



INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2023. november 22.

AUTONÓM NÖVÉNY NEVELŐ KAMRA MESTERSÉGES MARS ÉS HOLD TALAJOK AGROTECHNIKAI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATÁRA

Application of automatic plant growth chamber to evaluate agrotechnical behavior of
Mars and Moon soil simulants

Készítette:	Kristóf Kata	Bálint Tamás
	V8C2HC	F27ODA
	kertészmérnök,	Mechatronikai mérnök,
	alapképzés	alapképzés
	Nappali	Nappali
	Budai Campus	Szent István Campus

Témavezető: **Dr. Barkó György Csaba**
Tudományos főmunkatárs

Lehetséges OTDK szekció: Műszaki

Gödöllő

2023

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	3
1.1	A TÉMA JELENTŐSÉGE	3
1.2	CÉLKITŰZÉS	5
2	SZAKIRODALOM FELDOLGOZÁS	5
3	ANYAG ÉS MÓDSZER	7
3.1	TALAJOK KIVÁLASZTÁSA	7
3.2	ALKALMAZOTT HOLD- ÉS MARS SIMULANT-OK	9
3.2.1	<i>LMS-1 (Lunar mare simulant)</i>	9
3.2.2	<i>LHS-1 (Lunar highlands simulant)</i>	10
3.2.3	<i>MGS-1 (Mars Global Simulant)</i>	11
3.2.4	<i>JEZ-1 (Jezero Delta Simulant)</i>	13
3.3	TALAJOKKAL KAPCSOLATOS MÉRÉSEINK	14
3.3.1	<i>Hagyományos módszer a simulant-ok vizsgálatára</i>	14
3.3.2	<i>pH mérése</i>	15
3.4	NÖVÉNYEK KIVÁLASZTÁSA	16
3.4.1	<i>Hedera helix- borostyán</i>	17
3.4.2	<i>Sinapsis alba- mustár</i>	19
3.4.3	<i>Salvia officinalis- zsálya</i>	19
4	ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK	20
4.1	A NÖVÉNYNEVELŐ KAMRA LÉTREHOZÁSA	20
4.2	KÍSÉRLETI TAPASZTALATOK	25
4.3	NÖVÉNYEKSEL KAPCSOLATOS KÖVETKEZTETÉSEK	27
5	TOVÁBBI CÉLOK	33
6	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	33
7	FORRÁSOK, HIVATKOZÁSOK	33

1 BEVEZETÉS

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatásunk jelentőségét és célját.

1.1 A TÉMA JELENTŐSÉGE

Kutatásunkban az ESA-val (European Space Agency) együttműködve és ennek keretében mesterséges mars és hold talajokat használva, ezeknek hatását vizsgáljuk mechanikai szerkezetekre és megfigyeljük a különböző agrotechnikai jellemzőiket.

Az Európai Űrügynökség olyan programokat valósít meg, melyekkel biztosítja Európa űrtechnológiai fejlődését. Központja Franciaországban, azon belül is Párizsban található, itt döntenek a programokról, missziókról. Ez a nemzetközi szervezet 22 tagállamot foglal magába. Jelenleg körülbelül 2200 ember dolgozik az ESA-nak. A Tanács négy évente választ főigazgatót.

Korábbi kutatásunkat a holdi és marsi környezetben közlekedő roverek tengely-tömítés párjainak kopásvizsgálatára fókuszáltuk. Ennek során nyomatékmérő szenzorral vizsgáltuk a mesterségesen előállított Hold és Mars talajok (úgynevezett *soil simulant*-ok) hatását. A kísérletek után nagyobb mennyiségű használt talajminta maradt vissza. Ezek a talajok kidobásra kerülnének, bár a kopásmérések során csak szemcseméretükben változtak meg. Így releváns eredményeket kaphatunk a bennük való növénytermesztés szempontjából. A fenntarthatóság szintén motiválta ezen talajok „újrahasznosítását” tudományos célra.

Ezen TDK munka céljára egy olyan berendezés szolgált segítségünkre, amelyben kifejezetten ezeknek a mesterséges hold és mars talajoknak az indikátornövényekre gyakorolt hatását tudtuk vizsgálni. Szakirodalmi ajánlás alapján indikátornövényeket választottunk ki a soil simulantokban való termesztetőség vizsgálatára.

Mesterséges soil simulant-ok alkalmazása nemzetközileg elfogadott, mert jelen pillanatban nem állnak rendelkezésre mars talajminták, valamint a hold talajminták rendkívül nagy összegbe kerülnek, ezért a tudományos élet mesterségesen előállított talajmintákkal dolgozik.

A mesterséges talajminták különböző hűséggel reprezentálják a valós talajokat. A holdi talajok esetében ez a hasonlóság igen nagy, mert azokat már a NASA és az ESA kutatói meg tudták vizsgálni. Marsi talajok esetében azonban csak távérzékeléssel illetve robotszondák segítségével gyűjtött információkból tudunk következtetni arra hogy az ottani talajok milyenek. Azt már tudjuk, hogy a marsi talajokban egy úgynevezett perklorát nevű anyag található, mely emberre és növényekre egyaránt toxikus hatású. A perklorát (ClO_4) növelheti a fém/foszfor felszabadulását, ami befolyásolhatja a növények növekedését és biokémiáját. Olyan mértékben módosíthatja a fémek hozzáférhetőségét, hogy a marsi regolit még a perklorát sikeres eltávolítása esetén is továbbra is mérgező lehet a növényekre. A perklorát koncentrációja területenként különböző a bolygó felszínén. Akár 2 tömeg% is lehet. A perklorátképződés a Marson a klórvegyületek és a fotokémiai úton előállított ózon légköri kémiai reakcióiból vagy további nem gázfázisú folyamatokból (például heterogén reakciókból) származhat. Képződését és felszíni lerakódását követően a perklorát és a regolit kölcsönhatások képesek Mg - és Na -perklorát sók képzésére. (Legalább 3 milliárd éve tartó folyamat.) A légköri keringés és az üledékek szélszállítása miatt a perklorátsók a feltételezések szerint a Mars teljes felületén jelen vannak. Ez globális problémát jelent a Mars jövőbeli emberi lakhelye számára.

Jelen TDK munka a marsi talaj perklorát vizsgálatára illetve kivonására nem terjed ki. Az általunk alkalmazott Marss simulantokban ez az anyag nem található meg. Jövőbeli, kiterjedtebb kutatások szükségesek megoldást találni a perklorát talajból való kivonására és hatástalanítására. Alternatíva erre, rezisztens növényekkel -akár genetikailag módosítottakkal- tesztelni valamint kizárni a fémek megkötődését. Megoldást jelenthet a tápanyag-dúsítás is, hogy életképes növénytermesztési szubsztrátummá tegyük. Kijelenthetjük, hogy a perklorát hatása a regolith geokémiájára további kutatásokat igényel [1], [2].

Az autonóm növénynevelő kamra jelentősége kutatásunk szempontjából rendkívül fontos. A releváns eredmények eléréséhez minimalizálni kell a környezeti tényezők változékonyságát. Kísérleti eredményeink ismételhetősége szempontjából is jelentős, ha egyenletes és szabályozható fényellátással, vízádagolással látjuk el indikátor növényeinket, valamint lehetőség szerint minimálisra csökkentjük a hőmérséklet és páratartalom ingadozását. Amennyiben kísérleteink során valamilyen paramétert mégis változtatni szeretnénk (pl. újabb indikátornövényeket szeretnénk alkalmazni, ebbe a

növénynevelő kamrába elültetni), akkor szintén biztosítanunk kell bizonyos paramétereknek az állandóságát ahhoz, hogy tudjuk, valóban a növény volt az, amely a változást indikálta és nem valami külső körülmény, mondjuk nedvességtartalom a talajban.

