SZAKDOLGOZAT

Jóri Bertalan

2023

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Mezőgazdasági mérnök szak

Szuperabszorbens polimerek alkalmazhatóságának vizsgálata a növénytermesztésben

Belső konzulens:	Dr. Kende Zoltán Egyetemi adjunktus
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Növénytermesztési Tudományok Intézet
Társ konzulens:	Szemők Gabriella Erzsébet PhD hallgató
Készítette:	Jóri Bertalan OLWDWH Nappali tagozat

Gödöllő, 2023

Tartalomjegyzék:

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS 5

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 6

2.1. A MAGYAR MEZŐGAZDASÁG HELYZETE 6

2.2. AZ ASZÁLY, MINT PROBLÉMA A VILÁGBAN ÉS HAZÁNKBAN 7

2.3. A MEZŐGAZDASÁGI TALAJOK JELLEMZÉSE 8

2.4. AZ ÖNTÖZÉSES NÖVÉNYTERMESZTÉS 8

2.5. A SZUPERABSZORBENS POLIMEREK BEMUTATÁSA (SAP) 9

2.6. A HIDROGÉLEK SZERKEZETE 10

2.7. A HIDROGÉLEK MEGJELENÉSE ÉS FELHASZNÁLÁSA 10

2.8. A HIDROGÉLEK ABSZORPCIÓS MECHANIZMUSA 11

2.9. A HŐMÉRSÉKLET ÉS A PH, MINT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐ 11

2.10. A SZUPERABSZORBENS POLIMEREK ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGBAN 12

2.11. A KUKORICA JELENTŐSÉGE 13

2.12. A KUKORICANÖVÉNY KÖRNYEZETI IGÉNYE 14

2.13. A KUKORICA TALAJIGÉNYE 15

3. ANYAG ÉS MÓDSZER 16

3.1. A KÍSÉLRLET CÉLJA 16

3.2. A KÍSÉRLETBEN FELHASZNÁLT POLIMEREK 16

3.3. A KÍSÉRLETEK ELRENDEZÉSEI 17

3.3.1 Első szakasz 17

3.3.2 Második szakasz 18

3.3.3 Harmadik szakasz 19

3.4. A VIZSGÁLATI HELYSZÍN ÉS A HASZNÁLT ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA 20

3.5. A STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS MÓDSZEREI 20

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 21

4.1. A NEDVESSÉG FELSZÍVÁSI KÉPESSÉGEK VIZSGÁLATA 21

4.1.1. A DCM hidrogél abszorpciója 21

4.1.2. A ZEBA hidrogél abszorpciója 22

4.1.3. Az EVONIK hidrogél abszorpciója 23

4.1.4. A három választott hidrogél nedvességfelszívásának összehasonlítása, különböző hőmérsékleten vizsgálva 24

4.2. A HIDROGÉLEK PH ÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA 25

4.2.1. A ZEBA hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken 25

4.2.2. A DCM hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken 26

4.2.3. Az EVONIK hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken 27

4.2.4. A Hirdogélek pH tőrésének vizsgálata, összehasonlító elemzés *28*
4.3. A KUKORICA VETŐMAG CSÍRÁZTATÁSA A HÁROM ALKALMAZOTT HIDROGÉLEN, ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE 29
4.3.1. AKUKORICA VETŐMAG CSÍRÁZTATÁSA 5°C-ON HIDROGÉLEN 29
4.3.2. A kukorica vetőmag csíráztatása 10°C-on hidrogélen *30*
4.3.4. A kukorica vetőmag csíráztatása 20°C-on hidrogélen *32*
4.3.4. A kukorica vetőmag csíráztatása 25°C-on hidrogélen *33*
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 34
6. ÖSSZEFOGLALÁS: 36
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 38
8. IRODALOMJEGYZÉK 39
8.2. HIVATKOZOTT WEBOLDALAK 41
9. MELLÉKLETEK 42
9.1. NEDVESSÉGFELSZÍVÁSI KÍSÉRLET ANOVA TÁBLÁZAT 42
9.2. PH TŐRÉSI KÍSÉRLET ANOVA 45
9.3. PH TŐRÉSI KÍSÉRLET TUKEY HSD TESZT 45
9.4. CSÍRÁZÁSI KÍSÉRLET ANOVA LEÍRÓ STATISZTIKIAI TÁBLÁZAT 47
10. NYILATKOZATOK 49

1. Bevezetés és célkitűzés

Az aszály okozta károk nem csak Magyarországon, de világszerte óriási problémákat okoznak a mezőgazdasági termelésben, így egyre növekszik az igény a termelés biztonságára. Ennek oka a népesség folyamatos, drasztikus növekedése, és ezzel párhuzamosan, a rendelkezésre álló termőföldterület véges mérete, mindennek tetejére a városiasodás és folyamatos emberi terjeszkedés az értékes termőföldjeink méretét csökkenti.

