657):
Galileo Galilei tanítványai

„Galileo-hőmérő”: a ma ismert (úszó gömbös) eszköz nem Galileo Galilei találmánya;
az Accademia köréhez köthető, 1666-os leírással

Daniel Gabriel Fahrenheit (1709): a kivitelezés és standardizálás fejlesztése → az első a gyakorlatban is jól használható, pontos hőmérő



Fig. 8



Fig. 9

Hőmérsékleti skálák: sok javaslatból... „végül csak egy maradhat”?

A XVII–XVIII. században szinte minden jelentős kutató javasolt saját hőmérsékleti skálát.

Végül 3 skála vált igazán elterjedtté:

°F - Daniel Gabriel Fahrenheit (1724, Németalföld)
Korai, a gyakorlati mérésekben sokáig domináns (USA)

°C - Anders Celsius (1742, Svédország)

Két fixpont: jég olvadás = $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, víz forrás = $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
→ könnyű reprodukálhatóság, ma a legelterjedtebb
hétköznapi skála

K - Lord Kelvin /William Thomson/ (1848, Nagy-Britannia) Abszolút skála, 0 K az abszolút nulla



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

Hőellenállás: közvetlen elektromos mérés

A vezetők elektromos ellenállása a hőmérséklettel változik.

platina ellenállás hőmérő:
Carl Wilhelm Siemens (1871)

Miért platina? stabil, jól ismételhető, közel lineáris, hosszú távon kicsi drift
→ ipari etalon alapanyag.

Űrkutatási példa: Venera 7 (1970) – az első sikeres in situ hőmérséklet mérés a Vénusz felszínén; a korszak szondáiban platina ellenállás-hőmérők voltak tipikusak.

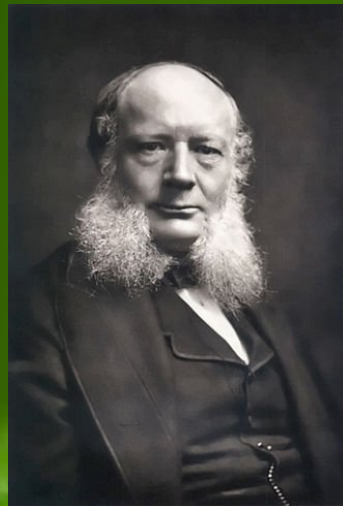


Fig. 13



Fig. 14

Szilícium „tiltott sáv” (bandgap) hőmérséklet-szenzor

A szilíciumban az elektronoknak vegyértéksáv és a vezetési sáv között van egy „tiltott E tartománya”. Ez jól definiáltan függ a hőmérséklettől.
Ralph Kronig és William Penney (1931)

A „tiltott sáv” pontosan beállítható a szilíciumba más anyagot (pl fém-oxidokat) juttatva („doping”).

Standard IC gyártástechnológiával készül → olcsó, kicsi, tömeggyártható, könnyen integrálható IC-kbe.

Kalibráció: a félvezető-paraméterek és tokozás szórnak (offset, meredekség, önmelegedés)

Gyártáskor minden példány bemérhető 1-2 hőmérsékleten és eltárolható a korrekció.

