

# *Zárt többszintes termelési rendszer – egy lehetőség*

**RATKÓCZY DÁNIEL – MIZIK TAMÁS – SZABÓ ZOLTÁN**

**Kulcsszavak:** mezőgazdaság, zárt termelési rendszer, vertikális gazdálkodás

**JEL kód:** Q01, Q16

## **ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK**

A túlnépesedés és a klímaváltozás egyaránt komoly kihívás elé állítja az emberiséget, ráadásul megkérdőjelezi a jelenlegi, intenzív inpushasználatra épülő termelési rendszerek fenntarthatóságát. Mindez egyaránt érinti az élelmezés- és az élelmiszerbiztonság kérdéskörét. A népesség növekedésével ráadásul folyamatosan csökken az egy főre jutó termőterület. Ezekre a problémákra együttesen nyújtanak válaszlehetőséget a zárt, többszintes, precíziós termelési rendszerek. Előnyeik közé tartozik, hogy függetlenek az időjárási viszonyoktól, egész évben lehetővé teszik a folyamatos termelést, valamint jól automatizálható a termelési folyamat. A precíziós technológia révén kisebb az inputfelhasználás, a zárt rendszerben növényvédőszerre sincs szükség. Ugyanakkor a technológia legnagyobb hátránya, hogy a hagyományos termeléshez képest jelentősebb a termelési költség. A családi ház pincéjében megvalósult római saláta kísérlet eredményei teljes mértékben összhangban vannak a szakirodalommal: kiemelkedően fontos a termelés minden paraméterének az optimális szinten tartása, mivel enélkül nem lesz ideális a saláta fejlődése. A költségkorlát miatt ez a hőmérséklet vonatkozásában nem teljesült, aminek a következtében megállt a fejek növekedése. Ugyanakkor az is kiderült, hogy a termelés egyszerűen és költséghatékonyan megvalósítható, vagyis technikailag nincs akadálya akár a városi környezetben történő termelésnek sem. Bár jelenleg gazdasági szempontból ez még nem mindenhol fenntartható (a termékellátás költsége magasabb, mint a szántóföldi növénytermesztés esetén), azonban környezeti és társadalmi előnyei vitathatatlanok.

## **BEVEZETÉS**

A Föld népessége folyamatos – és egyben gyorsuló – növekedést mutat, különösen a kevésbé fejlett régiókban, ami a FAO előrejelzése szerint 2030-ra eléri a 8,5 milliárdot, míg 2050-re a 9,7 milliárd főt (UN, 2022). Ilyen körülmények között a jelenlegi, intenzív inpushasználatra épülő termelési rendszerek nem lesznek fenntarthatók a negatív környezeti hatásai miatt (FAO, 2017). Ugyanakkor megfelelő mennyiségű (élelmezésbiztonság) és minőségű (élelmiszerbiztonság) élelmiszerre növekvő

mértékben lesz szükség. Ezért a fenntarthatóság sokkal hangsúlyosabban merül fel, aminek ráadásul a termelés minden aspektusára ki kell terjednie. Erre a problémára kínálnak egy lehetséges megoldást a zárt, többszintes, precíziós termelési rendszerek. A fejlett technológiák és a szakismeret felhasználásával egyidejűleg növelhető a termelés hatékonysága, és csökkenthető annak környezetre gyakorolt negatív hatásai (Horn, 2018).

Ezt a kihívást az Európai Unió (EU) is felismerte, a Közös Agrárpolitika (KAP) reformfolyamata során egyre jobban előtérbe

kerültek azok az intézkedések, amelyek az ökoszisztéma védelméről, a környezetbarát technológiák elterjedéséről, mint a túltermelés megfékezésének fenntartható lehetőségeiről szóltak. Emellett folyamatosan teret hódítanak a célzott beavatkozásra épülő, a szükséges inputokat a szükséges és elégséges mennyiségben alkalmazó precíziós rendszerek. A precíziós gazdálkodás nemzetközi szervezetének a definíciója alapján (ISPA – International Society for Precision Agriculture), az ilyen rendszerek alapja a megfelelő információk szisztematikus és folyamatos gyűjtése, feldolgozása és elemzése annak érdekében, hogy segítsék a termelői döntéshozatalt a fenti szempontok megvalósításának az érdekében (ISPA, 2022). Ennek alapján jól látható, hogy az ilyen rendszerek két központi eleme a termelő (felhasználó) és az ezt kiszolgáló technológia (eszközök, szoftverek, döntéstámogató rendszerek stb.). A precíziós gazdálkodás használatával kezelhetőek az akár táblaszintű eltérések a talaj minőségének a vonatkozásában, optimalizálható a különböző inputok felhasználása, valamint enyhíthető a természeti erőforrások túlhasználata. Egyes becslések szerint, az intenzív földhasználat eredményeként a szántóföldek esetében közel 2 milliárd hektár súlyosan, sok esetben visszafordíthatatlanul leromlott (FAO, 2022). A népesség folyamatos növekedésével, valamint a leromló szántóföldek miatt folyamatosan csökken az egy főre jutó termőterület (Al-Kodmany, 2018).

A precíziós mezőgazdaság egyik megvalósulási formája a zárt, vertikális farm. A digitalizáció és az újonnan megjelenő gazdálkodási módszerek ötvözésével létrejövő gazdaságok számos előnnyel rendelkeznek és felveszik a versenyt az iparszerű gazdálkodással. A precíziós gazdálkodás szabadföldi megvalósításának eredményeként a termelés hatékonysága növelhető. A zárt rendszerek esetén ez kibővül a globális felmelegedés okozta szélsőséges időjárási kockázati faktor nagymértékű csökkentésével.