A klímaváltozás által egyre inkább sújtott világunkban nélkülözhetetlen új, innovatív megoldásokat találni, a fenntartható és gazdaságos növénytermesztés érdekében. Sok régióban az öntözővíz hiánya kritikus problémává vált, rámutatva a sürgős szükségletre, hogy alternatív módszereket kutassunk és alkalmazzunk. Ebben a kontextusban a hidrogélek (szuperabszorbens polimerek) kínálnak ígéretes lehetőséget, mivel képesek nagy mennyiségű vizet megkötni és a növények rendelkezésére bocsátani. Azonban a hidrogélek hatékony felhasználása érdekében alapvető fontosságú megérteni, hogy ezek az anyagok milyen körülmények között, például milyen hőmérsékleten és pH értéken, képesek optimálisan vizet felvenni, valamint, hogy támogatják-e a növények csírázását és növekedését.

Jelen kutatásunk e kérdések megválaszolását célozza. A projekt első szakaszában három különböző polimer nedvességmegkötő képességét vizsgáltuk meg különféle hőmérsékleteken, hogy meghatározzuk az optimális feltételeket. Ezt követően a különböző pH-értékeken mutatkozó vízfelszívó képesség került elemzésre. Az ideális pH és vízmennyiség azonosítása után a kutatás a kukoricacsírák fejlődésének megfigyelésére összpontosított, egy kiválasztott szuperabszorbens polimer (SAP) jelenlétében.

Célunk volt, hogy átfogó és alkalmazható megoldásokat nyújtsunk a klímaváltozás által előidézett agrárkörnyezeti kihívásokra. Fontos megjegyezni, hogy bár a hidrogélek és hasonló technológiák jelentős segítséget nyújthatnak, nem helyettesítik az ésszerű, alkalmazkodó talajművelési és gazdálkodási gyakorlatokat, melyek elengedhetetlenek a fenntartható mezőgazdasági rendszerekhez. A kutatás tehát nem csupán a hidrogélek potenciális hatékonyságát kívánja feltárni, hanem arra is törekszik, hogy beágyazza őket egy szélesebb, integrált növénytermesztési stratégiába.

2. Irodalmi áttekintés

2.1.A magyar mezőgazdaság helyzete

Az agrárgazdaság a magyar társadalomban még napjainkban is megkülönböztetett jelentőséggel bír, ami a gazdasági szerep mellet hagyományainkból és kultúránkból is eredeztethető (Kapronczai, 2016). Hazánkban a rendelkezésre álló természeti adottságokkal karöltve a termelési és feldolgozási hagyományok erős alapot biztosítanak, kiegészülve kiemelkedő szellemi tőkével, egy világhírű agrárszektor kiépítésére és fenntartására. A feltételek adottak voltak már a rendszerváltás időszakában is azonban ekkor nem tudtunk és nem is mindenki akart élni az ott rejlő lehetőséggel. A mezőgazdaság nemzetgazdaságban betöltött szerepe illeszkedik a főbb európai makrogazdasági mutatókkal. Az 1990-es évek óta folyamatosan csökkenő tendenciát mutat a mezőgazdaság a GDP termelésben. 2010-re már 3%-ra csökkent, majd kisebb ingadozás után az következő években növekedést mutatott és napjainkban 4% feletti értékre növekedett.

A XXI. század komoly agrárproblémái közé tartozik a mezőgazdaságban aktívan dolgozók fogyása és öregedése. Csak 2020 óta 19%-kal csökkent az agrárgazdászok száma, ami számszerűsítve 196 ezer főt jelent. Önmagában ez nem akkora probléma, mint az iskolázottság hiánya és az alkalmazottak, illetve aktív gazdálkodók átlagéletkora, ami rohamos öregedést mutat. A gazdászok száma több mint 100 ezerrel volt kevesebb 2023 június 1-jén, mint tíz évvel ezelőtt. Aggasztó jeleket mutat, hogy a kisebb főként jószágokat tartó kisgazdaságok jelentettek csődöt, míg ezzel szemeben a birtokosok tulajdona nőtt tovább. Hazánkban a növénytermesztéssel a gazdászok 73% foglalkozik ami folyamatos növekedést mutat az állattartó telepekhez képest amelyek folyamatosan csökkenek és mindössze 14%-ot tesznek ki és a maradék 5,2% ezen kategóriába be nem sorolható főként használatlan ugar- és gyepterületekkel rendelkező személyek (KSH, 2023). A rendszerváltozás után kialakult szerkezet folyamatos változások követték egymást, amely a kellőnél többször a politikai érdeket követte a szakmai, illetve gazdasági érdek helyett azonban ez mára egy stabil kialakult szerkezetet vett fel. A magyar gazdaságok egy jelentős hányada (15%-a) 1 hektár alatt gazdálkodik, azonban a legjellemzőbbek az 1-5 hektár közötti termelők. Óriási szakadékot hagyva 200-500 hektáros intervallumon belül tevékenykedők hasznosítják a teljes rendelkezésre álló mezőgazdasági terület 1/5-ét ám gazdálkodók mindössze 1,9%-át teszik ki. Az ország területének 55%-a mezőgazdasági terület, amely Európa szerte szinte egyedülálló és komoly helyezést ér el a többi EU tagállammal szemben. 4,2 millió hektár szántó (a terület 82%-a) és 793 ezer hektár gyep művelési ágba tartozik. Gyümölcs és szőlőtermelési ágazat alá tartozó területek összesen 143 ezer hektárt tettek ki. Összegezve 2023-ban