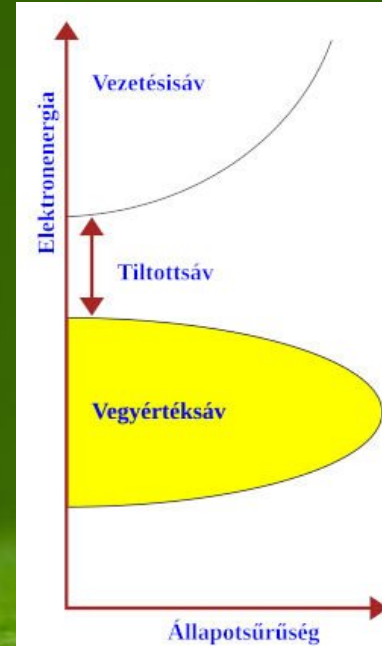


Fig. 15

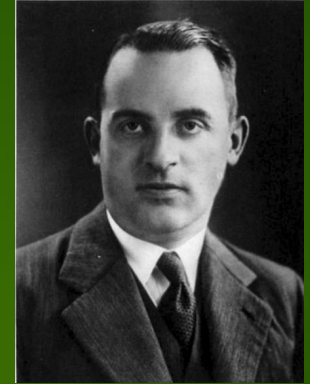


Fig. 16

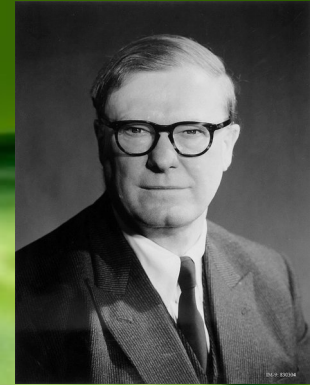
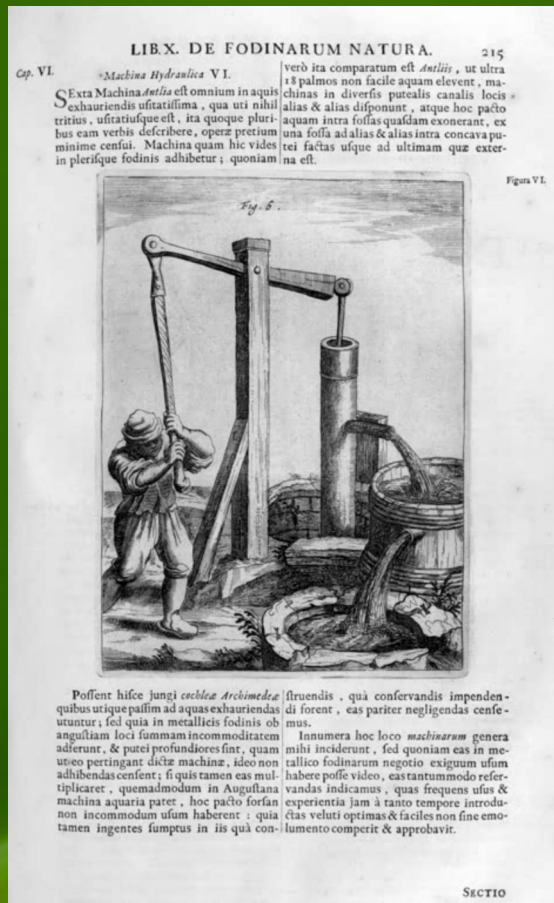


Fig. 17

Vákuumvita → légnyomás: a kérdés megszületése



Horror vacui: „vákuum nem lehetséges”
(arisztotelészi hagyomány)

Ennek ellentmond a vízszivattyúk korlátja:
miért nem emelhető a víz tetszőleges
magasságig?



Fig. 18

Galilei és a „mérhető horror vacui”

A „horror vacui” mérhetővé tétele

Gondolatkísérlet:

→ mérési elrendezés:
felül zárt, alul nyitott henger,
dugattyú, felette vízoszlop

Naiv magyarázat, de kulcslépés:
kvantitatív szemlélet

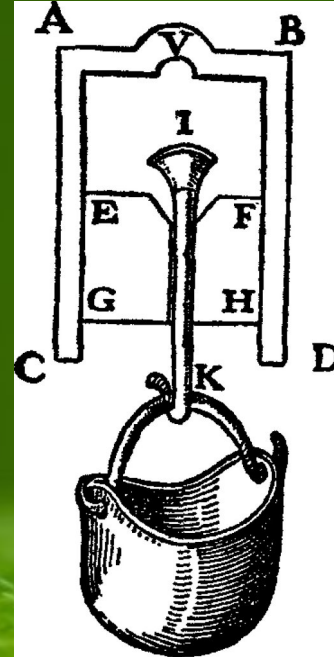


Fig. 19

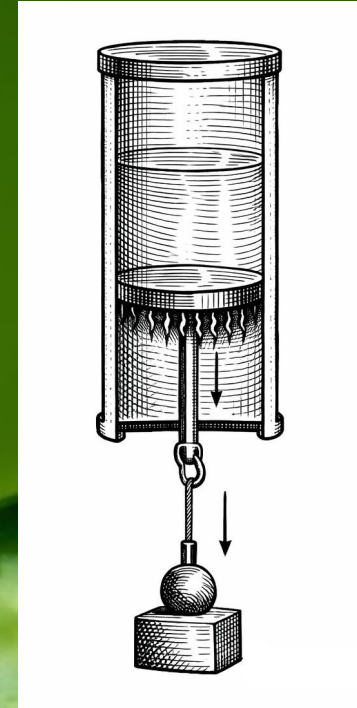


Fig. 20

Torricelli → Pascal: a légnyomás felismerése és bizonyítása

Torricelli (1643): higanyos kísérlet
→ 76 cm oszlop + felette „Torricelli-űr”

A vita tárgya:

- mi van az „űrben”,
- és mi tartja az oszlopot?