1.2 CÉLKITÜZÉS

A kutatás célja indikátornövények nevelése Mars és Hold simulant-okban. A növénynevelő kamrával az állandó páratartalom, hőmérséklet, a standard talajösszetétel, talajnedvesség és a fény fenntartása volt a cél. A talaj pH, vezetőképesség és tápanyag (NPK) monitorozásra került, de nem szabályoztuk. Erre a TDK munka keretében nem volt lehetőség.

Leegyszerűsítve az érdekelt minket, melyik az az indikátor növény ami ezekbe a rendkívül mostoha körülményeket biztosító talajokban megél, termést hoz (vagy egyáltalán kicsírázik/kihajt). Az indikátor növények kiválasztásának szempontjai között szerepelt, ehető és/vagy illékony szerves vegyületeket megkötő kísérleti növények nevelése a Hold- és Mars talajokban. Mivel szakirodalmi adatok alapján nem várhattuk hogy a tiszta Mars és Hold simulant-okban növények nőjenek, azokat bizonyos százalékban módosítanunk kellett. Ennek a módosításnak részletei szintén a TDK munka része lettek.

2 SZAKIRODALOM FELDOLGOZÁS

Ebben a fejezetben a témában felmerülő szakirodalmakat tekintem át.

A mesterséges regolit minták nagyon hasonlóak a bolygófelszíneken találtakhoz/vizsgáltakhoz. A Mars felfedezésére küldött küldetéseknek köszönhetően a bolygó különböző pontjain elérhetők részletek a talaj anyagösszetételéről. A legkorábbi marsi küldetések közül kettő, a Viking I és II leszállóegységek műszerei felmérték a leszállóhelyeket körülvevő regolit néhány centiméterének felső részét. [3]

A „Pathfinder” Mars-misszió 1997-ben sikeresen landolt a Mars felszínén. (Sojourner rover) Ez a küldetés bemutatta a marsi regolit összetevőinek feltérképezésének megvalósíthatóságát, és további információkat szolgáltatott róla. A Sojourner rover-rel kerékkoptatási kísérletet is végeztek, és felhasználták a regolit részecskék koptatóképességéről és a regolit részecskék alakjáról való tájékozódásra. Ezt követően a

Mars Exploration Rover (MER) küldetés keretében először használtak optikai mikroszkópot a Marson. A rovereket spektrométerekkel is felszerelték, melyek releváns adatokat szolgáltatottak számos helyszín talajának összetételéről. A Marsra, az InSightra és a Phoenixre irányuló Lander-missziók kiterjesztették a Viking-küldetések eredményeit. [4]

A Hold feltárása iránt különböző űrügynökségek, köztük az Egyesült Államok, Oroszország, Kína, Japán, az EU és Kanada is küldetéseken dolgozott. A tudománynak Hold-regolit-simulant-ra van szüksége, hogy kifejleszthessék a Hold felszínének sikeres felfedezésére alkalmas rover-küldetéseket. A Földre hozott regolit-szimulánsok pontosan reprezentálják a Hold felszínén található talajokat. A kémiai anyagtartalom, a részecskeméret-eloszlás és a részecskeforma szempontjából számos nagy pontosságú modellanyag áll rendelkezésre. Ezeket a mesterséges regolit termékeket különféle tesztelésekre alkalmazzák.

Mark Newson különböző modellanyagok geomechanikai teljesítményét jellemezte. A mechanikai tulajdonságvizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a szimulánsok hasonló mechanikai tulajdonságokat mutatnak mint a szögletes és durva talajok, és viselkedésük szorosan illeszkedik két széles körben elismert geotechnikai benchmark talajhoz, ami megalapozza megbízhatóságukat és a geotechnikai vizsgálatokban való alkalmazhatóságukat. [5]

A Hold- vagy Mars- talajszimulánsok elkészítése és a mesterséges regolit alapanyagainak kiválasztása nem könnyű feladat. A kísérleti során biztosítani kell, hogy az ezekben a folyamatokban felhasznált földi nyersanyagok fizikai és mechanikai tulajdonságaikban hasonlóak legyenek a Holdon vagy a Marson megfigyeltékhez.

Tim Böttger vezetésével szimulánsokat használtak egy Raman lézerspektrométer speciális tesztelésére az ExoMars roveren, valamint annak szerves és ásványi anyagok azonosítására való képességének tesztelésére. A cél az volt, hogy reprezentálják a Mars környezeti változását a korai hidrotermikus változásoktól a későbbi hideg és száraz oxidációs körülményekig. [6]

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben részletezem az indikátornövények és a talajok kiválasztásának és jellemzésének általunk kiválasztott módszereit, és azok eddig elért eredményeit

3.1 TALAJOK KIVÁLASZTÁSA

A kutatásunkban használt talajok első sorban a tribológiai tényezők megfigyelésére legalkalmasabb szempontból lettek kiválasztva. Épp ezért feltételezhető, hogy akad a kiválasztott talajmintákon kívül a növények számára kevésbé zord körülményeket biztosító simulant, de lehetőségeink szerint mi az adott talajokat használtuk fel a célra.

Néhány marsi regolit-szimulánsról, mint például a Johnson Space Center (JSC-Mars-1A) Simulant és a Mojave Mars Simulant (MMS) kimutatták, hogy tápanyaggal képesek támogatni a növények növekedését, míg a Mars Global Simulant (MGS-1) nem. Egy 2021-ben megjelent tudományos cikk alapján [7] a kutatás során még tápanyag hozzáadásával sem csírázott ki a mag az MGS-1-ből, és a Ca-perklorát ($\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$) (2% w/v) vagy Ca-perklorát-tetrahidrát ($\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (2% w/v) akadályozta meg a növények növekedését. Korábban Wieger Wamelink, (Hold- és Mars-talaj kutató) csírázást és növény-növekedést mutatott ki a JSC-Mars-1A modellanyag használatával, beleértve a nitrogénmegkötő növényeket is; a perklorát azonban nem szerepelt a kísérletekben. Ezenkívül a szerves maradványok hozzáadása növelte a *Lactuca sativa* L. var. capitata (fejes saláta) növekedését az MMS-ben (Mojave Mars Simulant). [8]

Egy nemrégiben végzett mezőgazdasági tanulmányban a marsi regolit-szimuláns és a perklorát magas koncentrációja (2 tömeg%) egyaránt károsnak bizonyult a növények növekedésére. A marsi regolithban lévő különböző mértékű perklorátszint hatása a növényekre további tanulmányozást igényel. Ezenkívül foglalkozni kell azzal, hogy a perklorát hogyan befolyásolja a regolit geokémiáját, valamint azt, hogy miként távolítható el. A kutatásban a marsi regolith-ból perklorát jelenléte esetén nem nőtt ki növény. Virágföldben (kontrollként) pedig gátolta a növény egészséges növekedését. A kísérletet az *Amaranthus cruentus* (bíbor amaránt) és a *Phaseolus vulgaris* (veteménybab) növényeken végezték. (A bab esetében N-kötő baktériummal beoltott magokat is vetettek, de ez nem adott számottevő eredményt, mivel túl rövid ideig tartott a kísérlet ahhoz, hogy kialakuljon a szimbiotikus kapcsolat a *Rhizobium* és a növény gyökérzete között). Egyedül a bab nőtt ki perklorát nélküli regolith-ban. A normál virágföld esetében a

perklorát hozzáadás után nem történt jelentős geokémiai változás a kontrollhoz képest. A marsi regolit-szimuláns minták azonban relatív fémkoncentráció-növekedést mutattak a perklorátot tartalmazó mintákban. Ez arra utal, hogy a perklorát képes módosítani a talajok geokémiáját, különösen akkor, ha nincs jelen szerves anyag. A marsi simulant esetében a kovaföld és a kálium oxid tartalom csökkent, míg az alumínium oxid, a CaO, a vas oxid és a magnézium oxid aránya nőtt. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy hatékony módszereket kell kidolgozni a perklorát eltávolítására a marsi regolit ültetési szubsztrátumként történő felhasználása előtt; azonban nem a perklorát az egyetlen probléma. [9]