Az új gazdálkodási módok bevezetése kedvező, mivel a környezeti terhelés és ökoszisztéma pusztulás mértékét jelentősen csökkenti. Egy zárt rendszerben ez kiterjedhet mind a környezetkímélő eljárások alkalmazására, mind az élelmiszer ellátási lánc változására. A termelési költségek csökkentése képessé teszi a precíziós gazdaságokat az iparszerű gazdálkodással szembeni versenyre. A szakirodalom besorolása alapján ezt nevezzük a mezőgazdaság 4.0-nak, aminek előfeltétele a precíziós gazdálkodás, a mezőgazdaság 3.0 (Szőke és Kovács, 2020). Az új kihívásoknak történő megfelelés megköveteli az intelligens, a klímaváltozáshoz alkalmazkodni képes mezőgazdaság létrejöttét (Takácsné György, 2020).

A cikk egy gyakorlatban megvalósult kísérlet alapján azt vizsgálja meg, hogy a zárt, többszintes gazdaságban történő termelés megvalósítható-e kisüzemi körülmények között. A zárt mezőgazdaságban alkalmazott technológiák valóban annyira hatékonyak? Lehetséges-e ennek a segítségével kiváltani a család számára szükséges zöldségek egy részét vagy egészét? A cikk a következőképpen épül fel. A következő fejezet bemutatja a zárt, vertikális termelési rendszerek általános jellemzőit a vonatkozó szakirodalom áttekintésével. Erre épülve kerül bemutatásra (technológia leírása, nehézségek és eredmények) és összehasonlításra két kísérlet (zárt rendszerű és szántóföldi salátatermesztés). Az utolsó fejezet értékeli és tágabb kontextusba helyezi a kapott eredményeket, végül a cikket a legfontosabb eredmények összefoglalása zárja.

## **A ZÁRT, VERTIKÁLIS TERMELESI RENDSZEREK JELLEMZŐI**

Az emberiség előtt álló kihívásokra komplex megoldásként Despommier (2010) javasolta a vertikális farm koncepcióját. A termelés városi környezetben, az épületeken belül, kontrollált körülmények között történik, ami a szerző szerint számos előnyt hordoz magában:

- egész évben folyamatos lehet a termelés, mivel nem érinti az időjárás alakulása
- a helyben történő termelés révén minimálisak a szállítási költségek, saját fogyasztásnál értelemszerűen nem is jelentkeznek
- az élelmiszerbiztonság a zárt rendszer révén könnyen garantálható
- a termeléshez ráadásul jóval kevesebb inputra van szükség.

A rendszer fenntarthatóságát tovább növeli, ha a termeléshez szükséges energia megújuló forrásból származik. Gazdasági oldalról pedig nagyon erős motiváló tényező a mezőgazdasági termékek árának jelentős mértékű növekedése, ami Magyarországon régiós összehasonlításban is kiemelkedő. A KSH adatai alapján az „élelmiszerinfláció” 27,0% volt 2022 júliusában, majd 30,9% augusztusban, a megelőző év azonos időszakához hasonlítva (KSH, 2022a; KSH, 2022b).

A zárt, vertikális rendszerben termelt növények esetén egységnyi területen magasabb hozam érhető el, mivel egész évben és több szinten folyik a termelés. A globális felmelegedés okozta szélsőségesebb időjárás miatt kiszámíthatatlanabb a szabadföldi növénytermesztés, azonban egy zárt, vertikális rendszerben egész évben ugyanazt a mennyiséget és minőséget lehet termelni. Despommier (2010) számításai szerint ez a hozameltérés olyan nagyságrendű, hogy egy 30 emeletes, 2,02 hektár alapterületű épület termelése megfeleltethető 971,2 hektár hagyományos termőterületnek. Fontos azt is megjegyezni, hogy a zárt, vertikális gazdálkodásba integrálható növénypaletta nagyon széles. Szinte minden megerem a hidropóniás rendszerben, legyen szó leveles zöldekről, burgonyafélékről, paradicsomról vagy akár eperről (Sarkar, 2019). Gashgari et al., (2018) az uborka esetében igazolta a zárt, hidropóniás rendszer létjogosultságát. Ennek köszönhetően, érdemben csökkenthető lenne ezen termékek importja az olyan időszakokban, amikor bizonyos növények

nem teremnek meg. A termelt növények minősége szintén fontos kérdés az élelmiszerbiztonság szempontjából. A rendszerben nincs szükség növényvédőszeres használatára, így a növény mosás nélkül fogyasztható. Az így termelt zöldegek ráadásul könnyebben eltarthatók, hiszen például saláta esetében lehetőség van a növényt a gyökérzettel együtt csomagolni (Barbosa, 2015).

A vertikális termelési rendszerek előnyei négy kategóriába sorolhatók: gazdasági, környezeti, társadalmi és politikai (Benke és Tomkins, 2017; Van Gerrewey et al., 2021):

- gazdasági szempontból kiemelhető a magas minőségű termék előállítása, amihez nem feltétlenül van szükség termőföldre, illetve nagy mezőgazdasági gépekre. Emellett a termelés egész évben folytatható és a szállítási költségek is minimálisak. Külön kiemelendő, hogy zárt térben akkor is folytatható a termelés, ha a külső környezet erre alkalmatlan. Az elhagyatott gyárépületek újbóli felhasználásával a városkép javítható, ráadásul az innovatív technológiák alkalmazásával a fiatalok számára érdekessé válhat a mezőgazdaság (Al-Kodmany, 2018). A termékek tulajdonságaiból adódóan a prémium szegmensben is értékesíthetők.
- A környezeti előnyök fő forrása a minimális inpuhasználat (különösen a fosszilis erőforrások vonatkozásában), ami jelentősen csökkenti a környezetterhelést. A vízhasználat magas hatékonysága különösen fontos, például az öntözéses gazdálkodás vízfelhasználása ennek a 18-szorosa. Ez tovább fokozható, ha a termeléshez nem tiszta víz kerül felhasználásra. A minimális szállítási távolság miatt jelentős az üvegházhatású gázok kibocsátásában a megtakarítás, azonban a jelentős áramfogyasztás ezt felülírhatja, amennyiben az nem megújuló módon kerül előállításra.
- a társadalmi hatások tekintetében jelentős a foglalkoztatás, ami a technológiából

adódóan főleg magasan képzett munkaerőt jelent (mérnökök, biotechnológusok stb.).