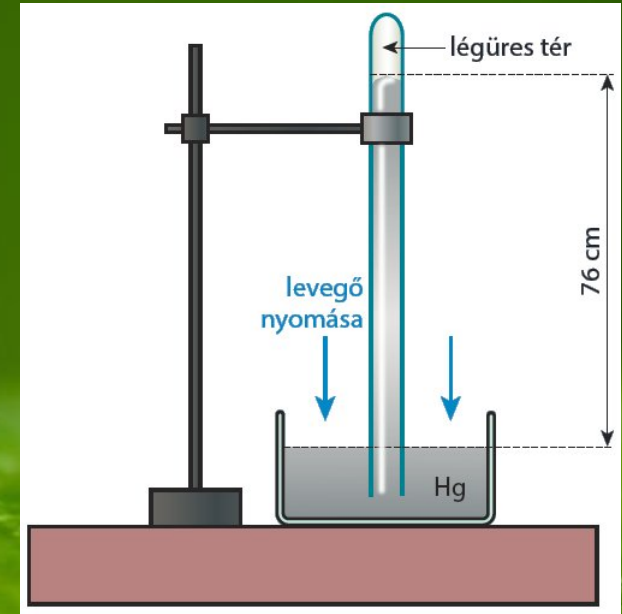


Fig. 21

Torricelli → Pascal: a légnyomás felismerése és bizonyítása



Fig. 22



Fig. 23

Blaise Pascal (1648):

Puy-de-Dôme hegy,
485m szintkülönbség:

Magassággal csökkenő
barométerállás

→ döntő bizonyíték



Higanyos barométer → aneroid barométer → barográf

Higanyos barométer:
referencia pontosság, de sérülékeny,
nem alkalmas „terepre”

Aneroid barométer:
Lucien Vidie (1844)
vákuumdoboz deformációja
→ mutató kitérés

Barográf: aneroid + óramű
→ folyamatos légnyomás-idősor



Fig. 24

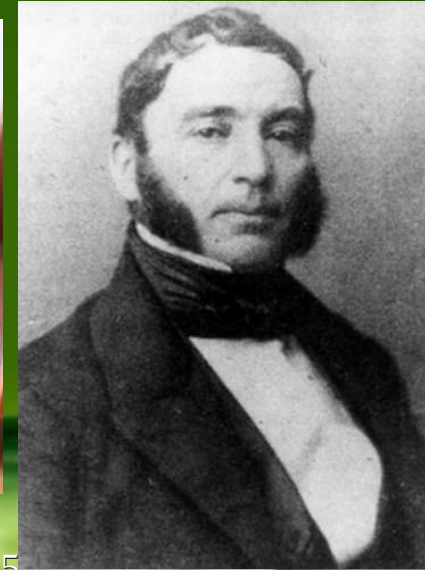


Fig. 25

Elektronikus nyomásmérés: kapacitív, piezorezisztív, MEMS

Kapacitív barométer: membrán elmozdulás → kapacitásváltozás → elektromos jel

Piezorezisztív barométer: deformáció → ellenállásváltozás (Wheatstone-híd)

MEMS barométer: mikro-membrán + piezorezisztív elemek → kicsi, olcsó, tömeggyártott

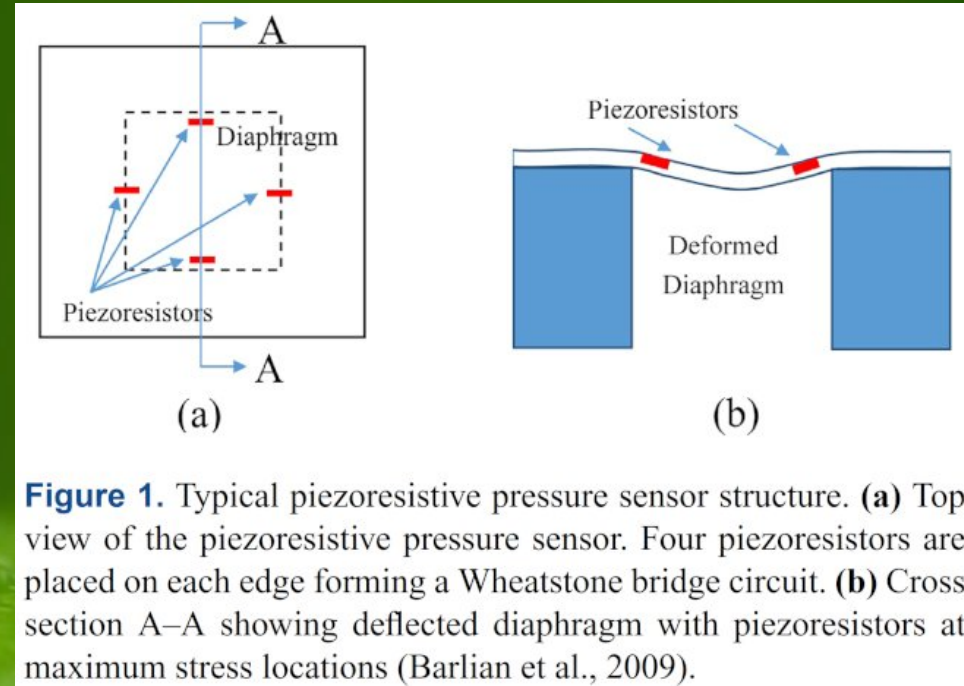


Fig. 26

Mit jelent a „levegő páratartalma”? – a fogalom megszületése

A levegő vízgőzt tartalmaz
→ komfort, párolgás, köd/csapadék

Telítettség: adott T mellett
csak bizonyos vízgőzmennyiség fér el

Relatív páratartalom (RH)
= pillanatnyi / telítési állapot (%)