A növények növekedésének korlátai közvetlenül összefüggenek a kémiai és/vagy fizikai stresszel, amely összefüggésben állhat a perklorát jelenlétével, de ez nem biztos. Például a közvetlen fitotoxicitás, a sóstressz, a fémfelszabadulás vagy ezeknek a változóknak valamilyen kombinációja stresszt okoz vagy gátolja a magok csírázását és a növények növekedését. Ezenkívül a marsi regolit-szimuláns víz hozzáadásával egy tömör szerkezetet mutat, ami korlátozza a víz beszívargását és a gyökerek növekedését. Szükség van a perklorát eltávolítására például elpárologtatással vagy kilúgozással, valamint szerves anyagokkal történő regolit-módosítással a szerkezet és a tápanyag-körforgás elősegítése érdekében. A jövőbeli kutatási lehetőségek közé tartozik a vizes öblítés, a fitoremediáció, az elpárologtatás és/vagy a perklorátot redukáló baktériumok használata a perklorát eltávolítására (vagy átalakítására) a regolitból, valamint növényvizsgálatok alkalmazása annak megállapítására, hogy a helyreállított marsi regolitban termesztett növények biztonságosak-e a fogyasztás szempontjából.

Tyler Hines, aki az AARG -nél (Aerial Archaeology Research Group) dolgozott, ami egy 1983-ban létesült angliai légi régészeti kutatócsoport. Az amerikai állami egyetemi rendszer által lehetőséget kapott többek között arra, hogy nem botanikus létére megvizsgálja, milyen hatást gyakorol a hosszú távú űri környezetben való lebegés a csíranövényekre. Egy korábbi kísérlet alapját (1990) figyelembe véve „Rutgers California Supreme” paradicsommagokat vetett el MGS-1 talajban [10].

3.2 ALKALMAZOTT HOLD- ÉS MARS SIMULANT-OK

3.2.1 LMS-1 (Lunar mare simulant)



1. ábra Lunar Mare Simulant (Exolith lab)

A Lunar Mare Simulant-ot Florida központi egyetemén (University of Central Florida) által előállított alacsony titántartalmú bazaltos regolit. Magas üvegtartalma van, ami alátámasztja a bazaltos regolit modellanyagként való használatát [11].

Ország: USA

Gyártó: Exolith Lab

A Hold sötétebb régióinak felszínéről mintázott reprezentáns

Tömörítetlen térfogatsűrűség: 1,56 g/cm³

Átlagos részecskeméret (térfogat szerint): 63 µm

Szemcseméret tartomány: 0 µm - 1 µm

Összetétel:

74.4% Anorthozit (Greenspaar)

24.7% Üveges bazalt

0.4% Ilmenit

0.3% Olivin

0.2% Piroxén

Fizikai tulajdonságok:

Részecske alak: diszperz

Tömegsűrűség: 1.30 g/cm³

3.2.2 LHS-1 (Lunar highlands simulant)



2. ábra Lunar Highlands Simulant (Exolith lab)

Ez egy nagy pontosságú, ásványi alapú szimuláns, amely reprezentálja az általános vagy átlagos hegyvidéki talajokat a Holdon. A szimuláns pontosan megközelíti a holdi regolit textúráját az ásványi és a közettöredékek (vagyis a polimineralis szemcsék) pontos arányú kombinálásával.

A modellanyag részecskeméret-eloszlását úgy kell megcélozni, hogy megfeleljen a tipikus Apollo talajok szemcseméret-eloszlásának. Az LHS-1 jelenleg nem szimulálja az agglutinátumokat vagy a nanofázisú vasat. Az exolith lab már kifejlesztett egy szimulánst, az LHS-1-25A-t, amely egy közepesen „érett” Hold-felföld-regolitra jellemző agglutinációkat szimulál [12].

Ország: USA

Gyártó: Exolith Lab

A Hold felföldjeiről származó talajminta reprezentánsa

Tömörítetlen térfogatsűrűség: 1.30 g/cm³

Átlagos részecskeméret (térfogat szerint): 60 μm

Szemcseméret tartomány: <0.04 μm – 400 μm

Összetétel:

74.4% Anorthozit (Greenspaar)

24.7% Üveges bazalt

0.4% Ilmenit

0.3% Olivin

0.2% Piroxén

Fizikai tulajdonságok:

Részecske alak: diszperz

Tömegsűrűség: 1.30 g/cm³

3.2.3 MGS-1 (Mars Global Simulant)



3. ábra Mars Global Regolith (Exolith Lab)

A Mars Global Regolith egy Marson található nagy ásványtani pontosságú bazaltos regolit, melyet Cannon és munkatársai fejlesztettek ki. A prototípus-szimulánst az alapvető fizikai, kémiai és spektrális tulajdonságok, illóanyag-tartalom jellemzésére, valamint a Mars-járók és távérzékelő berendezések fejlesztésére használták. Ezt a fajta modellanyagot nagy mennyiségben állítja elő a Hold- és Aszteroidafelszín-tudományi Központ (CLASS) Exolith Lab, valamint kereskedelmi forgalomban is kapható. Az

ásványi összetevők és az előállítási módszerek közzétételével a szerzők arra számítanak, hogy más laborok is létrehozzák majd a modellanyagot, és új ötletek szerint módosíthatják, ami egy fenntarthatóbb modellt eredményezhet a modellanyag előállításához, és lehetővé válik a modellanyag kiterjesztése a Mars különböző régióira vagy különböző alkalmazásaira [13],[14].

Gyártó: Exolith Lab

Ország: USA

A Mars Science Laboratory Curiosity rover adatain alapuló reprezentáns

Tömörítetlen térfogatsűrűség: 1,29 g/cm³

Átlagos részecskeméret (térfogat szerint): 90 µm

Szemcseméret tartomány: >0.04 µm – 600 µm

Összetétel:

Anortozit 27,1%

Üvegben gazdag bazalt 22,9%

piroxén 20,3%

Olivin 13,7%

Mg-szulfát 4,0%

Ferrihidrit 3,5 %

Hidratált szilícium-dioxid 3,0%

Magnetit 1,9%

Anhidrit 1,7 %

Fe-karbonát 1,4%

Hematit 0,5%

3.2.4 JEZ-1 (Jezero Delta Simulant)



4. ábra Jezero Delta Simulant (Exolith Lab)

A Jezero Delta Simulant a Jezero kráter delták anyagainak a szimulálására készült. Ez az a földrajzi terület, amelyet a NASA Mars 2020 rover-missziója vizsgál. A Jezero delta üledékeinek pályamenti távérzékelése alapján a JEZ-1 az MGS-1 összetételének keveréke szmektit agyaggal, magnézium-karbonáttal és olivinnel. A lehetséges ásványtani eltérések miatt figyelembe kell venni a szimuláns pontosságának korlátait [15].

Gyártó: Exolith Lab <https://exolithsimulants.com/>

Ország: USA

Referenciaanyag: A távérzékeléssel észlelt Jezero-kráter-delta reprezentánsa

Tömörítetlenn térfogatsűrűség: 1,54 g/cm³

Átlagos részecskeméret (térfogat szerint): 70 μm

Szemcseméret tartomány: <0.04 μm - 500 μm

Összetétel:

Olivin 32,0 %

Anortozit 16,0 %

Üvegben gazdag bazalt 13,5 %

Piroxén 12,0 %

Mg-karbonát 11,0 %

Szmektit 6,0 %

Mg-szulfát 2,4 %

Ferrihidrit 2,1 %

Hidratált szilícium-dioxid 1,8 %

Magnetit 1,1 %

Anhidrit 1,0 %

Fe-karbonát 0,8%

Hematit 0,3 %

Fizikai tulajdonságok:

Medián részecskeméret: 60 µm

Részecskeméret-tartomány: < 0,04 - 500 µm

Tömörítetlen térfogatsűrűség: 1.54 g/cm³

3.3 TALAJOKKAL KAPCSOLATOS MÉRÉSEINK

Talajkeverékeinkben talajtulajdonságokat mérő műszer volt segítségünkre. Méréseinkkel a kálium és a pH vizsgálatára fókuszáltunk.

