

Klímaszabályozásra alkalmas mikrokontrolleres rendszer tervezése, építése és kalibrálása

Design and Calibration of a Micro-controller System Suitable for Greenhouse Climate Control

Horváth Kristóf¹ és Lönhárd Miklós^{2*}

¹ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus; horvath.kristof@stud.uni-mate.hu

² Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet, Agrárműszaki Tanszék, Georgikon Campus; lonhard.miklos@uni-mate.hu

*Levelezőszerző: lonhard.miklos@uni-mate.hu

Összefoglalás: A szerzők célja bemutatni, hogy a mezőgazdaság 4.0-ban divatosan használt akár IoT összeköttetéssel, vagy analóg memóriával rendelkező mérőállomásokat, illetve vezérlőket bárki otthon is létre tud hozni feladatspecifikusan és gazdaságosan, a drágább, nagy vállalatok által gyártott mérőműszerek alternatívájaként. Munkánk során létrehoztunk egy olyan mérésadatgyűjtő rendszert, amely jelenlegi állapotában léghőmérséklet és a relatív páratartalom mérésére, és a mérésadatok tárolására alkalmas. A mérésadatgyűjtőt tesztelése és kalibrálása után megállapítható, hogy pontossága hasonló a piacon elérhető termékekéhez, rugalmasan bővíthető és testreszabható. Kapcsolóüzemű tranzisztorok beépítésével, és a programkód kiegészítésével ez az eszköz alapja lehet akár egy klímaszabályzó automatikának, ami a mezőgazdaságban sok területen megjelenik, pl. modern üvegházakban, fóliasátrakban, istállóknban, vagy tárolólétesítményekben.

Kulcsszavak: *precíziós gazdálkodás, meteorológiai állomás, klímaszabályozás, szenzorok, mikrokontroller*

Abstract: The authors' aim is to show that the IoT-connected or analogue memory-based measuring stations and controllers that are in vogue in Agriculture 4.0 can be created by anyone at home, task-specifically and economically, as an alternative to the more expensive measuring instruments produced by large companies. Our work has resulted in a measurement data logger system that, in its current state, is capable of measuring air temperature and relative humidity and storing the measurement data. After testing and calibrating the data logger, we found that it is comparable in accuracy to other products on the market, and is flexible, expandable and customisable. By incorporating switch-mode transistors and adding program code, this device could form the basis of a climate control automation system used in many areas of agriculture, such as modern greenhouses, foil tents, stables or warehouses.

Keywords: *precision farming, weather station, climate control, sensors, microcontroller*