- politikai szempontból fontos megemlíteni a klímaváltozás kapcsán tett vállalásokhoz történő hozzájárulást, illetve a diverzifikált termelés kevésbé kiszolgáltatott például a környezeti csapásoknak.

A városi mezőgazdaság megjelenésével a gazdaságok és a vevők közötti távolság mind személyes mind fizikai értelemben lerövidül. A hagyományos élelmiszer-szállítási láncból fakadó veszteség, amely az előállított termék 25-50%-a, nagy mértékben csökkenthető az ellátási lánc rövidülésével, aminek az eredménye nemcsak a költségek, hanem a szállítás közben keletkező ÜHG-ok kibocsátásának csökkentése a környezeti erőforrások hatékonyabb kihasználása mellett (Mena, 2011). A hidropóniás technológiák használatának az elterjedése különösen a fejlődő országokban várható, különösen a kedvezőtlen környezeti körülmények, illetve a szűkös termőterület miatt (Lee és Lee, 2015).

Természetesen a technológiának hátrányai is vannak. A relatíve magas tőkeigény a legnagyobb hátránya ennek a termelési koncepciónak. Bár a szántóföldi növénytermesztéssel ellentétben minimális a talajigénye, ugyanakkor a beruházás induló költsége jelentős, még a szintén költséges, high-tech üvegház költségének is a tízszerese (Van Gerrewey et al., 2021). Al-Kodmany (2018) felhívja a figyelmet arra, hogy a termelés érdemi bővítése jelentős fejlesztéseket igényel, valamint jelentős a helyi lehetőségek (a termékek iránti kereslet, munkaerő rendelkezésre állása stb.) szerepe is. Mivel a módszer technológiai-intenzív, így felértékelődik a szakképzettség szerepe. Emellett kiemelésre érdemes, hogy adott esetben a fogyasztók elutasíthatják mind a technológiát, mind az ilyen módon termelt termékeket (Al-Chalabi, 2015; Benis és Ferrão, 2018).

## A KÍSÉRLETEK BEMUTATÁSA

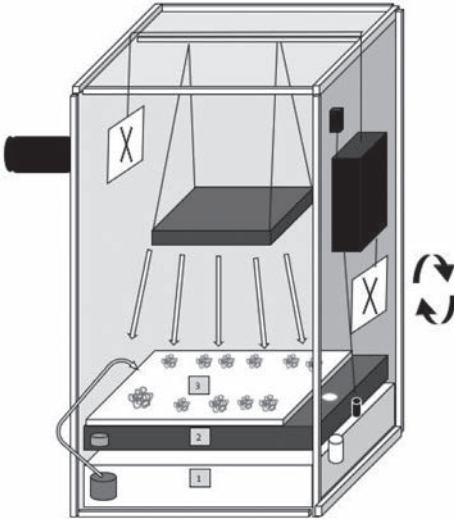
Az általunk vizsgált kutatási kérdés, hogy hogyan lehetséges otthoni körülmények között zárt rendszerben termelni és ez költségjövödelem szempontjából hogyan viszonyul a jelenleg általánosan alkalmazott szántóföldi termesztéshez? A kísérlet keretében római saláta került előállításra. A kutatás során 25 db saláta termesztését vizsgáltuk egy vertikális farmrendszerben. A kísérletre a zárt gazdaságban 2021. február 1. és 2021. március 18. között került sor, vagyis összesen 46 napig tartott. A termesztés gazdasági oldalának a bemutatása érdekében – a jelenleg is sokkal általánosabban használt – szántóföldi salátatermesztés is megvalósult, valamint a két rendszer költség-jövödelem viszonyai összehasonlításra kerültek.

A kísérlet hidropóniás módszerrel és 2 tartály használatával valósult meg. Ezek közül az alsó a központi vízgyűjtő (1), ahonnan egy szivattyú segítségével jutott fel a víz a felső szintre a nap 24 órájában a hét minden napján (2). A termesztő terület nagysága 1 m<sup>2</sup> volt. A 0,5 cm vastag hungarocellbe kerültek az 5 cm átmérőjű hidropóniás kosarak. Ezekbe kerültek elhelyezésre a növények (3). Ezt mutatja be az 1. ábra.

A palánták tőzegkockában voltak, így azt ki kellett áztatni, hogy a földdel ne kerüljön a zárt rendszerbe káros baktérium vagy gomba. A növények 36x36x40 mm-es közetgyapot kockába kerültek. A fényt egy 60 W-os LED panel biztosította, mely közepen, a növényektől 45 cm távolságra került elhelyezésre. A világítás hullámhossza és a LED-ek aránya a salátafélék fejlődése szempontjából optimálisnak tekinthető.

A panel 14 órán át volt bekapcsolva, a hét minden napján. A tápanyag mennyisége műszeresen került beállításra. A rendszer 124 liter esővízzel lett feltöltve. Ennek pH értéke 6,5, elektromos konduktivitás (EC) értéke pedig 0,0 volt, amelyek egy pH és egy EC szenzorral kerültek kimérésre. Mindkét érték folyamatos monitoringja és

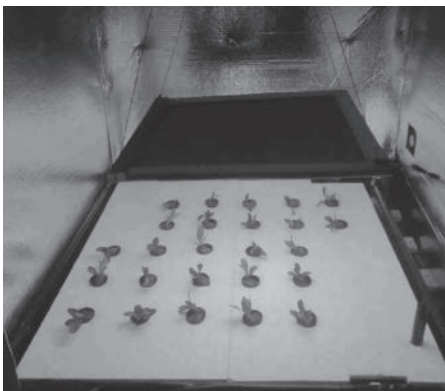
**1. ábra**  
**A kísérlet szerkezeti rajza**  
*(Structural drawing of the experiment)*



Forrás: saját szerkesztés

optimális szinten tartása elengedhetetlen a hidropóniás rendszerekben (Palande et al., 2018). A tápanyag külön hidropóniás rendszerekre fejlesztett tápoldat segítségével került be a vízbe. A szakirodalom szerint, az optimális pH salátafélék esetén 5,8-6,5 közé esik, míg az EC értéke 1,5-2,5 között

**2. ábra**  
**A kísérlet felépítése**  
*(Structure of the experiment)*



Forrás: saját készítésű kép

megfelelő. A kísérlet helyszínéül egy családi ház pincéje szolgált. A rendszer hőtartó fóliával került beburkolásra, amely a szigetelés mellett a rendszer zártságát is adta (2. ábra).