3.3.1 Hagyományos módszer a simulant-ok vizsgálatára

A kálium többek között szerepet játszik a fotoszintézisben, valamint a növénytörténő anyagáramlásában is. Mivel meghatározza a sejtek ozmotikus potenciálját, illetve a növényi sejtek és szövetek turgornyomását, így nagy szerepe van a növények vízgazdálkodásában is. A talajok kálium tartalmát lángfotométerrel mértük meg a Budai laborban, a talajtan tanszéken. Ezeknek a méréseknek az eredménye:

1.	MGS-1	372,0 mg/kg
2.	JEZ-1	562,2 mg/kg
3.	LHS-1	214,8 mg/kg
4.	LMS-1	195,4 mg/kg

A nitrogén és a foszfor biogén elem, melyet a növények a talajból tudnak felvenni oxidált (nitrát, foszfát) állapotban, illetve nitrogén esetében ammóniumion formában is hasznosítható. Hiányuk esetében plazmagyarapodás és növekedés csökkenés fordul elő.

A növényekben a foszfát szabadon, a nitrogén pedig redukált állapotban fordul elő a szerves vegyületekben.

A nitrogénigény különösen a fiatal szervekben nagy. A csíranövények nitrogénigényüket a raktározott fehérjékből egy ideig fedezik. Műszerünk mérése alapján a nitrogén elenyésző mennyiségben van jelen a talajkeverékekben. Ennek jeleit a növényeken is megtapaszthalhattuk.

3.3.2 pH mérése

A kémhatás a hidrogénion-koncentráció tízes alapú negatív logaritmikus mértéke, amelyet 1-től 14-ig terjedő skálán mérünk. A beltéri növénytermesztés során kiemelkedően fontos a pH-érték meghatározása, tekintettel arra, hogy a környezet teljesen mesterséges. A pH-jelzés általában a folyadékok lúgos, semleges vagy savas jellegét mutatja. A kertészeti termelés során elsősorban a talaj pH-értékével fejezzük ki a kémhatást. A kémhatás kiemelt jelentőséggel bír a termelés szempontjából, mivel a növények specifikus pH-tartományban fejlődnek optimálisan. A gyengén savas és semleges kémhatású talajok tekinthetők a legideálisabbaknak a kertészeti termesztés számára. Referencia talajként ajánlott olyan gyárilag előkészített talajkeveréket használni, amelynek pH-értéke optimálisan be van állítva, ezzel biztosítva, hogy a növények hatékonyan tudják felvenni a számukra elengedhetetlen tápanyagokat a gyökereiken keresztül. A kisebb méretű cserép használata nehezebbé teszi a talaj és a tápoldatozásból származó sók megfelelő alkalmazását. Megállapítható, hogy a talaj optimális pH-értéke 6,8, mivel ez a legkedvezőbb érték a tápanyagfelvétel szempontjából anélkül, hogy bármelyik is túlzottan megkötődne. A gyakorlatban általában a 6,5 pH-értéket alkalmazzák. A simulant-ok pH-jának mérését a budai campus laboratóriumában, megfelelő feltárás után hagyományos pH mérővel végeztük.



5. ábra A simulant-ok előkészítése és pH-jának mérése

Méréseink alapján a tiszta simulant-ok pH-ja a következő:

- | | | |
|----|-------|------|
| 1. | MGS-1 | 8 pH |
| 2. | JEZ-1 | 7 pH |
| 3. | LHS-1 | 8 pH |
| 4. | LMS-1 | 8 pH |

Mivel a tiszta simulant-ok pH-ja eltér a fent említett 6.5-6.8-as pH értéktől, elméletileg sem várhattunk jó eredményt növénytermesztési szempontból a tiszta simulantba ültetett indikátor növényeink növekedésével kapcsolatban. Az első jelek egyike, ha pH problémája van egy növénynek, hogy a levelei csavarodnak, barna, sárgás vagy vöröses foltosak.

3.4 NÖVÉNYEK KIVÁLASZTÁSA

Az indikátor növények amelyeket a NASA és az ESA tesztekhez javasol, jelentős részben azért kerülnek kiválasztásra mert megkötik a levegőben található illékony szerves vegyületeket. Ennek jelentősége egyrészt a zárt térben történő emberi jelenlét körülményeinek optimalizálása (Mars vagy Hold létesítményekben), másrészt a zárt rendszerű növénytermesztésben is nagy jelentősége van.

	benzol (C ₆ H ₆)	formaldehid (CH ₂ O)	triklór-etilén (C ₂ HCl ₃)	xilol és toluol (CH ₃) ₂ C ₆ H ₄ és C ₆ H ₅ CH ₃	ammónia (NH ₃)
Törpe datolyapálma (Phoenix roebelenii)	X	✓	X	✓	X
Aranypálma (Dypsis lutescens)	X	✓	X	✓	X
Szobapáfrány (Nephrolepis exaltata)	X	✓	X	✓	X
Közönséges borostyán (Hedera helix)	✓	✓	✓	✓	X
Filodendron (Philodendron cordatum)	X	✓	X	X	X
Kislevelű fikus (Ficus benjamina)	X	✓	X	✓	X
Szobafikus (Ficus elastica)	X	✓	X	X	X
Kínai ehető krizantém (Chrysanthemum morifolium)	✓	✓	✓	✓	✓
Aloe vera (Aloe vera)	✓	✓	X	X	X
Csokrosinda (Chlorophytum comosum)	X	✓	X	✓	X

6. ábra Indikátor növények illékony szerves vegyületeket megkötő képességük szerint
(ESA által biztosított dokumentum részlete: NASA jelentés, amely ‘Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement’ dokumentum néven jelent meg 1989 szeptember 15.-én)

Ezen túl a következő szempontokat vettük figyelembe az indikátor növények választásnál:

- étkezésre valamilyen formában alkalmas (nyersen / elkészítve)
- termeljen oxigént, előny ha többet mint egy hagyományos növény a Földön (akár genetikailag módosítva)
- tűrje a szélsőséges körülményeket, pl: hideg
- valamint a már említett követelmény: kössön meg illékony szerves vegyületeket

A fenti listából indikátor növényünknek legalább kettőt, de lehetőleg hármat is teljesítenie kell. Gyakorlati okból a növény könnyű beszerezhetősége is szerepet játszott választásunkban. A következő indikátor növényeket alkalmaztuk kísérleteinkben:

3.4.1 Hedera helix- borostyán

Az Hedera helix, vagy közismertebb nevén borostyán egy rendkívül alkalmazkodóképes növényfaj. Elsősorban a mérsékelt égövi területeken található erdőkben és ligetekben honos, de széles körben elterjedt dísnövényként világszerte. A borostyán kúszó növény, amely más növényekre kapaszkodik, és akár 30 méter

magasságig is megnőhet. A levelei sötétzöldek, szív alakúak, és jellegzetes fűrészszerűek. A növénynek kedveznek a félszáraz vagy árnyékos környezetek, de viszonylag jól tűri a fényesebb területeket is. A talaj tekintetében a jó vízelvezetés elengedhetetlen, viszont a borostyán könnyen alkalmazkodik a különböző talajtípusokhoz. A növény igényli a rendszeres öntözést, különösen a szárazabb időszakokban. Mivel a borostyán hajlamos a gyors növekedésre, időnként metszést igényelhet. A hideg téli hónapokban a borostyán hajlamos lassítani növekedését vagy visszahúzódni, de általában jól viseli az enyhe fagyokat. Fontos megjegyezni, hogy a növény levelei mérgezőek lehetnek, ezért háziállatoktól és kisgyermekektől távol tartandó. A borostyán gyakran támaszkodik más növényekre vagy felületekre, ezért érdemes megfelelő támogatást biztosítani számára. A rendszeres tápanyagellátás hozzájárul a növény egészséges növekedéséhez és fejlődéséhez. Összességében az *Hedera helix* egy viszonylag könnyen gondozható növény, amely nagy rugalmassággal rendelkezik a környezeti körülmények tekintetében. Augusztusban és szeptemberben virágzik. Virágai kicsik, nem feltűnő megjelenésűek, sárgás-zöld árnyalatúak. A virágokat az ősz folyamán fekete, ernyőszerű termésbe rendeződött bogyótermések követik, amely kiváló téli eleség a madarak számára. Szaporodása vegetatívan és ivaroson is intenzív. Gyorsan terjed. Képes kivonni a levegőből az illékony szerves vegyületeket.