1. Bevezetés

Az első nagyobb összefonódás mezőgazdaság és informatika között az agrometeorológia bevonása volt a növényvédelembe. Megjelentek a digitális meteorológiai állomások, így a gazdák jobban tudták időzíteni pl. a növényvédő szerek kijuttatást, és hatékonyabban is használhatták fel azokat. Segítségükkel az aszályra, vagy a belvíz lehetőségére is jobban fel lehetett készülni. Később a mezőgazdaság többi területére is fokozatosan belopakodtak a digitális berendezések, elég csak egy digitális hő-és pára mérőre gondolni egy üvegházban vagy egy szárítóban. Ezen berendezések tovább fejlesztése alapján jött létre az IoT (Internet of Things) gyűjtőfogalom is (Ashton, 1999). A meteorológiai állomások a modern mezőgazdaságban gyakran kapcsolódnak a digitális agrárinformatikai rendszerekhez, és a felhőalapú adatgyűjtési platformokhoz. Így az adatok gyorsan elérhetőek és elemezhetőek, ami segíthet a termelőknek az optimális termesztési feltételek megteremtésében és a kockázatok minimalizálásában (Jones, 2013). A hőmérséklet és a relatív páratartalom pontos ismerete manapság már nélkülözhetetlen. Számos publikáció jelent meg a hőmérséklet és páratartalom pontos ismeretének fontosságáról, pl. az optimális növényi növekedés és termés hozam közötti összefüggésekről (Taiz és Zeiger, 2010; Wataru és mtsai, 2013; Agrios, 2005), a termesztési időzítés optimalizálásáról (Dzvene és mtsai, 2023), a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásról (Sivakumar, 2018), a vízgazdálkodás és öntözés optimalizálásáról (Allen és mtsai, 2006), a fajtaválasztással és tenyésztéssel kapcsolatos összefüggésekről (Lobell és Gourdjji, 2012), illetve a mezőgazdasági kockázatkezelésről (Antle és Stoorvogel, 2008). A termesztő-, illetve tárolólétesítmények modern üzemeltetése napjainkban szintén elképzelhetetlen a szenzoros érzékelés, és bizonyos fokú automatizáltság nélkül. A három legfontosabb példaként a növényházakat, istállókat, és terménytároló létesítményeket említhetjük. Az üvegházak, fóliasátrak (indoor farming) klímaszabályozásához adatokra van szükség mind a beltéri környezetből (pl. hőmérséklet, páratartalom), mind a külső környezetből (ugyanúgy hőmérséklet és páratartalom, illetve szélirány, szélesebesség), mind pedig a szabályozott berendezések aktuális helyzetéről (ablak és ernyőpozíció, fűtési teljesítmény, stb.). Az irányítási feladatokat legkönnyebben egy klímakomputerrel lehet megoldani (Muñoz-Carpena és mtsai, 2021). A megfelelő istállóklíma fenntartása javíthatja az állatok egészségét, jólétét, és növelheti a termelékenységet. Állatjóléti szempontból fontos az istálló megfelelő hőmérséklete, páratartalma, CH₄, NH₃, és CO₂ tartalma. Automatizált rendszerekkel, hőmérséklet-, páratartalom- és gázérzékelőkkel folyamatosan figyelhetik ezeket a paramétereket (Monsalve és mtsai, 2019). Szintén automatizálható a szellőztető rendszer, működtetése, amely biztosítja a friss levegőt és csökkent a hőstresszt (Wheeler, 2009). A mérési adatok segíthetik az automatizált takarmány- és vízellátó rendszerek tervezését és beállítását (http1), optimalizálva a táplálkozást és a vízellátást (Sun és mtsai, 2021). A gabonasilókban szenzorok mérik a tároló légterének és a gabonahalmaznak a hőmérsékletét és a nedvességtartalmát, szintérzékelők a gabonaszintet, és gázérzékelők a légtér etilén és széndioxid tartalmát. Mindezek nagyon fontosak a korszerű tárolástechnológiák megvalósításához (Akila és Shalini, 2018).

2. Anyag és módszer

Célunk egy olyan Arduino mikrokontroller alapú, digitális hőmérséklet- és relatív légnedvességet mérő állomás megalkotása volt, amely szabadföldön, vagy zárt térben mérésadatgyűjtésre, illetve minimális szoftveres módosítással klímaszabályzó eszközként is használható. Az Arduino számos modellt és változatot kínál (Margolis, 2011), ereje az egyszerűségében és a modularitásában rejlik. A hardver megépítéséhez egy ATmega328 típusú mikrokontrollert tartalmazó 3. generációs Arduino UNO R3-at választottunk, amelyen már

minden lényeges részegység (CPU, analóg-digitális ki- és bemenetek, A/D, D/A konverter, stb.) integrált (http2). További felhasznált egységek:

- Arduino Proto Shield: az épített áramkörök teszteléséhez,
- 2 db különböző gyártmányú DHT22 AM2302 típusú digitális pára- és hőmérséklet mérő szenzor: hőmérsékleti mérési tartománya 40°C és +125°C között van $\pm 0,5^\circ\text{C}$ -os pontossággal, a páratartalom mérési tartománya 0-100RH%-ig, 2-5RH%-os pontossággal,
- PCF8523 RTC (Real Time Clock): a pontos idő jelzésére, illetve a mérési mintavételi frekvenciának megfelelően riasztást generál. A pontossága miatt külön energia forrást igényel (egy Cr1220-as gombelemet),
- Arduino Uno Shield Powerbank: a mikrokontroller áramforrása, kettő darab 16340-es méretű LiPo akkumulátorral, átlagos felhasználás mellett 20 órányi mérést tesz lehetővé (Evans, 2008),
- SD kártya foglalat és SD kártya: a mérésadatok tárolására,
- egyedileg tervezett és 3D nyomtatással elkészített burkolat.