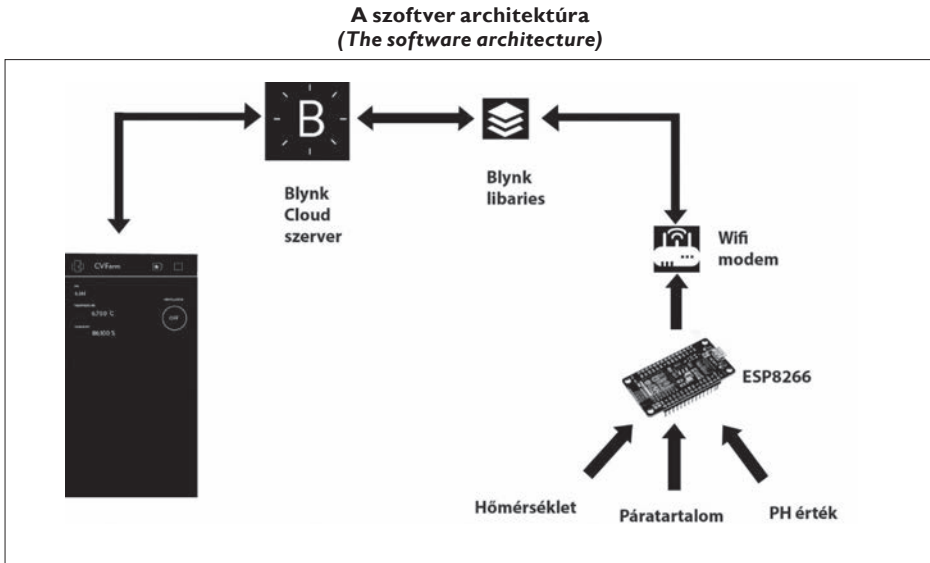
A növények fejlődéséhez nélkülözhetetlen a megfelelő mennyiségű szén-dioxid, mivel a fotoszintézis során ennek megkötésével tud a növény növekedni. A rendszerben ezért két ventilátor is található, amelyek ellentétes mozgása révén az egyik beszívja a szén-dioxidban gazdag külső levegőt, a másik pedig kiszívja az oxigénben gazdagot. A rendszer megfigyeléséhez külön monitoring rendszer került kiépítésre, amelynek az elemei a következők voltak:

- Arduino Uno nyílt forráskódú elektronikai platform, amelynek a része egy programozható mikroprocesszor. Ennek révén nyílt lehetőség a ventilátorok fordulatszámának a szabályozására.
- ESP8266 Wifi modul az adatok továbbításához a Blynk applikációval történő kommunikációhoz. Bár ez a mikroprocesszor is programozható, azonban nem képes PWM (pulse-width modulation) jel előállítására, tehát nem alkalmas a ventilátorok fordulatszámának a szabályozására.
- egy analóg szenzor a víz pH értékének folyamatos nyomon követéséhez. A pH szenzor interfésze kommunikált a ESP8266 Wifi modulal egy analóg porton keresztül.
- DHT 22, ami egy előre kalibrált relatív hőmérséklet és páratartalom érzékelő. Az ESP8266-hoz breadboard segítségével kapcsolódott.
- VCC (Voltage Common Collector), vagyis az áramkörhöz kapcsolt feszültség, amelyik a szükséges áramot biztosította rendszer számára; illetve a GND (Ground), vagyis a föld.

A rendszer felépítését a 3. ábra szemlélteti.

A rendszer alkalmas volt okostelefonnal történő összekapcsolásra, ami lehetőséget biztosított a célzott beavatkozásra, amely-

3. ábra



Forrás: saját szerkesztés

nyiben ezt a szenzorok által nyújtott adatok indokolták. Az Arduino Uno végzi a ventilátorok szabályozását. A telefonról küldött információ wifin keresztül jut el az ESP8266-hoz, amely továbbítja az utasítást az Arduinonak. A ventilátorok fordulatszámának szabályozásához analóg jelre van szükség, azonban az Arduino Uno csak digitális jel tud előállítani. A digitális jel binárisan működik, tehát 0 vagy 1 értéket ad le, ami jelen esetben 0V vagy 5V. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy vagy nem megy a ventilátor (0V), vagy maximális fordulatszámra pörög (5V). A feszültség szabályozása tehát lehetővé teszi a sebesség szabályozását. Az automatizálás érdekében egy ciklus került definiálásra (value=40), amelyben szabályozni lehet, hogy mennyi ideig kapjon a ventilátor feszültséget (5V). Ennek érdekében a programkódban szerepel egy „if” elágazás, aminek a révén a ciklust fel lehet osztani. Például, ha ez az érték 25, akkor a ciklus 62,5%-ában kap 5V feszültséget a ventilátor, a maradék 37,5%-ban pedig 0V-ot.

