

AUTOMATIZÁLT KOMBUCHA TEA FERMENTÁLÓ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF AUTOMATED KOMBUCHA TEA FERMENTATION EQUIPMENT

Ferenczi Gábor*, Kátai Kristófné**

ABSTRACT

The paper aimed to design the control system for a home-based kombucha tea fermentation device and to develop a test system. This included learning about the fermentation process, establishing the software and hardware requirements for the device in order to produce a user-friendly, safe automatic tea fermentation system that allows for remote monitoring of measured and controlled values, and aims to minimize manual intervention so that the prepared beverage remains of nearly constant quality.

1. BEVEZETÉS

A kombucha egy minimális alkoholtartalmú, bioaktív vegyületekben gazdag ital, amelyet növényi alapanyagok (tealevelek, tetszőleges gyümölcslevek, fűszerek és gyógynövények), valamint egy baktériumokból és élesztőgombákból álló szimbiotikus kultúra erjedési folyamata révén állítanak elő. Pozitív egészségügyi hatásainak köszönhetően manapság egyre nagyobb népszerűségnek örvend. Ezekért a jótékony tulajdonságokért elsősorban a benne található kémiai alkotóelemek – többek között az ecet- és tejsav, a fenolok és a flavonoidok – felelősek. Maga a fermentációs időszak általában 10 – 15 napot ölel fel.

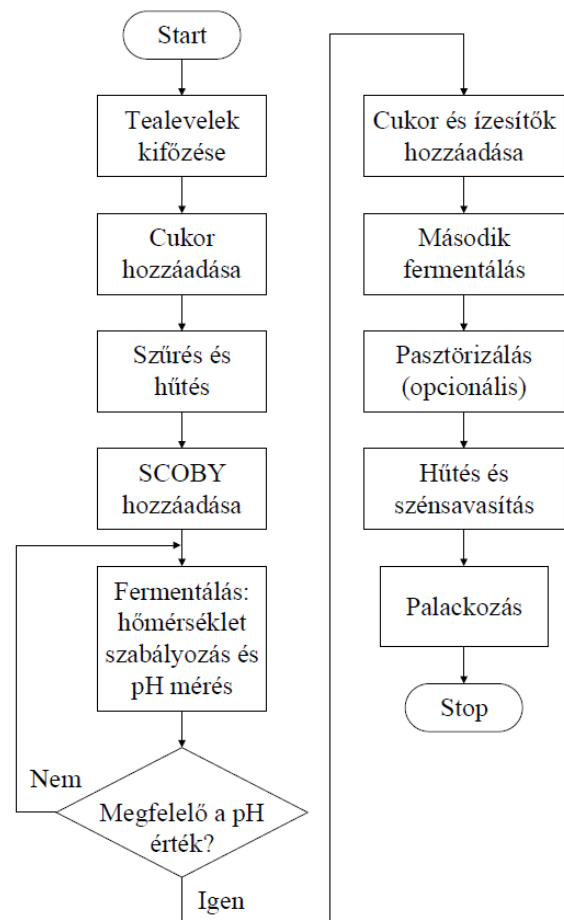
Az alábbi tanulmány azt tűzte ki célul, hogy egy otthoni körülmények között működő tea erjesztő berendezés vezérlését megtervezzék és egy tesztrendszer kerüljön kialakításra. Ennek része az erjesztési folyamat megismerése, a berendezéshez szükséges szoftveres és hardveres követelményrendszer felállítása annak érdekében, hogy egy felhasználóbarát, biztonságos automata tea erjesztő rendszert lehessen előállítani, amely lehetővé teszi a mért és szabályozott értékek monitorozását távolról is, emellett a manuális beavatkozást minimalizálni kívánja úgy, hogy az elkészített ital közel állandó minőségű maradjon.

A fejlesztés során az alábbi területeket érintette a projekt:

- adott tartály fűtési lehetősége és folyamata,
- enyhén savas közegben hőmérsékletmérési lehetőségek kivitelezése,
- hőmérséklet-szabályozás megvalósítása,

- pH érték mérési lehetőségei, illetve a mérőeszköz semlegesítése két mérés között,
- automata berendezés felépítési stratégiája,
- mérési adatok rögzítése,
- távoli elérés biztosítása megfigyelés és értesítés szempontjából.

Az 1. ábrán látható a kombucha tea főzésének teljes folyamatábrája, ahol a SCOBY a „Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast” angol kifejezés rövidítése, ami magyarul baktériumok és élesztőgombák szimbiotikus kultúráját jelenti. Ennek a folyamatnak az automatizálása részekre bontható, így a kutatómunka és tesztberendezés fejlesztése az első fermentálási ciklust hivatott szolgálni.