Harmatpont (T_d):
ahol telítetté válik → kondenzáció indul

(Értelmezési keret:
résznyomások, John Dalton, 1801)



Fig. 27

Standardizálás: pszichrométer



Fig. 28

Pszichrométer
(szárz–nedves hőmérő):
Ernst Ferdinand August (1818)

Első műszerek: higroszkópos és harmatpontos higrométerek



Fig. 29



Fig. 30

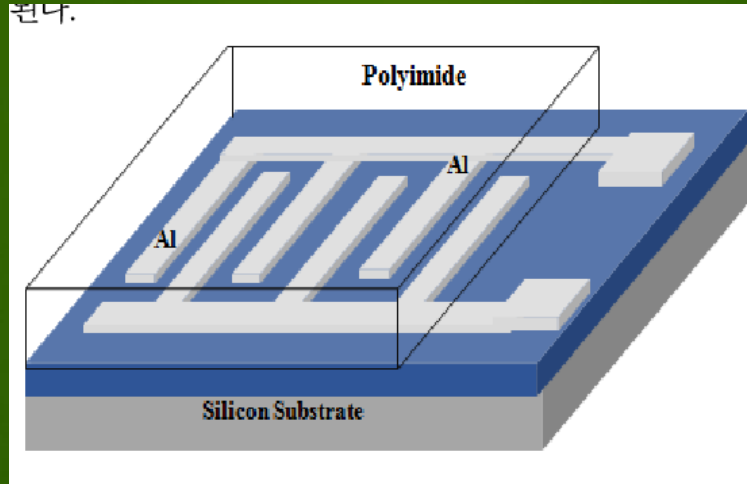
Higroszkópos elv:
anyag alakváltozása nedvességre

Hajszál-higrométer:
Horace-Bénédict de Saussure, 1783

Kihívások: kalibráció, szennyeződés,
öregedés, hőmérséklet-hatás



Modern kapacitív polimer RH szenzor (MEMS)



Elv: vízgőz $\rightarrow$ polimer réteg dielektromos állandója változik $\rightarrow$ kapacitás változik $\rightarrow$ RH

Felépítés: interdigitált elektródák + polimer film + integrált jelfeldolgozás (IC/MEMS tok)

Fig. 31

Fig. 31

A Bosch BME280 szenzor



Fig. 32

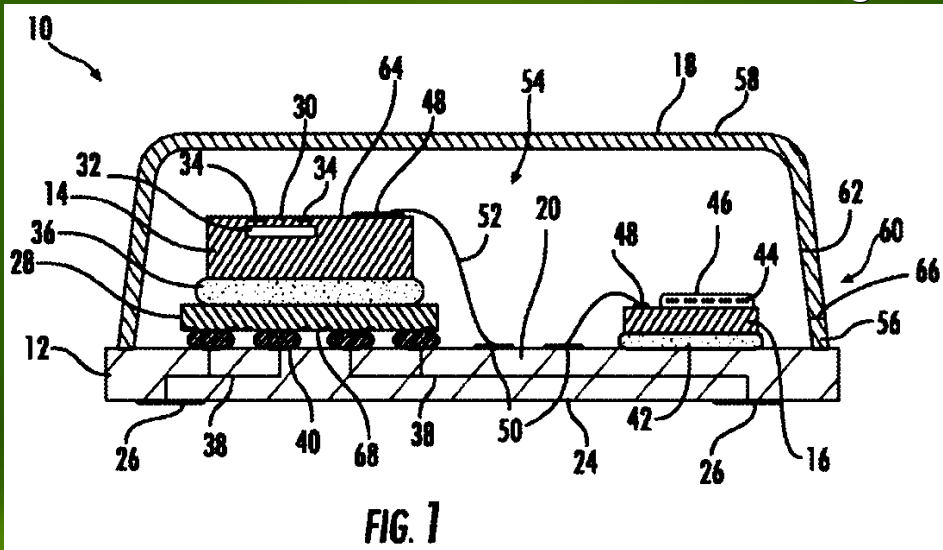


Fig. 33

3 környezeti paramétert mér:

- Hőmérséklet (T)
Si „tiltott sáv” (bandgap) hőmérő
-40 - +85 °C, ± 1 °C
- Légnyomás (p)
piezorezisztív MEMS nyomás-szenzor
300 - 1100 hPa, ± 1 hPa
- Relatív páratartalom (RH)
kapacitív MEMS páratartalom-érzékelő
0 - 100%, $\pm 3\%$

A Bosch BME280 szenzor

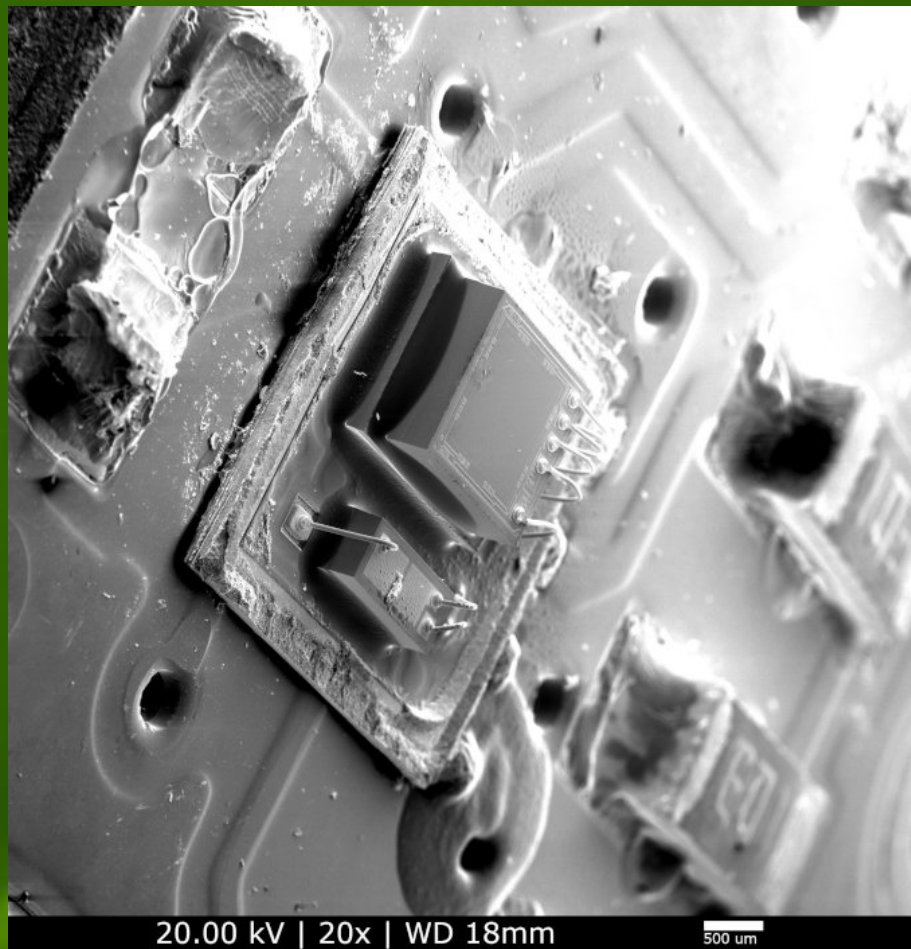


Fig. 34