Magyarországon 5,1 millió hektár földterület volt, valamely mezőgazdasági művelési ág munkái alá befogva. Szántóföldi arányokra tekintetében a gabonafélék a fő termesztettek és ipari növények követik. Pozitívum, hogy a be nem szántott területek csupán 1,9%. A kukorica, mint takarmánynövény vetési aránya csökkent majd 20%-kal. Ennek oka főként a 2021-es aszály volt, ahogyan ezt a Központi Statisztikai Hivatal 2023-as Agrárium elemző irata leírta.

2.2.Az aszály, mint probléma a világban és hazánkban

Maga az aszály egy pillanatnyi állapotot leíró fogalom, amely időben rövid és egyszerre jelent tartós csapadékhiányt és magas hőmérsékletet. Ezt okozhatja emberi tevékenység is és maga az éghajlatváltozás. Azonban ez a két dolog egymásból következik.(Fekete 2017) Maga az aszály nem egy újkeletű dolog. Hazánkban a XX. században is előfordultak aszályos időszakok(Szilvia, 2003), de ami napjainkban a károkozásért felelős az időről időre visszatérő aszály. Az aszály pedig egy komplexebb problémakör kis darabjaként jelenik meg a világ és Magyarország mezőgazdaságában.

A mezőgazdaság szempontjából leginkább fontos befolyásoló környezeti tényezők a csapadék mennyisége, eloszlása és a hőmérséklet. 1991 és 2020 között hazánkban évente kb. 50-80 milliméter csapadék hullott le havonta (http1), ami rendkívül kevés és így az éves összmennyiség is jelentős hiányt mutat. Kihatással van az ősszel és télen végbe menő talajnedvesség feltöltődésre, amely kulcsfontosságú a megfelelő vízháztartási viszonyok kialakulásához. Tavasszal a talaj kipárologtatása erősíti az aszály hatását és az esetlegesen lehullott csapadék csak a talaj felső rétegeit nedvesíti meg, az altalajba már nem szivárog le. A nyáron előforduló hirtelen záporok, zivatarok pedig a gyorsan lefolynak a felszínről emiatt csekély mértékű a beszívódás. A 2022-es évben extrém hőhullámok sújtották Magyarországot és ennek hatása is közrejátszott többek között az aszály kialakulásában.

Komoly közvetett problémát is okozhat az aszály jelensége mivel a tápanyagfelszívódás vízzel együtt történik, így a kultúrnövény nem jut a megfelelő fejlődéshez szükséges mennyiségekhez.(Erdődiné és Kovács, 2023)

Alaposan kutatott és megalapozott tényként kezeljük, hogy az ember óriási hatást gyakorol a globális felmelegedés előidézésében. Ebben egyik fő tényező a fosszilis tüzelőanyagok égetése energiatermelés céljából, és még emellett más olyan tevékenységek is, amelyek az üveghatású gázokkal telítik a légkörünket. Ezen okok következménye a globális éghajlatváltozás és a bolygónk felmelegedése (Király 2016). A negatív környezeti hatások pedig egyre inkább rontják a szántóföldi növénytermesztés hatékonyságát.