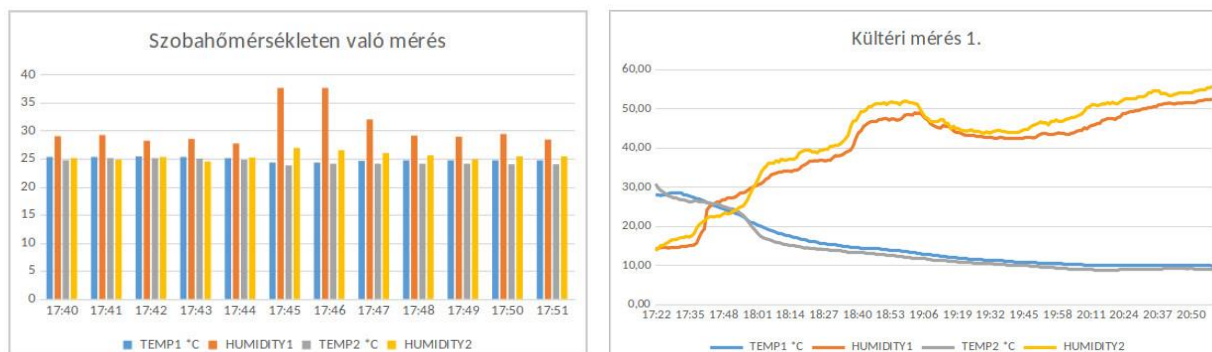
A fejlesztőmunka során felhasznált szoftverek

- Autodesk Inventor 2021 a burkolat 3D tervezéséhez,
- Arduino IDE a mikrokontroller felprogramozásához.

Az elkészült eszköz hatékonyságát és pontosságát különböző helyszínű, és időtartamú tesztekkel kívántuk feltárni. A próbamérések (25 darab) tapasztalatai alapján mérési és tesztelési programunkat négy különböző részre osztottuk. Az első mérés beltérben szobahőmérsékleten történt, a szenzorok egymás mellett, de egyikük burkolaton kívül másikuk burkolaton belül voltak az Arduinohoz csatlakoztatva. Célunk ezzel a két érzékelő működése közötti különbségek megfigyelése volt, a későbbiekben a kalibráláshoz ezek az adatok elengedhetetlenek. A második és harmadik mérést már a szabadban végeztük, azonos helyszínen, a hőérzékelők felcserélésével, egyrészt a két érzékelő mérési pontosságának, másrészt a burkolat méréseket befolyásoló hatásának feltárására. A negyedik teszt Keszthely külterületén, szántóföld közelében, 24 órán át folyt, céljai a megalkotott mérőeszköz kalibrációja, illetve az áramforrás kapacitásának ellenőrzése voltak. A helyszín kiválasztásában nagy szerepet játszott a természetes környezet, vagyis az erős szél és a csapadék lehetősége így tesztelvén a burkolat hatékonyságát is. A kalibrációhoz szükséges hiteles adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett QLC 50 típusú automata klíma állomás volt, amely tartóvázára helyeztük el a vizsgált mérésadatgyűjtőt. A hiteles adatsorokat a nyilvánosan elérhető <http://odp.met.hu> oldalról töltöttük le 10 perces bontásban, amely elegendően nagy felbontású a pontos kalibráció elvégzéséhez. A műszer a beépített SD-kártyára .txt formátumban mentette a mérésadatokat, amelyeket táblázatkezelő szoftverrel jelenítettünk meg, és értékeltünk ki.

3. Eredmények és értékelésük

Az 1. ábrán bal oldalon az összeépítés utáni első 11 perces, beltéri mérés eredményei láthatók. Az eszköz burkolatán belül elhelyezett 1-essel jelölt szenzorhoz képest a kívül elhelyezett 2-es szenzor által mért páratartalom átlagosan 5% eltérése figyelhető meg. Kivételt képez az ábra közepén jól látható, 17:45-ös és 17:46-os időpontban mért eredmény, ahol egy ruhadarabbal letakarva a szenzorok reakcióidejét teszteltük. A hőmérséklet értékek esetében átlagosan 0,3°C eltérés mutatkozott a két szenzor mérésadatai között.