1. ábra A kombucha tea előállításának folyamatábrája

* mechatronikai mérnök hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

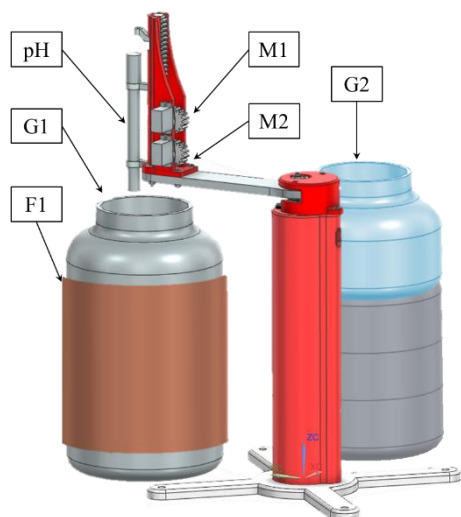
Az elméleti lehetőségek feltárása és a nagyipari gyakorlatban az ismert automata főzési folyamat megismerését követően [1] – [7] alapján két koncepciót került kidolgozásra.

2. MECHANIKAI ÉS ELEKTRONIKAI FEJLESZTÉS

A kidolgozott konstrukciókban közös, hogy a folyadék hőmérsékletét közvetlenül lehet mérni egy saválló burkolattal rendelkező hőmérsékletmérő szenzorral, továbbá a főzőedény fűtését egy alapvetően rugalmas, palástfelületre rögzíthető fűtőlap végzi. Utóbbi aktuátorhoz megfelelő teljesítményű tápegység lett kiválasztva. A fermentáló berendezés LCD kijelzővel rendelkezik a felhasználói felület kialakításához, illetve nyomógombok segítségével kezelhető az egyedileg programozott menürendszer. A biokémiai folyamatok által okozott pH értékbeli változását mindkét konstrukció esetén egy SEN0161 típusú szenzorral lehet figyelni. A mérés pontosabb kivitelezéséhez, illetve az érzékelő hosszabb élettartamának megőrzése érdekében az egyes pH-mérések után egy semlegesítő közeggel kell átmosni, vagy abban tárolni. A 2.1. és 2.2. alfejezetek a pH méréshez szükséges konstrukciókat vázlatokat mutatják be.

2.1. Karos manipulátor konstrukciója

Az első változat, amely a 2. ábrán látható, egy olyan konstrukció, ahol a pH-érzékelőt egy manipulátor mozgatja a tartály fölé, majd belemártja a vizsgálandó közegbe (G1). A mérést követően a kar kiemeli és visszahelyezi a szenzort a semlegesítő közegbe (G2). A tervezés első fázisában ez a konstrukció került modellezésre 3D tervező program segítségével. Az alap modell egy SCARA típusú robothoz hasonló manipulátor volt.



2. ábra pH-mérés első konstrukciója

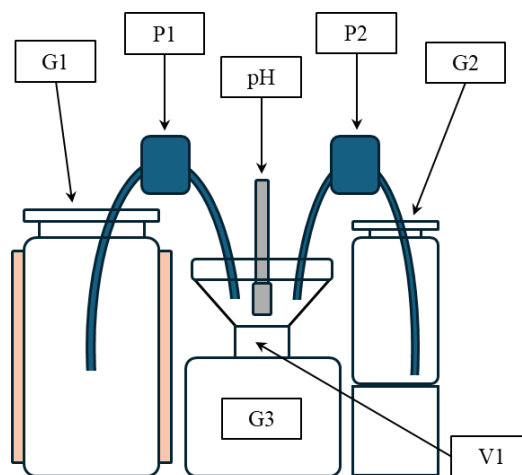
A geometriai méretek a tartályhoz (G1) lettek igazítva, továbbá a pH-szenzor felfogatását biztosító elemekkel

egészült ki a végső mozgó alkatrész. A függőleges elmozdulás tartományát végállaskapcsolók segítségével lehet limitálni, amelyek relélogika esetén a hajtó motorok (M1 és M2) közvetlen megállítását teszik lehetővé, míg bemeneti jelként használva a végállaskapcsolókat: szoftveresen is kezelhető a feltétel-rendszerben.