2.3. A mezőgazdasági talajok jellemzése

Mezőgazdasági szempontból vizsgálva a talaj az egyik alappilére- ha nem is az elsőszámú tényezője – annak, hogy a terméshozam hosszútávon biztosítsa a lakosság táplálkozási igényeit. Emellett pedig stabil megélhetést biztosítson a gazdálkodó családoknak (Fekete, 2017). Ezen dolgozat témájának szempontjából a vízkapacitás a legfontosabb számba vehető tényező a talaj megannyi tulajdonságai közül. Maga a vízkapacitás is tovább boncolható olyan módon, hogy milyen módon köti meg a vizet és milyen arányban (Chesword, 2008). Definíció szerint a maximális vízkapacitás a talaj által felvehető maximális, és az összes pórust kitöltő vízmennyiséget adja meg. A gravitációs víz az elnevezése is erre utal, hogy a szabad vízként jelenlévő mennyiséget a talaj alsóbb rétegjeibe leszivárogva keletkezik. Növények szempontjából ez felszívhatatlan mivel rövid idő alatt a felszívási zóna alá kerül a víz. Az ideális állapot amikor minimális a gravitációs víz és a kapilláris, illetve pólustér telített. Ezt az intervallumot szabadföldi vagy szántóföldi vízkapacitásnak nevezzük. Mindezek mellet a termesztett növény számára legfontosabb tényező a hasznosítható víz, amely egy kritikus szint alatt olyan erőjű szívóerőt igényelne, amire a növény nem képes és ezt nevezzük végleges hervadáspontnak. Amennyiben ez a helyzet kialakul komoly és visszafordíthatatlan károk keletkeznek a terméshozamban.(Szász, 2000)

2.4. Az öntözéses növénytermesztés

Az öntözés és az öntözéses gazdálkodás agrárpolitikai megítélése erősen hullámzó tendenciát mutató görbe. Leegyszerűsítve az időjárással mutat negatív korrelációt. Időjárástól függően támad igény arra, hogy öntözzenek vagy sem. Pedig éppen hazánkban lenne szükség arra, hogy az öntözésre állandóan fel legyenek készülve. Alapvető majdnem kötelező követelmény kellene, hogy legyen ennek az állapotnak a fenntartása. Ami közel sem azt jelenti, hogy az öntözésre sor is kell, hogy kerüljön, hanem azt időjárási ingadozásoktól függetlenül tudják biztosítani a kultúrnövények számára. Így mindig a megfelelő nedvességi tartományban lehetne termeszteni.

A mezőgazdasági termelési eszközök folyamatos drágulása következtében az öntözési költségek olyannyira megemelkednek, hogy az új rendszerek telepítése vagy akár kiépített rendszer karbantartása és modernizálása rövid időn belüli megtérülése hiányában a gazdát ellehetetlenítené. Másrészről az öntözés a termés mentésével ezt a megtérülést segítheti elő. A másik körülmény, hogy a mostanra kialakult birtokstruktúra nem igazán kedvez az öntözésnek. Az elaprózódott birtokrendszer jórészt nagyüzemi öntözési technikát és technológiát örökölt és

időt vesz igénybe, amíg ez a két oldal (a birtok-méret és az öntözéstechnika) közelít egymáshoz és előállhat egy új egyensúlyi helyzet. Végül a harmadik dolog az öntözési szakismeret hiánya.

Az öntözés igen összetett és eléggé költséges technológiai beavatkozás. Ennek a problémakörnek a feloldására részben az öntözési szaktanácsadás intézményes újraélesztése szükséges, másrészt az öntözési támogatás területileg differenciált rendszerének a kialakítása, mely utóbbi esetében az alföldi térség megkülönböztetett figyelmet kell, hogy kapjon. Az említett három problémakör meghatározó módon járult hozzá, hogy az öntözött terület nagysága - országosan - „látványos" módon visszaesett. Az öntözött terület alakulása az Alföldön: 1980-ban 133,6 ezer, 1990-ben 204,5 ezer, 1992-ben 175,7 ezer, 1993-ban 163,5 ezer, 1997-ben 81,8 ezer hektár. (Hanyecz, 1998)

Országos szinten is hasonló és az alföldi példákhoz hasonlóan alakult az öntözött területek aránya. Az öntözött területek nagyságát mindenképpen növelni kell. Ha megvizsgáljuk a Központi Statisztikai Hivatal mezőgazdasági vízfelhasználásról gyűjtött adatait és elemezzük az elérhető adatokat húsz évre visszamenőleg, akkor láthatjuk, hogy öntözött területek nagysága és a víz mennyisége hazánkban milyen mértékben csökkent. A vízjogilag engedélyezett öntözési terület húsz éve 235,5 ezer hektár volt, míg a 2020-as évben 198,1 ezer hektár. Ez 15,1%-os csökkenést jelent az engedélyezett területek nagyságában. Önmagában ez az adat még nem ad olyan borús képet, mint amikor összehasonlítjuk az adott évben mezőgazdasági művelés alá volt területek nagyságával. Az eredmény kiábrándító 4% körüli öntözhető területnagyságot jelent (Dr. Jung 2022).