Az ESP8266 wifi modulon van egy

Arduino alapú programozható mikrovezérlő, aminek a segítségével lehet a szenzorok által gyűjtött adatokat továbbítani adatbázisokba, webszervereknek vagy különböző dashboard felületeknek. Ez tekinthető az IoT alkalmazás logikai architektúrája második részének, amely megteremti a kapcsolatot az észlelési és alkalmazási réteg között. Az alkalmazás réteg, amely a kezelő felületet biztosítja, a már említett és ingyenesen elérhető Blynk IoT platform. Az applikáció letöltése és regisztrációja után a rendszer egy egyedi azonosítót ad, aminek a segítségével egyedi projektek hozhatóak létre az alkalmazáson belül. A Blynk és a microprocesszor összekapcsolása a fejlesztői környezetben történik, amihez telepíteni kell az applikáció bővítményét. Ezek olyan kódgyűjtemények, amelyek megkönnyítik a csatlakozást az érzékelőkhöz, modulokhoz. Mivel a jelen termelési rendszerben olyan modulok és szenzorok vannak, amelyek nincsenek beépítve, így az eszközök típusának megfelelő könyvtárakat le kellett tölteni és a rendelkezésre álló mintakódot ki kellett bővíteni a rendszerben lévő

szenzorokkal. Ezután már össze lehet kapcsolni a dashboard felületet a wifi modulal. A Blynk applikációval nemcsak az adatok megjelenítésére van mód, hanem virtuális pinek segítségével közvetlen módon lehet irányítani a mikroprocesszort. A manuális fordulatszám változtatás mellett ezért beépítésre került egy automatizmus: ha a hőmérséklet szenzor 24°C feletti hőmérsékletet érzékelt, akkor automatikusan felgyorsult a ventilátor. Így optimális hőmérsékleten lehetett tartani a rendszert. Mivel a pH szenzorhoz nem volt tökéletes bővítmény, így ahhoz külön el kellett készíteni. Ehhez felhasználásra került, hogy a pH szenzor mérései közel lineárisan változnak (Cervantes Caballero, 2017). Ennek felhasználásával két mérés történt, amit egy ellenőrző mérés követett a függvény helyességének igazolása érdekében. Mivel az eltérés minimális volt (mindössze 0,02), így a lineáris változást le lehetett írni a következő képlettel:

$$(1) \text{ pH érték} = (5,558785 \times \text{mért feszültség}) - 0,6179.$$

A kísérlet folyamán az adatok naponta kerültek rögzítésre egy Excel táblázatba, ezáltal naprakész információkat biztosítva a termesztő közegről. Az adatokat a 4. ábra szemlélteti.

Az ábrán jól kivehető, hogy a tápoldat pH értéke február 9-én közelített a 6,5-ös értékhez, amely már nem tekinthető optimálisnak a saláták tekintetében. A saláták optimális pH értéke a szakirodalom szerint 6 körül van (Changmai et al., 2018). Amennyiben 6,5 fölé megy, a növény nem veszi fel megfelelően a tápanyagokat, így lelassul a fejlődés. A kísérlet indításakor 9 ml pH down oldat segítségével került beállításra a 6,2 pH érték. A 6,48-as értéknél, mivel már közelítette a 6,5-es értéket, újabb 2 ml pH down oldat került a rendszerbe, amivel a kísérlet végéig sikerült a kritikus szint alatt tartani az értéket. Amennyiben az optimális értéktől kiugróan állt a közeg pH értéke, tápanyaghiányos állapot is felléphet a növényeken, ebből kifolyólag el is pusztulhatnak. Ennek elkerülése érdekében pH down oldat (38%-os salétromsavoldat) került felhasználásra. A saját kutatás egyik legfontosabb eredménye az volt, hogy otthoni körülmények közötti, zárt rendszerben történő saláta termesztéséhez elengedhetetlen, hogy minden környezeti paraméter folyamatosan az optimum érték körüli legyen, mivel a növények sokkal érzékenyebbek a paraméterek változására. A saját kísérlet esetében ezért minden paraméter az optimális szint

4. ábra

**A monitoring rendszer adatgyűjtése**  
(Data collection of the monitoring system)

dátum:	03.febr	04.febr	05.febr	06.febr	07.febr	08.febr	09.febr	10.febr	11.febr	12.febr
víz (L):	124							2		
tápoldat A (ml)	74,5							20		
tápoldat A (ml)	74,5							20		
pH down oldat(ml)	9							2		
pH up oldat (ml)										
Temperature (°C)	11	10,1	12,4	10,3	11,2	12,1	13	9	9,1	9,3
Humidity (%)	90	85	87,5	90,00	86,00	84,00	80,00	81,00	90,00	83,00
pH	6,2	6,3	6,41	6,41	6,44	6,45	6,48	6,39	6,41	6,44

Forrás: saját szerkesztés

környékén volt. Ez alól az egyetlen kivétel a konstans hőmérséklet fenntartása volt, mivel a kutatás fókuszában a termés megvalósíthatóságának a vizsgálata volt. Mindez a kísérlet gazdasági megtérülésének relevanciáját háttérbe szorította. Ahhoz, hogy a zárt, vertikális gazdálkodás fel tudja venni a versenyt a szabadföldi, nagyüzemi természetével szemben, elengedhetetlen a nagy fokú odafigyelés és az optimális értékek betartása. Ez ennél a termesztési technológiánál különösen igaz, mivel itt valójában az ember ad minden környezeti paramétert a növénynek, vagyis ő maga hozza létre mesterségesen a környezetet. Ennek következtében nélkülözhetetlen ezeknek az értékeknek a folyamatos monitorozása. A rendszer felépítéséből adódóan folyamatos az adatgyűjtés és annak monitoringja. Ez abból a szempontból kulcsfontosságú, hogy az ilyen rendszerek lehetővé teszik az azonnali, célzott bevatakozást (Szóke és Kovács, 2020).