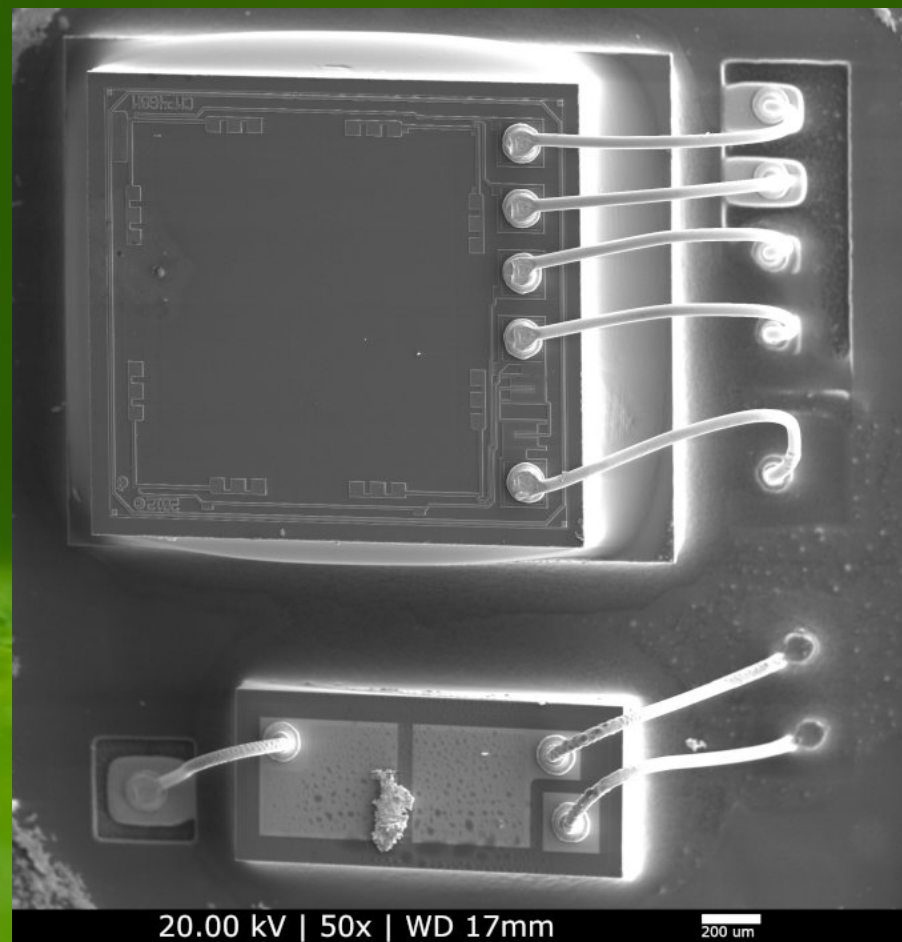


Fig. 35

A megvalósított rendszer egy szenzor-egysége

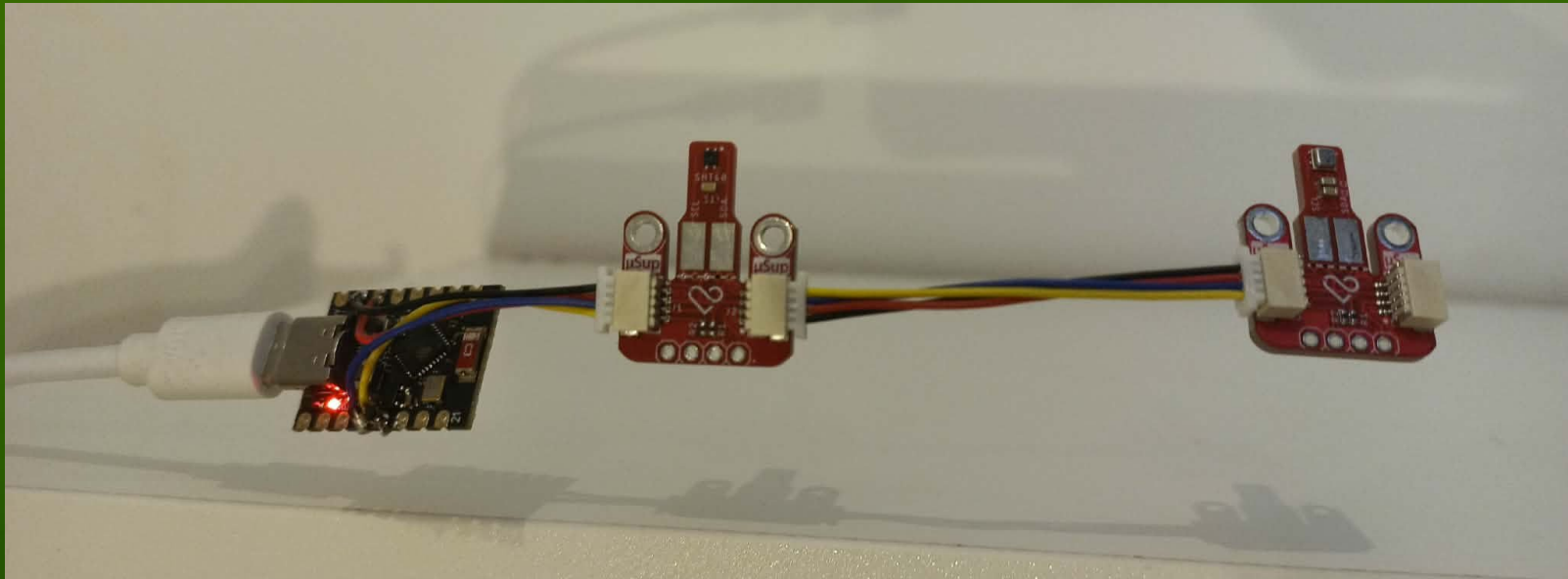


Fig. 36

Adatbázisból lekérdezhető idősoros mért adatok



Fig. 37

Köszönöm a figyelmet!

Vámos Péter
Környezettan szakos hallgató
WJLF Környezetbiztonsági Tanszék

pvamos@gmail.com



Források

Fig. 1.