Magyarországon a helyzet az egyre gyakoribbá váló és hosszabb ideig tartó súlyos aszályok okozta károk óta változásnak indult az öntözött területek száma növekedést mutat az utóbbi két évben. A korábbi évek hiányosságait és ebből keletkezett károk mértékét összegezve a gyors és cselekvőképes gazdák hamar felmérték a helyzet és hiányosságaik súlyát. A KSH adatai alapján 2022-ről 2023-ra 153 ezer hektárról 258 ezer hektárra emelkedett az öntözés alá vont földterület. Modernizációt is hozott magával ez a változás ugyanis esőztető öntözést 75%-ban, felületit 14%-ban, csepegtetőt 9,7-ban% és nemutolsó sorban felszín alatti öntözést 1%-ban használnak (KSH, 2023).

2.5. A szuperabszorbens polimerek bemutatása (SAP)

A polimer gélek vagy másnéven hidrogélek több csoportba csoportosíthatóak szerkezeti felépítésük alapján. A szakdolgozatomban ezek vizsgálatával fogok foglalkozni. A hidrogélek olyan általában akrilsavból polimerizált térhálós szerkezetű anyagok, melyben a térhálóban

található üregeket víz vagy vizes oldat tölti ki. A szuperabszorbens polimerek (SAP) másnéven szuperabszorbens hidrogélek, olyan anyagok, amelyek saját száraz tömegük több ezerszeresével képesek, a nedvességet (vizet és vizes oldatokat) felszívni és magukban tartani. Ezért fontos egészségügyi és tisztasági szer alapanyagok is ezen tulajdonságuk miatt. (Ai et al., 2021)

2.6. A hidrogélek szerkezete

A polimer géleket két fő csoportra oszthatjuk szerkezetüket tekintve. Ez az alapján következik, hogy fizikai vagy kémiai térháló alakítja ki. Kémiai esetében egy nagyon erős oldószerekben sem szétbomló, nagyon stabil térháló jön létre mindez az erős elsődleges kémiai (kovalens) kötéseknek köszönhető. Fizikai térháló esetében kevésbé stabilak a kialakult másodlagos kölcsönhatások (H-kötések, Van der Waals-kötések, hidrofób kölcsönhatások.). A kialakult térháló ezen belül is még változatosabb lesz (Fekete 2017). A szuperabszorbens polimerek többtényezős és komplex szerkezettel rendelkeznek.

2.7. A hidrogélek megjelenése és felhasználása

A hidrogélek biológiai alkalmazásáról és ilyen célú előállításáról először a 60-as években olvashattunk. Kezdeti elterjedését nagy biokompatibilitásának köszönheti, és azóta többen is számtalan tudományos értekezést írtak ebben a témában. Kiváló tulajdonságaik miatt több fő iparág is a mai napig nagymennyiségben használja őket. Legnagyobb áttörést 1978-ban Japánban érték el női egészségügyi betétek gyártásával. Később a mai eldobható pelenkák készítésére is használni kezdték. Gyártása egy többlépcsős folyamat, amely végére a kapott anyag egy gumiszerű lágy, átlátszó és szagtalan gél. Szárítás és porítás után értékesítik, mint nedvességfelszívó anyagot. Növényegészségügyi célokon kívül az építőiparban, gyógyszeriparban alkalmazzák, valamint szennyvízfeldolgozás és mezőgazdasági célú felhasználását kutatják (Wichterle és Lím 1960). Az agráriumban egyre komolyabb szerepet és teret nyer a különböző szuperabszorbens polimerek (SAP) használata, mivel talaj fizikai állapotát és nedvességtartalmát tudjuk vele szabályozni. Növényegészségügyi előnyük mellett a vízszabályozás is fontos szempont az agráriumban való felhasználása során. Legszembe tűnőbb, hogy az öntözés mértékét csökkenti, megfelelő csapadék esetén megszünteti, ami a termény termelési költségeiben komoly szerepet játszhat. Ezen előnyökön túl a megfelelő dózis adagolása elengedhetetlen ugyanis a túlzott SAP kijuttatása a talajba komolyan környezeti károkhoz vezethet mind növényi és állati értelemben is (Chang et al., 2021). Kijuttatásának és felhasználásának környezeti hatásai azonban még vitatottak a felmerülő talajszennyezést okozó SAP részecskék miatt. Ai et al., 2021 is ezt a témát boncolgatja tudományos cikkében. A modern agrártudomány jövőjeként tekint erre az anyagra amellett, hogy

léteznek előbb említett veszélyei és hátrányai. A biotechnológia folyamatos fejlődésével a XXI. század új produktuma a teljesen lebomló polimer, amely a biokompabilitása mellett biológiailag tökéletesen bomlik. Ígéretes mind orvosi, ipari és mezőgazdasági felhasználásra.(Li et al. 2021)