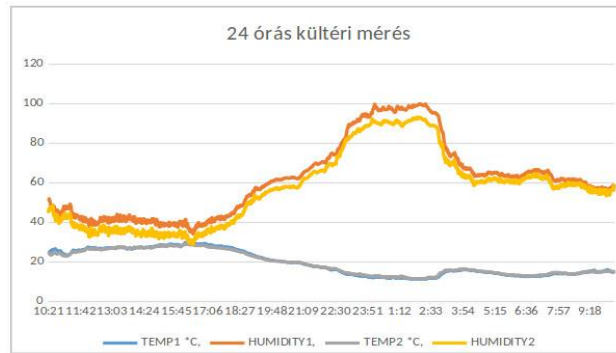
1. ábra: bal oldalon: az első beltérben történt 11 perces mérés eredményei; jobb oldalon: a második, kültéri, 220 perces mérés eredményei, vízszintes tengelyen a mérés időpontja, a függőleges tengelyen a mért hőmérséklet értékei °C-ban, illetve a relatív páratartalom %-ban kifejezve

A második, kültéri vizsgálat során a mérésadatgyűjtő a környezeti hatásoknak már teljesen ki volt így téve (eső, szél, napsütés stb.) viszont végig közvetlen felügyelet alatt volt. A hőmérséklet-vonalak diagram elején látható nagy letörése a kihelyezés utáni hőmérséklet-kiegyenlítődést mutatja, ugyanis radiátor közeléből, +30 °C kezdő hőmérséklettel került ki az eszköz a szabad levegőre. A harmadik, szintén kültéri mérésnél a két szenzort felcseréltük, ezzel az egymáshoz viszonyított eltéréseket kívántuk meghatározni. Az eredmény az 1. táblázatban jól megfigyelhető, az eltérés a korábbiakhoz képest a duplájára emelkedett. Ezt a folyamatot leállítottuk 88 perc után, mivel a táblázatban látható eltérések változást nem mutattak.

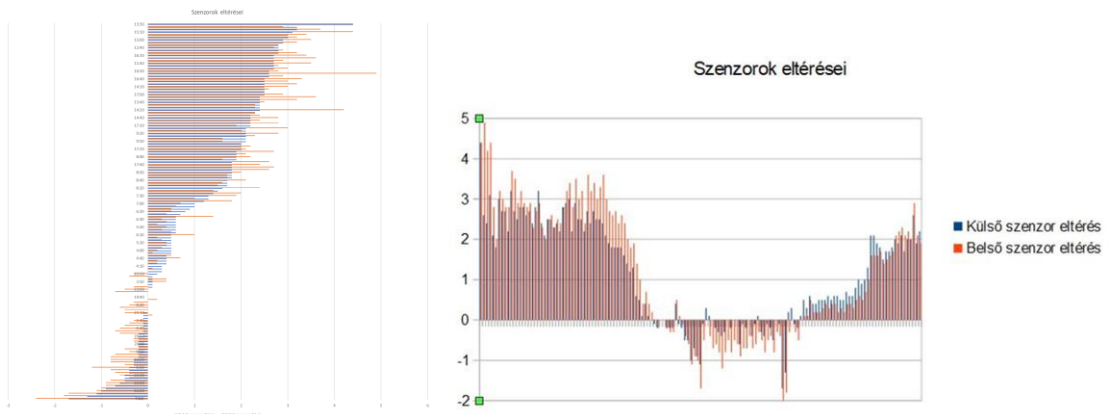
1. táblázat: egy-egy részlet az eredeti (bal oldalon) és a felcserélt szenzorokkal (jobb oldalon) kapott méréseredményekből. Értelemszerűen a „DATE” oszlop az adott napra utal, a „TIME” a pontos időre, míg a „TEMP” és a „HUMIDITY” a hőmérsékletre és a páratartalomra