Wesley János Lelkészképző Főiskola, Környezetbiztonsági Tanszék. Intézményi logó.
<https://wesley.hu/szervezeti-egysegek/tanszekek/kornyeztbiztonsagi-tanszek/>

Fig. 2.

Vámos, P. (2026). Environmental parameters [AI-generated illustration].
Generated by the author using gpai.app Scientific Image Generator.

Fig. 3.

Vámos, P. (2026). Environmental observation and human activities [AI-generated illustration].
Generated by the author using gpai.app Scientific Image Generator.

Fig. 4.

Magnific. (n.d.). Diagram showing process of photosynthesis in plant [Vector illustration].
https://www.magnific.com/free-vector/diagram-showing-process-photosynthesis-plant_19040715.htm

Fig. 5.

Lovarda.lovások.hu. (n.d.). Kovácsolás [Photograph]. Former page:
<http://lovarda.lovások.hu/aggteleki-nemzeti-park-igazgatosag-hucul-menes/hirek/99>
The source page has since been removed; the image/source match was confirmed from the author's earlier copy and by TinEye.

Fig. 6.

Chatsam. (2014). Musée des Arts et Métiers thermoscope de Galilée 1592 [Photograph]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mus%C3%A9_des_Arts_et_M%C3%A9tiers_thermoscope_de_galil%C3%A9e_1592.JPG

Fig. 7.

Leoni, O. (1624). Galileo Galilei florentino [Drawing]. Biblioteca Marucelliana, Florence. Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Galilei_by_Ottavio_Leoni_Marucelliana_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Galilei_by_Ottavio_Leoni_Marucelliana_(cropped).jpg)

Fig. 8.

Hústvedt. (2009). Galileo Thermometer showing 24 degrees [Photograph]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Thermometer_24_degrees.jpg



Fig. 9.
Christie's. (2012). A signed Fahrenheit thermometer scale, Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736).
<https://www.christies.com/en/lot/lot-5605293>

Fig. 10.
Unknown author. (17th–18th century). Gabriel Daniel Fahrenheit [Portrait]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fahrenheit_small.jpg

Fig. 11.
Arenius, O. (18th century). Anders Celsius [Portrait]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Headshot_of_Anders_Celsius.jpg

Fig. 12.
Unknown author. (1908). William Thomson, Lord Kelvin, at the age of twenty-two. Popular Science Monthly, Vol. 72. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSM_V72_D191_William_thomson_lord_kelvin_at_the_age_of_twenty_two.png

Fig. 13.
Van der Weyde. (1880). Wilhelm Siemens illuminated by electric light [Photograph]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wilhelm_Siemens.jpg

Fig. 14.
Kozlovskiy, S. (2018). Descent vehicle of Venera-7 [Photograph]. Wikimedia Commons.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venera-7.jpg>

Fig. 15.
Bartlett, R. (2023). Revolutionizing Electronics with Imaginary Computers and Matter-manipulating Bandgap Implants in the Brain as Well As Universe-creating Virtual and Augmented Reality. Journal of Advanced Research in Embedded System, 10(2), 19–24, Fig. 2.
https://www.researchgate.net/publication/379643921_Revolutionizing_Electronics_with_Imaginary_Computers_and_Matter-manipulating_Bandgap_Implants_in_the_Brain_as_Well_As_Universe-creating_Virtual_and_Augmented_Reality

Fig. 16.
Unknown author. (1940). Prof. Dr. R. de Laer Kronig [Photograph]. Delftsche studenten-almanak, 1940. Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prof._Dr._R._de_Laer_Kronig,_1940_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prof._Dr._R._de_Laer_Kronig,_1940_(cropped).jpg)

Fig. 17.
Los Alamos National Laboratory. (c. 1945). Sir William Penney [Photograph]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Penney.jpg

Fig. 18.
Kircher, A. (1678). *Mundus subterraneus*, Vol. II [historical hydraulic-pump illustration]. Amsterdam: Joannem Janssonium à Waesberge & filios.
<https://archive.org/details/mundussubterrane02kirc>
Alternative digitization / persistent record:
<https://doi.org/10.3931/e-rara-7142>

Fig. 19.
University of Szeged. (n.d.). A fizika története – Vákuum és légnyomás [lecture material; historical pump / horror vacui diagram].
https://titan.physx.u-szeged.hu/~pierre/fiz_tort/2-Anyag-1.pdf

Fig. 20.
Galilei, G. (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* / *Two New Sciences*, First Day [vacuum-resistance apparatus].
https://galileoandeinstein.phys.virginia.edu/tns_draft/tns_001to061.html

Fig. 21.
Mészáros, R. (2013). *Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fig. 1.1: A higanyos barométer működési elve.
https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Meteorologiai_muszerek_READER.pdf