Ez a verzió megoldást nyújt a pH-mérő eszköz élettartamának növelésére. Viszont hátrányai között szerepel, hogy a semlegesítő közeget is cserélni kell, illetve a szenzor bemártásakor azon a közegen is át kell haladni, ami a reakciós folyamat habja, ez ronthatja a mérési eredmények pontosságát. Végül pedig tisztasági szempontból sem a legjobb megoldás, mert a szenzor kivételét követően a mozgatók során elcsepeghet a mintavételezett folyadék, ami miatt szintén elvezetést vagy védő burkolati elemet kell alkalmazni.

2.2. Pumpás mintavétel konstrukciója

A másik pH-mérési konstrukció a nagyüzemi megoldásokból merített ihletet, a kivitelezés pedig otthon is könnyedén alkalmazható eszközöket részesít előnyben.



3. ábra pH-mérés második konstrukciója

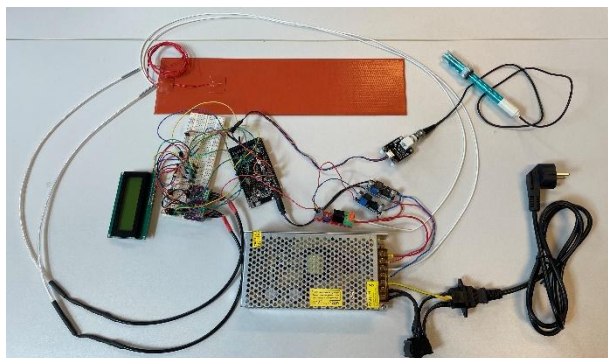
A 3. ábrán látható vázlat szemlélteti, hogy a pH-ellenőrzésére mintavételi szivattyúzás történik az első pumpa segítségével (P1). Ekkor a melléktermék leeresztő szelep (V1) zárt állapota mellett a mintavételező pohár a megfelelő szintig tölthető. Miután a pH-mérési folyamat végbement, azaz megfelelő időt töltött a szenzor a közegben és stabilizálódott a mintavételi jel, akkor a leeresztőszelep nyitásával a mintavételezett folyadék a melléktermék tartályba távozik (G3). Ezt követően a leeresztőszelep újra lezár és a második pumpa fog működni, ami a semlegesítő közeget juttatja a mintavételező pohárba, így a szenzorhoz is. Ezt ciklikusan megismételve átmosható, azaz semlegesíthető a mintavételi pohár és a szenzor két mérés között. Minden mintafolyadék és használt semlegesítő közeg a melléktermék tartályba távozik. A mintavételi pohár és a tartályok is alapvetően zárt edények, csupán a szükséges levegőmozgás érdekében rendelkeznek minimális

légáteresztő nyílásokkal. A G1 tartály esetén nemcsak a szivattyúzás lehetősége, hanem a biokémiai reakciók oxigénellátása is biztosított ezekkel nyílásokkal.

2.3. A szükséges hardveres és szoftveres elemek

Az egyedei tervezésű, otthoni használatra alkotott kombucha tea fermentáló berendezés testáramköre látható a 4. ábrán. A vezérlés központi eleme egy WIFI-R3-MEGA kombinált fejlesztői platform, amelyben a szenzorjelek fogadását és az aktuátorok vezérlését egy ATmega2560 típusú mikrovezérlő irányítja, amely soros porton kommunikál egy beépített ESP8266 wifi modulal. Ez utóbbi teszi lehetővé, hogy a mért adatokat és a fermentálási folyamat állapotáról szóló információkat eljuttassa egy saját webszerverre. Innen természetesen email-es értesítés is programozható, hogy a felhasználó visszajelzést kapjon a több napos (akár egy hetes) fermentálási folyamat eredményéről.

A fermentálás során 2-3 óránként érdemes pH-mérést végezni, illetve a hőmérsékletet a szabályozás miatt percenként mintavételezni kell. Az adatok lokális tárolása is megoldott, a biztonság kedvéért egy microSD kártyára való mentéssel.