DATE,	TIME,	TEMP1 °C,	HUMIDITY1,	TEMP2 °C,	HUMIDITY2,	DATE	TIME	TEMP1 °C	HUMIDITY1	TEMP2 °C	HUMIDITY2
13/4/2024,	14:18:00	26.10,	48.70,	25.50,	57.00	24/3/2024	17:40	25,3	29	24,7	25,1
13/4/2024,	14:19:00	26.70,	48.60,	25.70,	58.90	24/3/2024	17:41	25,3	29,2	25,1	24,8
13/4/2024,	14:20:00	26.70,	47.40,	25.70,	59.00	24/3/2024	17:42	25,4	28,2	25,1	25,3
13/4/2024,	14:21:00	26.70,	47.00,	25.80,	57.40	24/3/2024	17:43	25,3	28,5	25	24,5
13/4/2024,	14:22:00	26.60,	47.20,	25.70,	56.60	24/3/2024	17:44	25,1	27,7	24,8	25,2
13/4/2024,	14:23:00	26.50,	48.00,	25.50,	57.10	24/3/2024	17:45	24,3	37,6	23,8	26,9
13/4/2024,	14:24:00	26.50,	47.80,	25.50,	57.40	24/3/2024	17:46	24,3	37,6	24,1	26,5
13/4/2024,	14:25:00	26.50,	47.80,	25.50,	57.20	24/3/2024	17:47	24,6	32	24,1	26
13/4/2024,	14:26:00	26.50,	47.50,	25.50,	57.10	24/3/2024	17:48	24,7	29,1	24,1	25,6
13/4/2024,	14:27:00	26.40,	48.10,	25.40,	56.90	24/3/2024	17:49	24,7	28,9	24,1	24,9
13/4/2024,	14:28:00	26.50,	47.90,	25.40,	57.60	24/3/2024	17:50	24,7	29,4	24	25,4
						24/3/2024	17:51	24,7	28,4	24	25,4

A negyedik, éles teszt elvégzéséhez a szeszélyes tavaszi időjárás ideális volt, a mérés alatt éjfél körül egy zivatar is volt. A mérés előtt visszatettük a két szenzort az eredeti helyére, így voltak kisebbek a két szenzor által mért értékek közötti különbségek (az összetartozó hőmérséklet-értékek közötti eltérések átlagosan 0,2-0,5 °C között mozogtak, míg a relatív páratartalomnál 5% körüli eltérések figyelhetők meg). A 3D nyomtatással készült burkolat jól vizsgázott, az erős szél és csapadék ellenére az elektronikus részek hiba nélkül üzemeltek. A kalibrációs jelleggörbék felvételéhez szükséges hiteles hőmérséklet és páratartalom értékeket a negyedik méréssel egy időben egy hitelesített eszköz (QLC 50) segítségével kaptuk. A 3. ábrán a 12,2 °C és 26,2 közötti hőmérséklet-tartományra érvényes kalibrációs diagram, illetve a teljes 24 órás mérés eredményei láthatók.



2. ábra: A negyedik, 24 órás szabadföldi mérés során kapott adatok, a vízszintes tengelyen a mérés időpontja, a függőleges tengelyen a hőmérséklet értéke °C-ban, illetve a relatív páratartalom %-ban kifejezve látható



3. ábra: Bal oldalon a 12,2 °C és 26,2 °C közötti hőmérséklet-tartományra érvényes kalibrációs diagram; jobb oldalon a kalibrációhoz felhasznált 24 órás mérés eredményei időrendi sorrendben, a függőleges tengelyen a hiteles értéktől való eltérés értékei °C-ban kifejezve látható