Fig. 22.
Steger, C. (2025). Aerial image of Puy de Dôme (view from the west) [Photograph]. Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aerial_image_of_Puy_de_D%C3%B4me_\(view_from_the_west\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aerial_image_of_Puy_de_D%C3%B4me_(view_from_the_west).jpg)

Fig. 23.
Unknown artist. (c. 1690). Blaise Pascal (1623–1672) [Painting, after François II Quesnel]. Palace of Versailles. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blaise_Pascal_Versailles.JPG

Fig. 24.
Portillo, G. (n.d.). *Barógráf*. *Meteorología en Red*.
<https://www.meteorologiaenred.com/hu/barogr%C3%A1f.html>

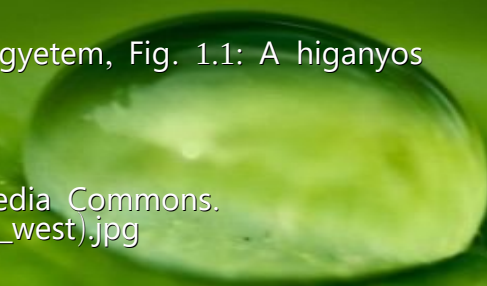


Fig. 25.
Unknown author. (c. 1855). Lucien Vidie (1805–1866) [Portrait]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lucien_Vidie.jpg

Fig. 26.
Kubba, A. E., Hasson, A., Kubba, A. I., & Hall, G. (2016). A micro-capacitive pressure sensor design and modelling. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 5, 95–112, Fig. 1.
<https://doi.org/10.5194/jsss-5-95-2016>
(The figure caption attributes the typical piezoresistive sensor structure to Barlian et al., 2009:
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2009.2013612>)

Fig. 27.
Phillips, T. (1835). John Dalton [Oil on canvas]. National Portrait Gallery, London. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Dalton_by_Thomas_Phillips,_1835.jpg

Fig. 28.
ZEAL. (n.d.). Whirling Pattern Hygrometer (Psychrometer), model P2528 [Product photograph].
<https://www.zeal.co.uk/product/whirling-pattern-hygrometer/>

Fig. 29.
Juel, J. (1778). Portrait of Horace-Bénédict de Saussure [Oil on canvas]. Bibliothèque de Genève. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horace-B%C3%A9n%C3%A9dict_de_Saussure.jpg

Fig. 30.
Science Museum Group. (n.d.). De Saussure Hair Hygrometer, 1815–1841, object 1983-1300.
<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co54855/de-saussure-hair-hygrometer-1815-1841>

Fig. 31.
Hong, S.-W., Kim, Y.-M., & Yoon, Y.-C. (2019). The interdigitated-type capacitive humidity sensor using the thermoset polyimide. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 20(6), 604–609.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.6.604>

Fig. 32.
Bosch Sensortec. (n.d.). BME280 combined humidity and pressure sensor: Datasheet.
<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>



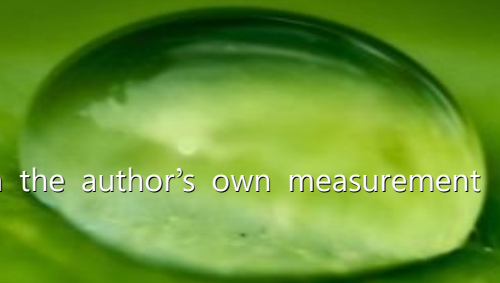
Fig. 33.
Lammel, G., Waffenschmidt, S., Feyh, A., O'Brien, G., & Graham, A. (2014). Combined pressure and humidity sensor. WO2014066768A2, Fig. 1. Robert Bosch GmbH.
<https://patents.google.com/patent/WO2014066768A2/en>

Fig. 34.
41J. (2016, October 19). Throwing the BME280 combined pressure/humidity sensor in a SEM.
<https://41j.com/blog/2016/10/throwing-the-bme280-combined-pressurehumidity-sensor-in-a-sem/>

Fig. 35.
41J. (2016, October 19). Throwing the BME280 combined pressure/humidity sensor in a SEM.
<https://41j.com/blog/2016/10/throwing-the-bme280-combined-pressurehumidity-sensor-in-a-sem/>

Fig. 36.
Vámos, P. (2026). Sensor endpoint [Author's photograph].

Fig. 37.
Vámos, P. (2025). Environmental sensor time-series dashboard [Grafana screenshot based on the author's own measurement data].



Archív változat

Az 1–26. dia a 2026. február 23-án megtartott előadás anyaga.
A 27–31. dia az archiválás során hozzáadott ábraforrás-jegyzék.

Az előadás DOI-ja:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.22869061>

Az előadás oldala:
https://www.galileowebcast.hu/live/live_20260223.html

Az előadás videófelvevétele:
https://www.youtube.com/watch?v=TN-GV_ggPxA