4. ábra Testáramkör a fermentáló berendezéshez

A hőmérséklet szabályozásban egy 12 V-os szilikon fűtőlapp lett elhelyezve, amelyhez egy 200 W-os tápegység lett vásárolva. A váltakozóáram oldalán egy kétáramkörös főkapcsoló található, amely mind a nulla, mind a fázis vezetőt megszakítja OFF állásban. A tápegység 12 VDC-t szolgáltat a kimenetén és áramkorlátra vonatkozó biztosítékot is tartalmaz. Ezt a végső konstrukcióban érintésvédelmi szempontokat is figyelembevéve, továbbá a megfelelő szellőzés biztosítva kerül majd beépítésre. Az egyenáramú oldalon kettő darab LM2596 típusú step-down konverter található: az egyik a kombinált fejlesztői platform számára állít elő stabilizált 7 V egyenfeszültséget, míg a másik egy vezérelhető relémodul számára szolgáltat 5 V DC gerjesztőfeszültséget. Ez utóbbit azért kellett külön áramkörként kötni, mert a relémodul meghúzása és gerjesztett állapotban való tartása nagyobb áramfelvételt igényel, mint amit az Arduino Mega fejlesztői platform engedélyezhet a kimenetén. Tehát a vezérlő jel 5 V-os

tartományban érkezik, de a relétekeres gerjesztése és tartása a step-down konverter felől érkezik.

A hőmérsékelt mérése három helyen történhet. Először is található egy beépített hőmérsékelt mérő a fűthető szilikonpanelben. Ezt a lehetőséget azért nem használja a vezérlés, mert nem közvetlenül a panel hőmérsékeltére kell a szabályozást végezni, hanem a fermentált közegére. A második hőmérési pont a közegbe vezetett, a folyadék felső egyharmadban elhelyezett, saválló burkolattal rendelkező PT-1000 típusú hőmérsékletszenzor. A vezérlő felé a mérőjel erősítése és digitalizálása egy MAX31865 típusú modul segítségével történt. Az A/D konverterrel SPI (Serial Peripheral Interface) kommunikációs protokoll használatával kommunikál a központi egység, illetve a logikai jelszint 3,3 V. A mérési tartomány a modul ellenállásának módosításával szűkült. Így a 100 °C-os tartományra korlátozott mérés azonos felbontás mellett jelentősen növeli az adatok pontosságát. A fermentálás során 24 °C és 29 °C között kell tartania a folyadékot a rendszernek. A harmadik hőmérési pont a tartály alsó egyharmadában lévő hasonló hőmérővel és A/D konverter beépítésével történt.

A fermentációs folyamat során a tea savasságát egy SEN0161 DFROBOT pH-mérő szenzorral lehet mérni. Ez az érzékelő analóg módon méri a pH értéket, és azzal arányosan kb. $\pm 400\text{mV}$ -os feszültséget szolgáltat: a pozitív tartomány a savas közegre utal, míg a negatív a lúgosra. Ezt a jelet a modul átalakítja 0 – 5 V-os tartományon belüli analóg jellé, amely már kompatibilis lesz a fejlesztői platform analóg bemenetével.

A 4. ábrán látható testáramkörben négy nyomógomb található, amelyek a funkciók közötti váltást teszik lehetővé, illetve a fermentálási időzítő beállítását. Az egyik üzemmód a felhasználó által időzíti a folyamatot, tehát megadja a fermentáció időtartamát. Eszerint megy végbe a felfűtés, a hűtőtartás folyamata és adott időben pedig a leállítást. Ezzel szemben az automata üzemmódban a felfűtést követően a hűtőtartás mindaddig folytatódik, amíg a ciklikus pH-mérés értéke stabilan 2,5 – 3,5 savas pH érték között nem marad. Ha a pH-érték 4,6 feletti, akkor a kórokozók elszaporodnak így nem biztonságos a fogyasztói felhasználás, 3-as pH érték már ízre is biztosítja az élvezeti értéket, ha 2-es pH alá csökkenne a savasság, akkor túl savanyúvá válna a végtermék.

A testáramkörben látható még egy LCD kijelző is, ami az információk közlésére alkalmas. Kijelzi az üzemmódot, a beállított értékeket, az aktuális mérési eredményeket és az egyik üzemmód esetén a hátralévő idő visszaszámlálása is követhető.

A megvalósított testáramkör a jelenlegi állapotában validálta a programozott vezérlő működőképességét. Az első konstrukció esetén a motorok vezérlése is sikeres volt. A második konstrukció esetén a pumpák (szivattyúk) működtetését LED-ek helyettesítették. Az adatok rögzítése és microSD kártyára való mentése is sikeres volt, csak úgy, mint a webszerverre történő adattovábbítás és a felhasználói értesítési folyamata is.