4. Következtetések, javaslatok

A mérésadatgyűjtő kísérleti burkolata a belső légáramlást segítő kiegészítő furatok miatt nem tekinthető már csepp állónak, ezt az ajtó újra tervezésével, ill. a doboz fenekén lévő lyukak számának redukálásával lehetne biztosítani. Üvegházi elhelyezés esetén a szenzorok kivételével páraszigeteléssel is el kell látni az áramkört az üzembe helyezés előtt. A burkolat alapanyagának a jelenlegi PLA helyett ASA filament választása lenne célszerű az UV sugarakkal szembeni védelem miatt. Tapasztalatok alapján a hagyományos műanyag ilyen falvastagsággal maximum két évet bír ki. (Gáspár, 2023) Mivel a flash alapú memóriák újra felhasználhatósága véges, és a modern eszközöknél már megszokott a felhőalapú kommunikáció, a későbbiekben állandó használat mellett célszerű lenne IoT-val ellátott Arduinoval vagy IoT modullal a jelenlegi rendszert kiegészítve felhőbe küldeni a mérési adatokat. A fejlesztés és a próbatesztek során kényes feladat volt az áramellátás, több hiba, ill. rendellenesség után jutottunk el a jelenlegi, végsőnek még mindig nem nevezhető megoldáshoz. Mindezek ellenére kimondható, az általunk kifejlesztett mérőrendszer működőképes, a hozzárendelt feladatokat ellátja, és további fejlesztések széles körű lehetősége fennáll. Jelen állapotában csupán egy meteorológiai mérésadatgyűjtő, de csekély hardveres (kapcsolóüzemű tranzisztorok a kimeneten) és szoftveres módosítással (programkód a kimenetek vezérlésére) klímaszabályozóként is működőképes.

Irodalom

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology Fifth Edition, Elsevier Academic Press.
- Ahston, K. 1999. Presentation at Procter & Gamble (P&G), <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Akila, A., Shalini, P. 2018. Food grain storage management system, *International Journal of Engineering & Technology*. **7** (2.31) 170–173. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.31.13433>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Antle, J. M., Stoorvogel J. J. 2008. Agricultural carbon sequestration, poverty, and sustainability, *Environment and Development Economics*. Cambridge University Press, **13** (3) 327–352, June. <https://doi.org/10.1017/S1355770X08004324>
- Dzvene, A. R., Tesfuhuney, W., Walker, S., Ceronio, G. 2023. Optimizing the planting time and stand density of sunn hemp intercropping for biomass productivity and competitiveness in a maize-based system. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109179>
- Evans, B. W. 2008. Arduino Programming Notebook Second Edition, Creative Commons, San Francisco, USA
- Gáspár, I. 2023. 3D nyomtatás elméleti alapok kezdőknek, oktatási előadásanyag, MATE, Élelmiszeripari Műveletek és Folyamattervezés Tanszék
- Jones, H. G. 2013. Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511845727>
- Lobell, D. B., Gourdj, S. M. 2012. The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity. *Plant Physiology*. **160** (4) 1686–1697 <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>
- Margolis, M. 2011. Arduino Cookbook, ISBN 978-0-596-80247-9
- Monsalve, J. S., Arnold D., Yi, W., Sanjie, J. 2019. Design Flow of Wearable Internet of Things (IoT) Smart Workout Tracking System. <https://doi.org/10.1109/EIT.2019.8833917>
- Muñoz-Carpena, R. C., Lauvernet, C., Carluer, N., Fox, G. A. 2021. Comment on ‘Modeling slope rainfall-infiltration-runoff process with shallow water table during complex rainfall patterns’ by Wu et al. *Journal of Hydrology X*. **13**, 100133. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100113>
- Sivakumar, M. V. K. 2018. Climate Extremes and Impacts on Agriculture. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0003>
- Sun, Y. - Ip, P. S. - Jones, M. - Wang, J. J. 2021. Determinants of Animal Welfare Disclosure Practices: Evidence from China. <https://doi.org/10.3390/su13042200>
- Taiz, L., Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. 5th Edition, Sinauer Associates Inc.
- Wataru, Y., Kouki, H., Way, D. A. 2013. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
- Wheeler, E. F. 2009. Ammonia monitoring in animal environments using simple instruments. Agricultural and Biological Engineering Fact Sheet G-110, The Pennsylvania State University, University Park, Penn.
- http1: <https://extension.psu.edu/new-penn-state-dairy-idea-plans-feature-automatic-milking-systems>
- http2: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328>

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik:
CC-BY-NC-ND-4.0.

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