A rentábilis termés korlátja – jelen kísérlet esetében – a nem optimális hőmérsékletben keresendő. Az alacsonyabb, optimális 16-19 fok helyetti átlagos 11 fok nem elegendő ennek a növénykultúrának. Megállt a fejlődése, mivel nem tudta felvenni a megfelelő tápanyagmennyiséget. A kutatás során nem került mérésre, de feltehetőleg a vízhőmérséklet is hasonlóan alacsony értékek között mozgott. Ez pedig szintén nem kedvez a növény gyökérfejlődésének, ezáltal pedig a megfelelő tápanyagfelvételnek. Emellett a római saláta palánták fejlődésének szempontjából kulcsfontosságú a megfelelő fény mennyiség biztosítása is, mivel a szükségesnél kevesebb fény hatására a palánták sokkal lassabban fejlődnek. Ennek, illetve a kísérlet során felmerült többi változó hatásának a vizsgálatát egy következő kutatás képezheti. Ugyanakkor azt is le kell szögezni, hogy a villamos energia a termés legjelentősebb költségeleme, ami ráadásul az utóbbi időben drasztikusan megrágult. A megfelelő architektúra ezért kulcsfontos-

ságú, mivel ennek segítségével csökkenthető mind a termelési költség, mind pedig az esetleges termésvesztés mértéke. Akár egyetlen, a növény számára nélkülözhetetlen paraméternek a nem megfelelőse is jelentősen befolyásolhatja a palánták fejlődését, illetve a természet megtérülését. A termelés technológiáját illetően pedig fontos szempont a megfelelő ültetési távolság. A jelen kísérletben ez mindössze 7,5 cm volt, így a nagy növénytűrség miatt nem tudtak a fejek megfelelően fejlődni. Ennek kapcsán azonban azt is mérlegelni kell, hogy ha egységnyi területen kevesebb palánta kerül elültetésre, akkor ezzel arányosan nő az egy salátára jutó termelési költség. Másrészt lényeges szempont, hogy a nagyobb fokú optimalizálhatóság mellett a zárt, vertikális rendszerek könnyen automatizálhatóak (önműködő monitoring rendszer, automata tápoldatozó), ami érdemben mérsékelheti a termelés munkaerőigényét. Ez nemcsak az egyre dráguló munkaerő miatt fontos, hanem annak egyre nehezebb rendelkezésre állása miatt is. Emellett nem szabad megfeledkezni a technológia legnagyobb előnyéről sem, vagyis, hogy teljesen független az időjárás változásától, tehát az év 365 napján lehetővé teszi a növények előállítását. A felhasznált inputok mennyiségétől függően, egy fej saláta előállítása 1-1,5 hónapot vesz igénybe. Amennyiben a rendszer zártsága és sterilitása biztosított, akkor nincs szükség növényvédőszer használatára, illetve a készterméket mosni sem kell, azonnal fogyasztható.

Az eredmények költség-jövedelem szempontú összehasonlíthatóságának az érdekében a Becsey Kertészet Kft-ben (Magyarország egyik legnagyobb saláta termelő vállalkozása) történt egy kontroll kísérlet. A két rendszer közvetlen összehasonlítása azonban nem egyszerű, mivel szinte minden lényeges paraméterben (palántasűrűség, hozam, fejtömeg, összköltség – különös tekintettel annak a szerkezetére) komoly eltérés mutatkozik. Az otthoni rendszerben



történt termelés alapvetően kísérleti jellegű volt, mert bár igazolta a technológia működőképességét, de – egyes paraméterek nem megfelelő volta miatt – nem tesz lehetővé költség-jövedelem számításokat. A rendszerek összehasonlíthatóságának az érdekében ezért ehhez egy zárt, vertikális technológiával foglalkozó startup vállalkozás kísérleti adatait használtuk fel. Ennek eredményeit az 1. táblázat foglalja össze.

A leglényegesebb különbség az átlagos fejtömegben és a termelési költségben mutatkozott. Az előbbi esetében van tere a jelentős javulásnak a sortáv növelésével, ami az otthoni kísérlet során megfelelő volt, azonban a startupnál végzett hasonló kísérletben a szükségesnél jóval kisebb, mindössze 7,5 cm. A termelési költség vonatkozásában láthatóak a zárt termesztés előnyei (nincs szükség növényvédőszerre, emiatt mosni sem kell a salátákat, illetve alapvetően helyben történik a felhasználás, így minimális a logisztikai igénye). Szintén a technológia

mellett szól, hogy egész évben folyamatosan lehet vele termelni. Emellett a szakirodalom alátámasztja azt is, hogy a hidropóniás rendszerben gyorsabban fejlődik a növény (Gashgari et al., 2018). Azonban a víz-, műtrágya- és különösen az áramfelhasználása sokkal jelentősebb és mindezek következtében a termelési költsége a 2,5-szerese a hagyományos termelésnek. A zárt, vertikális termelés rendszereknél még komoly tere van a további automatizálásnak és optimalizálásnak, így a termelési költségei még jelentősen csökkenthetők, amire a szántóföldi saláta előállításban már nincs érdemi lehetőség. Az ár tekintetében a zárt rendszerben megtermelt saláta prémiummal értékesíthető (vegyszermentesség, hosszabb eltarthatóság, folyamatosan ellátás stb.). A kísérletekre 2021-ben került sor, azonban időközben jelentősen megváltoztak a körülmények. Amennyiben háztartási szinten történik a termelés, akkor az 1. táblázatban a startupnál szereplő költségek csak kis mértékben növekedtek, azonban a Becsey Kertészet Kft 70-80%-os növekedésről számolt be 2023-ban, a 2021-es évhez képest. Ennek a fő okai a munkaerő és az inputok költségének drasztikus drágulása volt.