Továbbá beállításra került a hőmérséklet érzékelők mérési tartománya is, illetve a pH-szenzor jelének feldolgozása is.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben egy kombucha tea főzés folyamatában található, első fermentálási szakasz automatizálásáról esett szó, amely elsősorban háztartási berendezés fejlesztésére irányult. A tealevelek kifőzése, a cukor hozzáadása, a szűrés, a hűtés és a SCOBY hozzáadása egyelőre nem szerepelt az automatizálási feladatok között. Miután a felhasználó otthoni körülmények között az előbb felsorolt előkészületeket elvégzi, akkor beletöltheti a fermentáló eszközbe, amely ebben a tanulmányban került bemutatásra. Az automata ciklus felmelegíti a korábbi főzetet 24°C és 29°C közé, majd ezen a hőmérsékleten tartja. A folyamat szabályozásához nemcsak hőmérsékletmérő szenzorokat integrál, hanem pH-mérést is végez a rendszer. A teljesen automata üzemmód választása esetén mindaddig végzi a fermentálást, amíg a pH érték még 2,5 felett marad, de már tartósan 3,5 alá csökken. A felhasználót értesíti nemcsak a beépített LCD kijelzőn, hanem akár távoli eléréssel, elektronikus kommunikáción keresztül is például email-ben. A folyamat mérési adatai lokálisan microSD kártyára történnek, továbbá elérhető vezeték nélküli internetkapcsolat esetén, hálózatra csatlakoztatva egy webszerverre is elküldi a fermentálási folyamat adatait. A cikk két konstrukciós tervet mutatott be a pH mérésre, illetve a választott hardveres és szoftveres elemeket. Továbbá ismertette az egyedi áramkört is a tápellátástól a konvertereken keresztül egészen a vezérlőig, illetve az adatszolgáltatásig.

4. SUMMARY

This article discussed the automation of the first fermentation stage in the process of brewing kombucha tea, which was primarily aimed at developing a household appliance. Brewing the tea leaves, adding sugar, filtering, cooling and adding the SCOBY were not yet included in the automation tasks. After the user completes the tasks before at home, he can then load it into the fermentation device presented in this study. The automatic cycle heats the previous brew to between 24°C and 29°C and then maintains it at this temperature. In order to control the process, the system not only integrates temperature sensors, but also performs pH measurements. If the fully automatic mode is selected, the fermentation continues until the pH value remains above 2.5 but has already dropped permanently below 3.5. The user is notified not only on the built-in LCD display, but also remotely, via electronic communication, such as by email. The process measurement data is stored locally on a microSD card, and if a wireless internet connection is available, it also sends the fermentation process data to a web server when connected to a network. The article presented two construction plans

and the selected hardware and software elements. Furthermore, the individual circuit was presented, from the power supply through the converters to the controller and data supply.

5. IRODALOM

- [1] WEEKS M.: *Arduino Controlled Brewing*, SoutheastCon 2015, Fort Lauderdale, USA, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/SECON.2015.7132950>.
- [2] XIAODONG Z., JIE Z., KE L.: *Design and implementation of control system for beer fermentation process based on SIMATIC PLC*, The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC), Qingdao, China, 2015, pp. 5653-5656, <https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7161809>.
- [3] ANTOLAK H., PIECHOTA D., KUCHARSKA A.: *Kombucha Tea—A Double Power of Bioactive Compounds from Tea and Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY)*, *Antioxidants* 2021, Vol. 10, No. 10, paper 1541, <https://doi.org/10.3390/antiox10101541>
- [4] CHAUHAN J., Neelakantan U.: *An experimental approach for precise temperature measurement using platinum RTD PT1000*, 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, India, 2016, pp. 3213-3215, <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755297>.
- [5] FARID D.F.M., ABDULLAH S., BAKAR M.F.A.: *Review of the benefits of kombucha tea: chemical components and pharmacological activities*, *Food Research* 8 (Suppl. 5), 2024, pp. 70 – 83., [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(S5\).8](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S5).8)
- [6] ANDRADE D.K.A., WANG B., LIMA E.M.F., SHEBEKO S.K., ERMAKOV A.M., KHRAMOVA V.N., IVANOVA I.V., ROCHA R.D.S., VAZ-VELHO M., MUTUKUMIRA A.N.: *Kombucha: An Old Tradition into a New Concept of a Beneficial, Health-Promoting Beverage*, *Foods* 2025, Vol. 14, No. 9, paper 1547, <https://doi.org/10.3390/foods14091547>
- [7] OLIVEIRA P. V. de, SILVA júnior A. H. da, OLIVEIRA C. R. S. de, ASSUMPÇÃO C. F., OGEDA C. H.: *Kombucha benefits, risks and regulatory frameworks: A review*, *Food Chemistry Advances*, 2023, Vol. 2, paper 100288, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100288>