2.8. A hidrogélek abszorpciós mechanizmusa

Minden különféle módon szintetizált polimer eltérő tulajdonságokkal rendelkezi. A polimerek nagy csoportja olyan kémiai szerkezettel rendelkezik, hogy a fő lánc vagy az oldallánc erős hidrofil funkcióscsoportokat tartalmaz. Ezek a karboxilcsoportok vagy hidroxilcsoportok biztosítják azt a fajta vízfelszívási szándékot, amelyre a szintetizált anyag képes.(Ai et al., 2021) A polimerek térhálós szerkezetűek és duzzadásuk az ozmózisnyomás elvei szerint alakul. Ezt tényszerűen Flory írta le először 1953-ban. Az elméletet Flroy-Huggins termodinamikai elméletnek nevezik. Egy töltésgradiens alakul ki, a szabad ionok koncentráltabbak a polimer belsejében, mint a külsejében. Ezen gradiens révén keletkezett ozmózisnyomás eredménye a polimerlánc duzzadása. A folyamattal szemben hat a polimer térhálós szerkezete, a keresztkötések akadályozzák a polimerláncok eltávolodását egymástól, ezáltal a duzzadás során a térháló deformációja lép fel és ez a folyamat folytatódik mindaddig még egyensúlyi állapotba nem kerül a polimer és eléri az egyensúlyi duzzadásfokot. A SAP-ok ezen tulajdonságának köszönhetik, hogy amíg a cellulózból készült vatta 12g vizet képes abszorbeálni, addig 1g SAP akár 1000g vizet képes megkötni. Ideális helyzeten kívül pedig több különböző befolyásoló tényezőtől függ az abszorpciós tulajdonsága. Az egyensúlyt az oldószer anyagi minőségén túl például a hőmérséklet, a pH vagy az ion erősség is behatással lehet a duzzadási folyamatra. A paraméterek megváltozásával az egyensúly is megváltozik, ami további oldószerfelvételhez vagy ellenkezőleg, a duzzadásfok csökkenéséhez vezethet. (Fekete 2017)

2.9.A hőmérséklet és a pH, mint befolyásoló tényező

Bizonyos szuperabszorbens polimerek rendelkeznek olyan különleges akár intelligensnek nevezhető tulajdonsággal, hogy szerkezeti változáson mennek keresztül kisebb-nagyobb környezeti értékek változására.(Gulrez et al. 2011) Kiemelve ezen ingerek közül a pH és a hőmérsékletet. Az ilyen intelligens polimerek széles-körben kibővítik az alkalmazható területek számát, így akár mezőgazdasági ágazaton túl építőiparban és gyógyszeriparban is alkalmazható. Ennek fő oka, hogy irányított sebességgel, és megfelelő időpontban egy környezeti ingerre képesek reagálni (Qiu és Park 2001).