Összességében elmondható, hogy otthoni körülmények között is lehetséges zárt körülmények között termelni. A kísérlet során a termelés mennyisége nem volt jelentős, vagyis teljes egészében felhasználható saját szükségletre. A zárt, vertikális termelés legnagyobb hátránya, ami teljes mértékben összhangban van a szakirodalmi adatokkal, hogy jelenleg sokkal drágább így a termékelőállítás, mint a hagyományos, például szántóföldi termesztésben. Ezt a szántóföldi termeléssel történt összehasonlítás visszaigazolta. Ugyanakkor a technológia fejlődése és egyre olcsóbbá válása, valamint az optimalizálása révén a zárt, vertikális rendszerek költségei még érdemben csökkenthetőek. Ezzel a fajta termelési rendszerrel mindenki számára elérhető közelségbe hozható az agrárium,

**I. táblázat**  
**A termelési költségek összehasonlítása**  
**(Cost comparison of the two production methods)**

	Startup	Becsey Kertészet Kft	
		tavaszi, őszi	nyári
Termesztési idő	46	56	39
1 m <sup>2</sup> -en ültetett saláták száma (db)	71	11	10
1 m <sup>2</sup> -en ültetett saláták hozama (g)	3550	4950	4500
1 fej átlagos tömege (g)	50	450	
1 fej költsége (Ft)	185	65-70	
1 palánta költsége (Ft)	20	20	
1 fej vízköltsége (Ft)	16	2	
1 fej műtrágyaköltsége (Ft)	30	3	
1 fej áramköltsége (Ft)	48	2	
1 fej növényvédőszerköltsége (Ft)	0	2-5	
1 fej munkaerőköltsége (Ft)	70	20	
1 fej hűtési költsége (Ft)	1	3	
1 fej logisztikai költsége (Ft)	0	5-12	
Mosási költség (Ft)	0	1,5	

Forrás: saját adatgyűjtés

hiszen nem szükséges hozzá termőterület, megfelelő lehet egy használaton kívüli pince is. Globálisan nézve a kérdést elmondható, hogy ez a koncepció összhangban van az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljaival is, a 193 ország által elfogadott 17 cél közül többnek a megvalósulásához is hozzájárulhat a zárt, vertikális gazdálkodás (2. éhezés megszüntetése; 3. egészség és jóllét; 8. tisztességes munka és gazdasági növekedés; 12. felelős fogyasztás és termelés).

### ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A túlnépesedés és a klímaváltozás egyaránt komoly kihívás elé állítja az emberiséget, ráadásul megkérdőjelezi a jelenlegi, intenzív inpuhasználatra épülő termelési rendszerek fenntarthatóságát. Mindez egyaránt érinti az élelmezés- és az élelmiszerbiztonság kérdéskörét. A népesség növekedésével ráadásul folyamatosan csökken az egy főre jutó termőterület. Ezekre a problémákra együttesen nyújtanak egy válaszlehetőséget a zárt, többszintes, precíziós termelési rendszerek. Ennek a technológiának az elterjedését segíti a technológia ugrásszerű fejlődése, kiemelten a digitalizáció.

A zárt, többszintes, precíziós termelési rendszerek számos előnyös tulajdonsággal jellemezhetőek, amelyeket gazdasági, környezeti, társadalmi és politikai kategóriákba lehet besorolni. Gazdasági szempontból a vertikális termelési rendszerek több előnyös tulajdonsága is kiemelhető. Kiszűzemi szinten (alapvetően a család szűkségeihez igazodó termelési volumen) megvalósul a lehető legrövidebb ellátási lánc, azonban ennek hossza egyébként is sokkal rövidebb a hagyományosnál, mivel a termelés színtere jellemzően a városi környezet. A zárt térben történő termelés teljes mértékben függetleníthető az időjárástól és lehetőséget nyújt a folyamatos, egész évben történő termelésre. A termelési ciklus kiszámítható, a minőség érdemben nem változik. Az ilyen rendszerek zömében termőföld

sincs, ami választ ad a leromló termőföldek problémájára is, illetve a termeléshez nincs szükség nagy mezőgazdasági gépekre. A zárt rendszer alkalmazása növeli az élelmiszerbiztonságot is (például nincs szükség növényvédelemre), valamint a termelés inputigénye jóval kisebb, mint például a szántóföldi növénytermesztés esetében. Környezeti szempontból talán a hatékony vízfelhasználás a legfontosabb tényezője az ilyen típusú termelési rendszereknek. Társadalmi szempontból jelentős a magas technológiai szint, ami képzett munkaerőt igényel (mérnökök, biotechnológusok stb.). Az emberi tényező a termelési lánc minden egyes pontján (a gazdák mellett például a feldolgozás, illetve a logisztika szintjén) kulcsfontosságú (Bögel, 2018). Politikai szempontból pedig lényeges a klímavédelmi célokhoz történő hozzájárulás, valamint az élelmiszerellátás kiegyensúlyozottabbá tétele.

A zárt, többszintes, precíziós termelési rendszerek elterjedésének legnagyobb korlátja a relatíve magas tőkeigény, a termelés induló költségei nagyon magasak. Mivel a módszer technológia-intenzív, így felértékelődik a szakképzettség szerepe. A jelentős áramfogyasztás növelheti az üvegházhatású gázok kibocsátását, amennyiben annak megtermelése nem megújuló módon történik.

A kísérlet keretében római saláta került előállításra hidroponiás módszer alkalmazásával egy családi ház pincéjében. A növények 36x36x40 mm-es kőzetgyapot kockába kerültek, valamint a rendszer hőtartó fóliával került beburkolásra. A fényforrás egy 60 W-os LED panel volt, ami 14 órán át volt bekapcsolva, a hét minden napján. A rendszer 124 liter esővízzel lett feltöltve, aminek a pH értéke 6,5, elektromos konduktivitás (EC) értéke pedig 0,0 volt. A tápanyagot hidroponiás rendszerekre fejlesztett tápoldat biztosította. A megfelelő mennyiségű szén-dioxidról két, ellentétes mozgású ventilátor gondoskodott, amelyek

szabályozása telefonon keresztül történt. A rendszer hardver (mikroprocesszor, wifi modul, pH szenzor, hőmérséklet és páratartalom érzékelő, ventilátor) és szoftver (Blynk IoT platform) alkotóelemei bárki számára könnyen elérhetőek.