7. ábra A borostyán indikátor növény

3.4.2 Sinapsis alba- mustár

Egyéves növény, mely a káposztafélék családjába tartozik. Kb.: 0,3-0,6 méterre nő meg. Nem érzékeny a fagyra. Júniustól augusztusig virágzik, a magok júliustól szeptemberig érnek. Talajigénye nem finnyás. könnyű (homokos), közepes (agyagos) és nehéz (agyagos) talajokban is megél és kedveli a jó vízlevezetésű talajt. Enyhén savas, semleges és bázikus (enyhén lúgos) talaj pH is megfelel neki. Növekszik félárnyékban vagy árnyék nélkül. A nedves talajt kedveli. Föld alatti szervein agresszív gyökérsavak segítik, mely a tápanyagfeltáró képességét is növeli.



8. ábra Illusztráció a Fehér Mustár növény morfológiájáról [16]

3.4.3 Salvia officinalis- zsálya

A *Salvia officinalis* az ajakosok (Lamiaceae) családjába tartozó illóolaj tartalmú, meglehetősen fásodó szárú évelő cserje, amely a Földközi-tenger északi részén honos. Átlagos, száraz és közepes nedvességtartalmú, jó vízelvezetésű talajokat kedveli. A túlságosan kötött, agyagos talajokat nem szereti, a pangó vízre érzékeny, egyéb szempontból nem igényes a talajra, kavicsos, köves talajban is boldogul. Nagyon enyhe árnyéket tűri, de legjobban a közvetlen napsütésben érzi jól magát. 30-60 cm magasra nő. Illóolaj tartalma miatt a gyógyászatban és fűszernövényként egyaránt alkalmazzák.



9. ábra Az orvosi zsálya indikátor növény

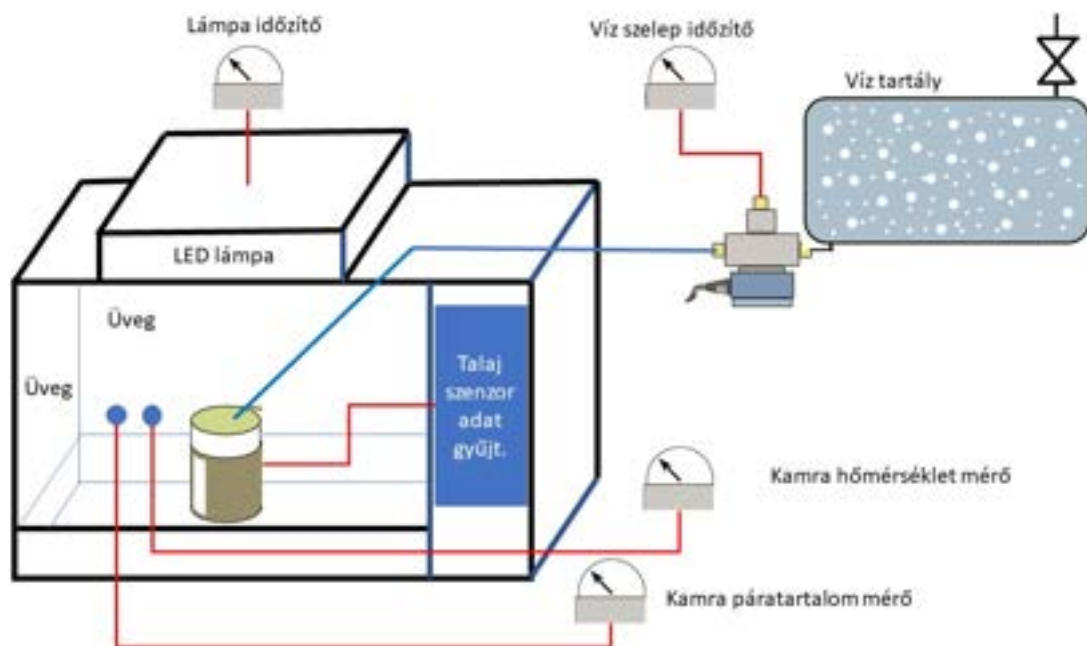
4 ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK

4.1 A NÖVÉNYNEVELŐ KAMRA LÉTREHOZÁSA

A növényeknek fényre van szüksége a fejlődéshez, életben maradáshoz. A projectben résztvevő kertészmérnök hallgató segítségével az alábbi követelményeket gyűjtöttük össze.

- Szükséges egy olyan növény nevelő lámpa, amely
 - o 1 m² körüli területet bevilágít
 - o a napfényhez közeli spektrális összetételt képez
 - o szabályozható fényerővel rendelkezik
 - o egyszerűen kezelhető, nem igényel különleges tápegységet
 - o korábbi kísérletben demonstrálta, hogy zárt rendszerben valóban alkalmas a cél eléréséhez, azaz megnő alatta a növény.
- Szükséges a kamra páratartalmának és hőmérsékletének mérése
- Napi 10ml víz eljuttatása minden növényhez
- Mélni kell a talaj NPK tartalmát, lehetőség szerint pH-ját is illetve ezeket az adatsorokat tárolni kell

A fenti igények alapján a következő egyszerű növénynevelő kamrát terveztük meg:



10. ábra A növénynevelő kamra vázlata

Mint legfontosabb elem, egy Tungsram Agritech Toplight Series típusú lámpát választottuk ki, ami kifejezetten zárt rendszerű növénytermesztés céljára van optimalizálva. Lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy különböző hullámhossz- és fényintenzitás-keverékekkel kísérletezzon, hogy meghatározza és finomhangolja a legoptimálisabb fényt mindenféle autotróf organizmus adott fenofázisához, hogy elérjék az elsődleges és másodlagos metabolitok célzott mennyiségét és minőségét. A megvilágítási programot 16 óra megvilágítás – 8 óra sötét szekvenciában határoztuk meg, amelyet programkapcsoló vezérelt.