2.10. A szuperabszorbens polimerek alkalmazása a mezőgazdaságban

A mezőgazdasági termelésben a víz szerepe kiemelkedő és létfontosságú. A korábbiakban elemzett vízhiány és az aszály azonban elsivatagosodást okoz, ami kihívást jelent a fenntartható mezőgazdasági fejlődés és az élelmezésbiztonság szempontjából. Ezért a mezőgazdaságban a vízfelhasználás hatékonyságának növelése nagy jelentőséggel bír. A SAP-ek kiemelkedően magas és tartós vízmegtartó képességüknek köszönhetően hatékonyan javítják a mezőgazdasági vízfelhasználást. Oly módon befolyásolják a vízmegtartást, hogy nagymennyiségben, és a növények számára elérhető talajrétegekben kötnek meg a vizet. Kifejezetten jó hatást gyakorolnak a kis vízkapacitású homokos talajokon, emellett a kevésbé rossz mutatókkal rendelkező talajokon is terméshozam növekedéshez vezethet az alkalmazásuk (Woodhouse és Johnson 1991), beleértve az öntözővíz-felhasználás csökkentését. A SAP-láncon belül számos hidrofil csoport segít a saját tömegénél több ezerszeresét kitevő vizet elnyelni. Ezenkívül a kémiai vagy fizikai térhálósodás háromdimenziós hálózata biztosítja az SAP erős víztartó képességét, még állandó nyomás alatt is. A SAP-eket kettő csoportra oszthatjuk eredetük szerint, mely a szintetikus és természetes eredetű. A természetes polimereken, például cellulózon, keményítőn és kitozánon alapuló SAP-nek nyilvánvaló előnye, hogy rövidebb időn belül bomlik le. Azonban alacsony a vízfelvevő képességük, és nagy mennyiségben kell felhasználni őket. Ellentétben a szintetikus polimereken, például a poliakrilsav (PAA) és a poliakrilamid (PAM) alapú SAP-ek előnye az alacsony bekerülésiköltség, a hosszú lebomlási idő és a nagy vízfelvétel. Hátránya még, hogy a lebomlás során keletkező anyagok esetleges környezetvédelmi és növényegészségügyi problémákat vethetnek fel. A SAP-eket a talaj vízfelhasználásának hatékonyság javítása mellet, eszköz lehet a műtrágya felszabadulásának szabályozására is. Jelentések szerint a hagyományos műtrágyákban lévő nitrogén (N) 40-70%-a és a foszfor (P) 80-90%-a nem szívódik fel a növényekben a nagy vízoldékonyságuk és a környezetbe való diffúziójuk miatt (lemosódik). A műtrágya SAP-ban történő kijuttatása nemcsak a műtrágyázás hatékonyságát javíthatja, hanem a felesleges környezetszennyezést és környezetterhelést is elkerülhetné. Ezért a SAP kiemelkedő szerepet folytat a fejlődő mezőgazdaságban. (Chang et al., 2021) Az elnyújtott, szabályozott tápanyagleadási tulajdonsága hosszú évek óta világszerte kutatott témakör. A leadás-szabályozással nemcsak a tápanyag utánpótlás sebességét tudjuk befolyásolni, hanem az egyéb gyomírtó, gombaölő és rovarirtó szerek hatékonyságát is sokszorozni lehet. Két fő pozitív hozama van eme tulajdonságnak. Csökkenti a növényvédelmi szerek kijutatott mennyiségét továbbá a környezeti terhelést is a kezelések számának minimalizálásával. Olvashatjuk, ami manapság szinte kötelező eleme a tudatos gazdálkodásnak, hogy bármiféle SAP kijuttatása előtt elengedhetetlen a

talaj vizsgálatának elvégzése. Főként a tápanyagtartalmára kell különös figyelmet fordítani a kilúgzás esetleges gyorsítása miatt. (Guilherme et al., 2010). A szántóföldi növények növekedésének stabilitása teljes mértékben a kijutatott tápanyag-utánpótló anyagoktól és a víztől függ. Mégis a felhasznált tápanyagok nagyobb százaléka a növény nem képes felszívni. A Feleslegessé vált anyagok komoly terhelést és pénzbeli veszteséget jelent mezőgazdasági viszonylatban.(Wu és Liu 2008)

2.11. A kukorica jelentősége

A kukorica (*Zea mays* L.) körülbelül 10 000 évvel ezelőtt indult útjára valahol Mezoamerikában, és komoly indítómotorja a fejlett mezőgazdasághoz vezető útnak. Az ókori gazdák elkezdték szelektálni és befolyásolni a növény őseit, és kifejlesztették valójában kinemesítették a ma ismert kukoricát (García-Lara és Serna-Saldivar 2019). Néhány évszázad alatt a bennszülött mezoamerikaiak a kukorica őseit számos primitív kukoricafajtává alakították át, amelyek még napjainkig a genetikai hátteret biztosítják a magas hozamú, szabad beporzású hibridek és transzgenikusfajták kialakulásához. Továbbá az ismert speciális típusokat is ezen folyamaton keresztül szelektálták. Későbbiekben pedig célzott nemesítői munka során alakították ki a mezőgazdasági tudósok a speciálisabb fajtákat mint, például a pattogatott kukorica, édes, pigmentált és magas fehérjetartalmú takarmánykukorica (Pruitt, 2016). Ma ez a nagy értékű genetikai információt kódoló és a különböző ökoszisztémákhoz kiválóan alkalmazkodó takarmány- és élelmiszernövény a bolygó legrelevánsabb gabonanövénye, éves termelése meghaladja az 1 milliárd tonnát. Amerika felfedezése után a kukorica gyorsan elterjedt Európában, Ázsiában és Afrikában, ahol szintén széles körben ültetik és használják. Felhasználási szempontból a kukoricát a földkerekség számos régiójában alapélelmiszeri szerepkört tölt be, széles körben használják takarmányként, valamint napjainkban az ipari ágazatok is előszeretettel használják bioüzemanyagok, kémiai vegyületek, pszeudo-műanyagok és egyéb anyagok előállításához (Smith et al. 2004). Az ipari célú felhasználáson melléktermékei is egyaránt felhasználhatók, mint takarmány és energetikai célokra. Talajművelésben kiegészítésként tápanyagutánpótlás céljából alkalmazható (Hidvégi 2007).