A kísérlet legfontosabb tapasztalata, hogy az otthoni körülmények közötti, zárt rendszerben történő saláta termesztéséhez elengedhetetlen, hogy minden környezeti paraméter folyamatosan az optimum érték körüli legyen. Bármelyiknek az eltérése az optimálistól a növények fejlődését kedvezőtlenül befolyásolja. A rendelkezésre álló költségkeret korlátozottsága miatt a hőmérséklet nem volt optimális a kísérletben, a 16-19 fok helyetti átlagos 11 fok nem elegendő ennek a növénykultúrának. Ennek következtében megállt a fejlődése. A kutatás során nem került mérésre, de feltehetőleg a vízhőmérséklet is hasonlóan alacsony értékek között mozgott, ami pedig nem kedvez a növény gyökérfejlődésének, ezáltal pedig a megfelelő tápanyagfelvételnek. A megfelelő hőmérséklet biztosítása mellett a termelés

másik jelentős költségeleme a megfelelő fény mennyiség biztosítása, mivel annak hiányában lelassul a fejlődés. A növényesűrűség meghatározása is kulcsfontosságú, mert ha túl magas, akkor a saláta fejek nem fejlődnek megfelelően, ha pedig túl alacsony, akkor az egy salátára jutó előállítási költség emelkedik meg.

A kísérlet azonban rávilágított ennek a termelési módszernek az előnyeire is. Az egész évben folyamatos termelés lehetősége mellett a nagyfokú optimalizálhatóság és könnyű automatizálhatóság (önműködő monitoring rendszer, automata tápoldatózó) emelhető ki. Ezek révén a zárt, vertikális rendszerek folyamatos árbevételt képesek generálni a költségek kiszámítható szinten tartásával, valamint érdemben csökkenthető általuk a termelés munkaerőigénye. A technológia folyamatos fejlődése révén, a jelenlegi magas költségszint további csökkenése várható, így a környezeti és társadalmi előnyök mellett elképzelhető, hogy a jövőben gazdaságilag is fenntarthatóak lesznek az ilyen jellegű termelési rendszerek.

## FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 18, 74-77.
- Al-Kodmany, K. (2018): The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2), 24. <https://doi.org/10.3390/buildings8020024>
- Barbosa, G., Gadelha, F., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. és Halden, R. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879-6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Benis, K. és Ferrão, P. (2018). Commercial farming within the urban built environment—Taking stock of an evolving field in northern countries. *Global Food Security*, 17, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.005>
- Benke, K. és Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Bógel, G. (2018). A dolgok internetének hatása az ellátási láncokra: A mezőgazdaság példája. *Logisztika Trendek és legjobb gyakorlatok*, 4(2), 23-27. <https://doi.org/10.21405/logtrend.2018.4.2.23>
- Cervantes Caballero, D. (2017). How to use a pH sensor with Arduino. Letöltve: 2022. október 05. <https://scidle.com/how-to-use-a-ph-sensor-with-arduino/>
- Changmai, T., Gertphol, S. és Chulak, P. (2018). Smart hydroponic lettuce farm using Internet of Things. 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), IEEE, Chiang Mai, Thailand, 231-236. <https://doi.org/10.1109/KST.2018.8426141>
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York: Picador

- Dreyfus, F., Plencovich, C., Petit, M., Akca, H., Dogheim, S., Ishii-Eitman, M., Kingamkono, R., Jiggins, J. L. S. és Keith, D. (2008). Historical analysis of the effectiveness of AKST systems in promoting innovation. In: McIntyre, B. D., Herren, H. R., Wakhungu, J. és Watson R. T. (eds.): *Agriculture at a Crossroads: The IAASTD Global Report*, Island Press, Washington DC., USA
- FAO (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy
- FAO (2022). Land assessment and impacts. Letöltve: 2022. október 05. <http://www.fao.org/land-water/land/land-assessment/en/>
- Gashgari, R., Alharbi, K., Mughribil, K., Jan, A. és Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*, Vol. 18, pp. 1-7. Madrid, Spain: ICMIE.
- Horn, P. (2018). A mezőgazdasági termelés jövőjét meghatározó néhány fontos kérdéskör. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 62(5), 385-405. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.279712>
- ISPA (2022). Precision Agriculture Definition. International Society for Precision Agriculture. Letöltve: 2022. szeptember 15. <https://ispag.org/about/definition>
- KSH (2022a). Gyorstájékoztató. Fogyasztói árak, 2022. augusztus. Letöltve: 2022. október 25. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/far/far2207.html>
- KSH (2022b). Gyorstájékoztató. Fogyasztói árak, 2022. szeptember. Letöltve: 2022. október 25. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/far/far2208.html>
- Lee, S. és Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.011>
- Mena, C., Adenso-Diaz, B., Yurt, O. (2011). The causes of food waste in the supplier–retailer interface: Evidences from the UK and Spain, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 648–658. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.006>
- Palande, V., Zaheer, A. és George, K. (2018). Fully automated hydroponic system for indoor plant growth. *Procedia Computer Science*, 129, 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.028>
- Sarkar, A. és Majumder, M. (2019). Economic of a six-story stacked protected farm structure, *Environment, Development and Sustainability*, 21(3), 1075–1089. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0088-0>
- Szőke, V., & Kovács, L. (2020). Mezőgazdaság 4.0–relevancia, lehetőségek, kihívások. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 64(4), 289-304. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.305196>
- Takácsné György, K. (2020). A fenntartható gazdálkodás és a méretgazdaságosság kölcsönhatásai. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 64(80-2020-1723), 365-386. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.305809>
- UN (2022). *World Population Prospects 2022: Highlights*. DESA/POP/2021/TR/NO. 3. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, USA
- Van Gerrewey, T., Boon, N. és Geelen, D. (2021). Vertical Farming: The Only Way Is Up? *Agronomy*, 12(1), 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010002>