11. ábra Tungsram Agritech növénynevelő lámpa

A talajokat klasszikus kémiai analitikai módszerekkel a budai campus laboratóriumában bevizsgáltuk, talaj összetételüket verifikáltuk. Azonban ahhoz, hogy a gödöllői campuson levő növénynevelő kamrában elhelyezett simulantokról „online” visszaigazolást kapjunk, szenzorokra volt szükségünk. Egy multifunkcionális szenzort választottunk ki, aminek típusa NPKTHPH-S, ami több paraméter pontos megadására képes, többek között:

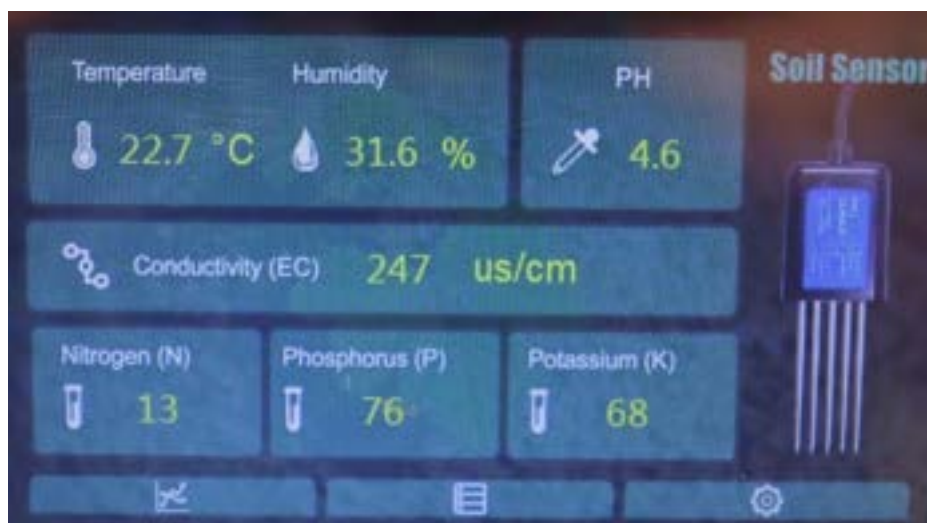
- | | |
|---------------------|---|
| • Hőmérséklet | Mérési tartomány: -40°C - 80°C
Pontosság: +- 5°C |
| • Páratartalom | Mérési tartomány: 0-100 % RH
Pontosság: 2 % 0-50%; 3 % 50-100 % |
| • Vezetőképeség | Mérési tartomány: 0-20000 us/cm
Pontosság: +-3% (0-10000 us/cm)
;+-5% (0-20000 us/cm) |
| • pH érték | Mérési tartomány: 3-9 pH
Pontosság: +- 0.3 pH |
| • Nitrogén tartalom | Mérési tartomány: |
| • Foszfor tartalom | 1-1999 mg/kg (mg/L) |
| • Kálium tartalom | Felbontás: |

1 mg/kg (mg/L)



12. ábra Talaj szenzor

Ezzel követtük a kiválasztott talaj paramétereit, amiben az indikátor növények fejlődtek. A hozzá csatlakoztatott érintőképernyős adatrögzítővel folyamatosan nyomon követhettük az értékek változását, valamint menteni tudtuk azokat.



13. ábra Érintőképernyős adatrögzítő

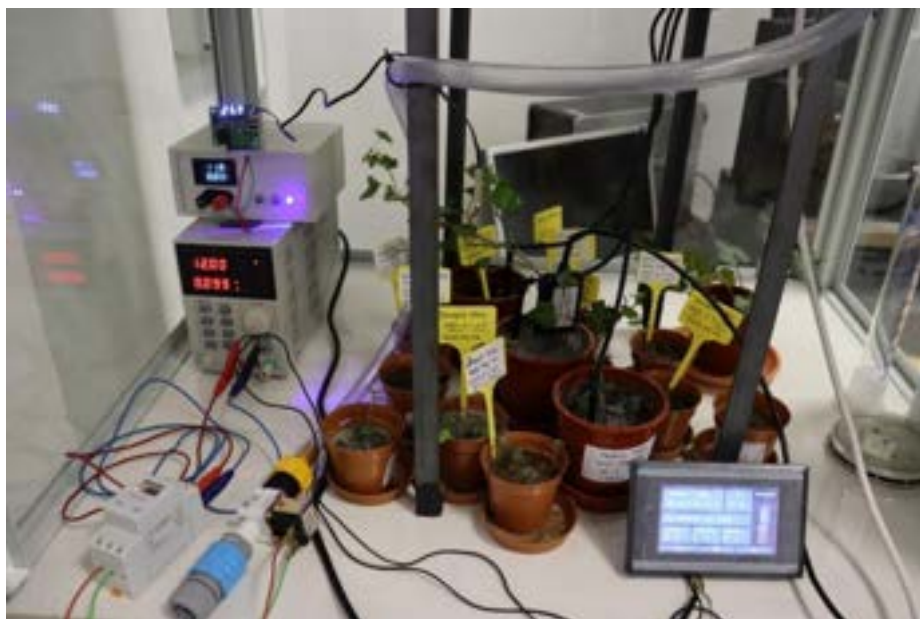
A növények számára elengedhetetlen a víz. Egy automatizált locsolórendszert helyeztünk el a növénynevelő kamrában, amely a következőket tartalmazta:

- tápegység, amely biztosítja a programkapcsoló és a mágnesszelep áramellátását
- programkapcsoló
- mágnesszelep

A programkapcsoló szabályozott, rendszeres időközönként az előre meghatározott 10ml vízmennyiséget juttatta a növényekre, amelyeket a talajmintákba ültettünk.



14. ábra A kísérleti kamra, Agritech lámpa 16 órás megvilágítási ciklusban



15. ábra A kísérleti kamra, Agritech lámpa 8 órás sötét ciklusban

A kamra klimatizált laborban került elhelyezésre, ahol a hőmérséklet és páratartalom állandó volt. Magának a kamrának a belső hőmérséklet és páratartalom szabályozása nem volt a project része, azonban ezeket a paramétereket is mértük.

4.2 KÍSÉRLETI TAPASZTALATOK

Elsőként a négy fajta tiszta simulant hatását verifikáltuk az indikátor növényekre. Irodalmi adatokból tudtuk, nem várhatunk komoly növény fejlődés, hiszen tápanyagot és szerves vegyületeket nem tartalmaznak a simulantok. Azt figyeltük inkább, hogy azonos ellátással (öntözés, páratartalom, fény, hőmérséklet) melyik talajban pusztul el hamarabb a növény. A JEZ-1 és az LMS-1 simulant rendkívül gyorsan vetett véget a képen látható borostyánoknak. (Középen (sima virágföldben) és a jobb oldalon (LHS-1) egy-egy referencia példány látható. Bal oldalon pedig látszik, hogy a JEZ-1 Simulant talajban levő növény levelei már képtelenek a fotoszintézisre, a növény elpusztult. Így alapos megfontolást követően, a további kísérleteink fókuszában az ígéretesebb MGS-1 és LHS-1 simulantok álltak. Fontos megjegyezni, hogy idővel a borostyán ezekben a talajokban is elpusztult, de jóval tovább bírta, mint a másik két Simulant-ban.



16. ábra Borostyán fejlődése különböző talajokban

A virágföld, amit alkalmaztunk, egy organikus szervesanyagkészlet, melyben különféle biogén elemek és speciálisan kifejlesztett keverékek vannak, amelyek optimális tápanyagot szolgáltatnak, valamint hozzá járulnak a növény vízmegkötő képességének

biztosításához. Tartalmaz szerves anyagokat, például tőzeget, komposztot, valamint ásványi anyagokat és műtrágyát a megfelelő növekedés támogatása céljából.

Nitrogén:	3000 mg/kg
P ₂ O ₅ :	1000 mg/kg
K ₂ O:	1000 mg/kg
pH:	6,53

A 75% simulant – 25% föld arányú keverékek méréseinek eredménye:

A Budai laborban a virágfölddel kevert mintákat is megmértük.

Nitrát

- LMS-1 17,0 mg/kg
- LHS-1 6,5 mg/kg
- JEZ-1 18,0 mg/kg
- MGS-1 18,0 mg/kg

Nitrit

- LMS-1 <0,05 mg/kg
- LHS-1 0,05 mg/kg
- JEZ-1 0,05 mg/kg
- MGS-1 0,10 mg/kg

Ammónia

- LMS-1 1,0 mg/kg
- LHS-1 1,0 mg/kg
- JEZ-1 2,5 mg/kg
- MGS-1 5,0 mg/kg

P₂O₅

- LMS-1 261,71 mg/kg
- LHS-1 165,43 mg/kg
- JEZ-1 181,48 mg/kg
- MGS-1 131,73 mg/kg

K₂O

- LMS-1 278,2 mg/kg
- LHS-1 173,8 mg/kg
- JEZ-1 266,6 mg/kg
- MGS-1 297,0 mg/kg

4.3 NÖVÉNYEKKEK KAPCSOLATOS KÖVETKEZTETÉSEK

Párhuzamosan 5 magot vetettünk el. Ezeket egy cserépbe, mivel kevés és drága a mesterséges simulant minta, valamint csak korlátozott mennyiségben állt rendelkezésünkre az előző abráziós kísérletek után.

A növények magjait gazdaboltban, megbízható forrásból szereztük be a kutatás céljából. A magokat először sima virágföldben teszteltük. (Ez azért is vált utólag még fontosabbá, mert egyik választásunk a fent megjelenített NASA által kiállított táblázatban megtalálható kínai eheto krizantém-ra esett. Azonban többszöri próbálkozás ellenére sem akart kikelni. Még sima virágföldben sem. (Valószínűleg hibás magok voltak, amiket nem a gazdaboltban hanem online rendeltünk.)

Miután a magoncok jól szerepeltek, megvolt hát a nulladik lépés. Most jöhetett a kísérlet igazi része. Természetesen nem vetettük el a magokat tisztán a simulantokba, hiszen tápanyag híján nem várhattunk fejlődést (lásd előző fejezet).

Megpróbáltunk a növényeknek a támogatására hagyományos virágföldet keverni a cserepükbe. Először 1:1, majd 3:1 végül 9:1 szintetikus talaj: virágföld arányokkal próbáltuk ki a csíráztatást.

Ennek célja az volt, hogy megfigyeljük, mennyi az a minimális szervesanyag, ami szükséges az indikátornövények fejlődésére. Fokozatosan csökkentettük a virágföld mennyiségét.



17. ábra Borostyán dugványok

A borostyán volt az első kísérleti alanyunk. A hosszú csírázás miatt itt nem magokat vetettünk el, hanem dugványokat ültettünk. Az első földkeverék-arány, amit kipróbáltunk, az az 50-50% volt. Itt kardinális pont következett, ugyanis megtelepedésünkre az LHS-1-ben jobban szerepelt a növény, mint az MGS-1-ben.



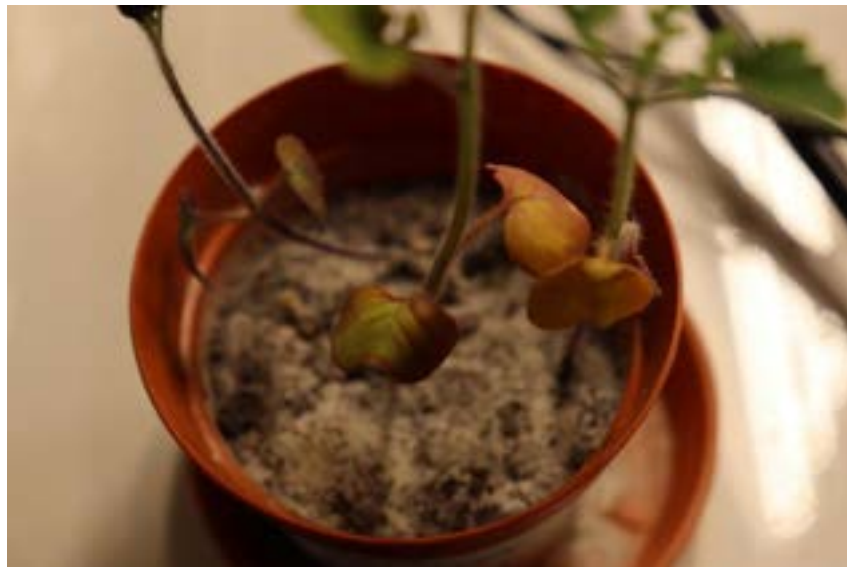
18. ábra A borostyán fejlődése Hold és Mars talajkeverékekben

Az arány növelésével a Hold regolitban tovább fejlődött a növény. A gyakorlat alapján megállapítható, hogy működőképes ebben a hold regolitban a növény, hiszen a 90:10%-os keverékben is él.

Második kísérleti alanyunk a fehér mustár volt, amit magról vetettünk el. A mustár egészen 75:25 %-os arányig helyt állt, és fejlődött mindkét regolitban, bár a leveleken elszíneződések és deformáltságok figyelhetők meg.



19. ábra Mustár eldeformálódott levelei



20. ábra Mustár elszíneződött sziklevelei

A 90-10% os aránynál ismét meglepődtünk, ugyanis ismét, a jóval kevesebb szervesanyagtartalmú keverékben fejlődött jobban a növény. Még virágokat majd később termést is hozott.



21. ábra Mustár virága, és terméskezdeményei

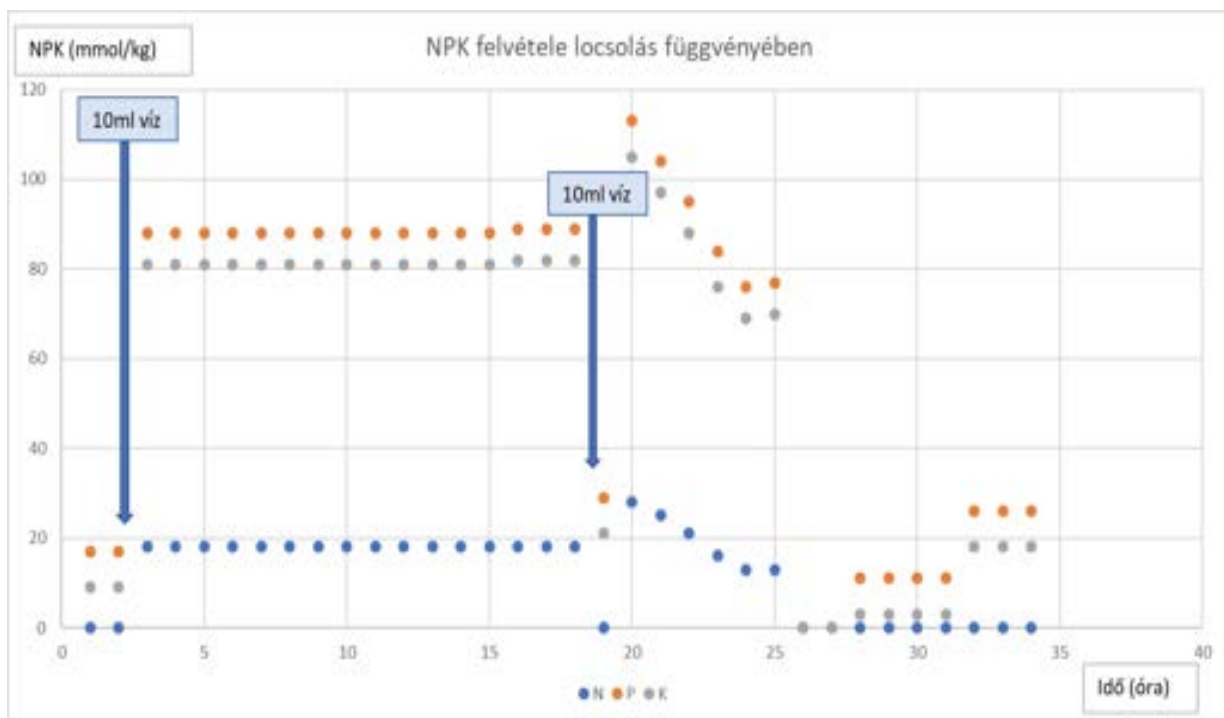
A harmadik kísérleti alanyunk pedig az orvosi zsálya volt. Sajnos gyengébben teljesített mint azt vártuk, ugyanis csak a feles arányokat bírta ki. Az annál nagyobb koncentrációjú talajkeverékekben elpusztult.

Azok a növények azonban, amik kikeltek, azokon nem vehető észre betegség, deformáltság, vagy elszíneződés, mint a mustárnál. Egy kis megnyúlástól eltekintve egészségesen fejlődtek.



22. ábra Orvosi zsálya egészséges magoncai

Szenzoros monitorozás rámutatott arra, hogy a növények számára elérhető és felvehető NPK tartalom a locsolás után a legnagyobb, majd lecsökken ahogyan a víz elfogy. Szintén megfigyelhető, hogy az ismételt 10ml víz adagolása után a felvehető NPK mennyiség egyre kisebb és kisebb. Ez felveti a folyamatos NPK adagolás szükségességét a jövőben.



23. ábra Szenzoros NPK monitorozás eredménye 90% LMS-1 10% NPK virágföld esetén

	borostyán	mustár	zsálya
100% virágföld	✓	✓	✓
100% MGS-1	✗	⊘	⊘
100% LHS-1	✗	⊘	⊘
50% MGS-1 + 50% v.f.	✗	✓	✓
50% LHS-1 + 50% v.f.	✓	✓	✓
75% MGS-1 + 25% v.f.	⊘	✓	✗
75% LHS-1 + 25% v.f.	✓	✓	✗
90% MGS-1 + 10% v.f.	⊘	✗	⊘
90% LHS-1 + 10% v.f.	✓	✓	⊘

✓: elültettük, kinőtt, fejlődött
 ✗: elültettük, nem nőtt ki
 ⊘: nem ültettük el

24. ábra A különböző arányokkal elért eredmények összefoglalása

Tapasztalatunk alapján tiszta Mars illetve Hold talajban nem lehetséges a növények fejlődése, azonban már 10% hozzáadott NPK tartalmú, megfelelő pH-jú virágföld esetében egyes indikátor növények képesek növekedni sőt, termést is hoznak.



23. ábra Indikátor növények, amelyek életképesek voltak a Hold és Mars simulant – virágföld NPK hozzátáplált keverékekben

5 TOVÁBBI CÉLOK

A következő lépés az lenne, hogy már nem virágföldet keverünk a talajokba, hanem a működőképes növényeket meghatározott, bemért NPK, PH biztosítására szolgáló tápoldatot adagolnánk, és így tesztelnénk, hogy a kísérleteink reprodukálhatóak-e mindenféle hagyományos föld hozzáadása nélkül.

6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal „A körforgásos gazdaság megvalósíthatósága a honvédelmi tevékenységek során” című, TKP2021-NVA-22 azonosítószámú Témaerületi Kiválósági Program támogatásával valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Ádám Jánosnak (Csillagváros Kft) az Agritech lámpa rendelkezésre bocsátásáért, Kamini Manick-nak, SACF Curator and Laboratory Coordinatorknak, illetve az European Space Agency(ESA), Contract No. 4000136800/21/NL/CBi támogatásukért.

7 FORRÁSOK, HIVATKOZÁSOK

- [1] G. W. Wieger Wamelink, Joep Y. Frissel, Wilfred H. J. Krijnen, M. Rinie Verwoert, Paul W. Goedhart, **Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants** <https://www.wur.nl/en/newsarticle/wieger-wamelink-on-toxins-in-martian-soils-and-growing-space-bamboo.htm>
- [2] Christopher Oze, Joshua Beisel, Edward Dabsys, Jacqueline Dall, Gretchen North, Allan Scott, Alandra Marie Lopez, Randall Holmes and Scott Fendorf, **Perchlorate and Agriculture on Mars** <https://www.mdpi.com/2571-8789/5/3/37> [Google scholar]
- [3] Gouache, T.P.; Patel, N.; Brunskill, C.; Scott, G.P.; Saaj, C.M.; Matthews, M.; Cui, L. **Soil simulant sourcing for the ExoMars rover testbed**. *Planet. Space Sci.* **2011**, *59*, 779–787. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)][[Green Version](#)]

- [4] Alexander, M. **Mars Transportation Environment Definition Document**. NASA Technical Memorandum, no. 210935. 2001. <http://www.sti.nasa.gov>
- [5] Newson; T.; Ahmed; A.; Joshi; D.; Zhang; X.; Osinski; G.R. **Assessment of the Geomechanical Properties of Lunar Simulant Soils in Earth and Space 2021**: Space Exploration, Utilization, Engineering, and Construction in Extreme Environments. In Proceedings of the 17th Biennial International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, <https://doi.org/10.1061/9780784483374.015>
- [6] Böttger, U.; De Vera, J.P.; Fritz, J.; Weber, I.; Hübers, H.W.; Schulze-Makuch, D. Optimizing the detection of carotene in cyanobacteria in a martian regolith analogue with a Raman spectrometer for the ExoMars mission. *Planet. Space Sci.* **2012**, *60*, 356–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003206331100328X>[Google Scholar][Cross Ref]
- [7] György Barkó, Gábor Kalácska, Róbert Keresztes, László Zsidai, Hailemariam Shegawu and Ádám Kalácska, **Abrasion Evaluation of Moon and Mars Simulants on Rotating Shaft/Sealing** https://www.mdpi.com/2075-4442/11/8/334?utm_campaign=releaseissue_lubricantsutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=titlelink6 [Google scholar]
- [8] Sathwik S. Kasyap and Kostas Senetakis, **A Grain-Scale Study of Mojave Mars Simulant (MMS-1)** <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4730> [Google scholar]
- [9] Christopher Oze, Joshua Beisel, Edward Dabsys, Jacqueline Dall, Gretchen North, Allan Scott, Alandra Marie Lopez, Randall Holmes and Scott Fendorf, **Perchlorate and Agriculture on Mars** <https://www.mdpi.com/2571-8789/5/3/37> [Google scholar]
- [10] Maria Rubal 2018 június 12, Delta Journalistic Platform TU Delft <https://www.delta.tudelft.nl/article/growing-tomatoes-mars>
- [11] Az LMS-1 Lunar Mare Simulant-ról megjelent cikk az ‘University of Central Florida’ honlapján https://sciences.ucf.edu/class/simulant_lunarmare/

[12] Az LHS-1 Lunar Highlands Simulant-ról megjelent cikk az 'University of Central Florida' honlapján https://sciences.ucf.edu/class/simulant_lunarhighlands/

[13] Az Exolith Lab által 2021-ben készített, az MGS-1 Mars Global Simulant-ról szóló dokumentum [Spec sheet](#)

[14] Kevin M. Cannon a, Daniel T. Britt a, Trent M. Smith b, Ralph F. Fritsche b and Daniel Batchelder **Mars global simulant MGS-1: A Rocknest-based open standard for basaltic martian regolith simulants** [Mars global simulant MGS-1: A Rocknest-based open standard for basaltic](#)

[15] Az Exolith Lab által készített JEZ-1 Simulant-ról szóló dokumentum <https://exolithsimulants.com/products/jez-1-jezero-delta-simulant>

[16] A Plants For A Future honlapon talált információk <https://pfaf.org/user/plant.aspx?LatinName=Sinapis+alba>

További források:

G.W.W. Wamelink, J.Y. Frissel, W.H.J. Krijnen and M.R. Verwoert **Crop growth and viability of seeds on Mars and Moon soil simulants** <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2019-0051/html> [Open Agriculture]

Gerrit Willem Wieger Wamelink, Line Schug, Joep Yolanda Frissel and Ingrid Lubbers **Growth of Rucola on Mars soil simulant under the influence of pig slurry and earthworms** <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2022-0079/html>

Stefan Linke, Lisa Windisch, Nico Kueter, Jan Egil Wanvik, Anna Voss, Enrico Stoll, Carsten Schilde and Arno Kwade, **TUBS-M and TUBS-T based modular Regolith Simulant System for the support of lunar ISRU activities** <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032063319301060> [ScienceDirect]

Az Exolith Lab termékei <https://exolithsimulants.com/>

B.C. Wolverton, Ph.D., Anne Johnson, M.S., Keith Bounds, M.S.: **NASA: Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement.** National Aeronautics and Space Administration, John C. Stennis Space Center, Science and Technology Laboratory, MS 39529-6000