Hazánkban is évtizedek óta az egyik legnagyobb területen termesztett kultúrnövény és igen magas termésátlaggal is rendelkezik. (KSH, 2022). A gazdaságossághoz vezető kukoricatermesztésnek világszerte különböző akadályai vannak, pedig a növény által igényelt feltételek konstansok. Két főbb csoportra lehet bontani ezeket, amely független a gazdálkodótól és amelyet a gazdász által használt termesztéstechnológia befolyásol. Ezért az adott ökológiai viszonyokhoz legjobban igazodó, kedvező vízháztartású hibridek termesztésével, a terület

lokálisan elérhető és anyagilag is fenntartható öntözéssel, megfelelő vetésváltással és tápanyag-visszapótlással, a kukorica igényének megfelelő, forgatás nélküli talajműveléssel, az optimális növényszám biztosításával, és a jelenleginél hatékonyabb növényvédelemmel növelhetjük a kukorica termésbiztonságát. Hosszútávon a jövedelmezőség csak és kizárólag így biztosítható, ha az ökológiai és a gazdasági igényeket közösen vizsgálva hozunk a korábban taglalt szempontok szerint döntést (Nagy 2010).

2.12. A kukoricanövény környezeti igénye

Magyarország különleges éghajlati jellemzőkkel rendelkezik. A három (atlanti, mediterrán és kontientális) éghajlati öv találkozása révén lehetséges, hogy ilyen változatosan olykor-olykor extrém hazánk éghajlati körülménye. Mindezek mellet összeségében kedvező a mezőgazdaságnak és jó minőségű terményt lehet betakarítani (Harnos, 1996).

Mezőgazdaság, mint ágazat talán a legjobban a környezet kegyességére bízott ipari ágazat. Ezen belül is kiemelkedő a víz, mivel a növények a vízben oldott tápanyagot képesek a leghatékonyabban felvenni. A kukorica, mint minden egyéb növény is, a tenyészideje során a talaj felső rétegiből veszi fel a talajnedvességet. A lehullott csapadék ezen talajrétegen keresztül szívódik a talajba, amelynek hiánya az aszály. Hazánkat legjobban befolyásoló környezeti csapás nem más mint pedig az aszály (Blanka et al., 2013). Frencsik Sándor (2015) azt is leírta, hogy hazánkra kialakított előre tekintő klímamodellek alapján az átlaghőmérséklet emelkedésre, a csapadék mennyiségének csökkenésére és eloszlásának egyenletlenségére hívják fel a figyelmet a kutatók.

A kukorica növény származási helyét tekintve rendelkezik olyan tulajdonságokkal amiért nem termeszthető bármilyen környezetben. Főleg trópusi növény jellege befolyásolja a növekedését ugyanis igencsak melegigényes, sőt a szántóföldi kultúrnövények közül a legmelegigényesebb. Korrigálni lehet a kedvezőtlen területeken a termesztés feltételeit specifikus technológiák alkalmazásával, de ez a gazdasági megtérülés esélyeit halmozottan csökkenti.

Mint korábban említettem ingadozó, úgynevezett kritikus időszakai vannak a kukoricának, amelyek a növekedését követik. Első a megfelelő vetésidő, mivel szükség van a megfelelő talajhőmérsékletre a mag csírázásának megindulásához. A virágzás majd a szemtelítődési fázis a másik fő kritikus pont, mivel itt nedvességre van szüksége a növénynek. Nyáron ennek ellenkezője jellemző Magyarországon, így komoly aszálykárok keletkezhetnek. Napjainkban kevésbé jellemző, de semmiképp nem elhanyagolható a fagykárok májusban a korai kelés utáni fázisban, illetve az őszi időszakban (Ragasits et al. 1994).Vízigényes növények sorát lehet felhozni példaként, de a kukorica elsősorban említendő. A virágzási és szemtelítődési állapot alatt a

termesztési kockázat forrása nyáron. Az ekkor lehullott csapadék mennyisége határozza meg az ősszel betakarított termény mennyiségét és az adott év sikerességét (Szász, 2000). Mint minden kritikus tényezőt, úgy ezt is megfelelő talajnedvesség-gazdálkodási művelésmódokkal lehet csökkenteni és a kárt esetlegesen megelőzni.

2.13. A kukorica talajigénye

Korábban írtam és elemeztem több szakértő véleményét az aszály nehéz és komplex fogalmáról. A kukorica termesztésének egy komoly akadálya, mivel a nyári aszály virágzási és magtelítődési fázisban sújtja a kultúrnövényt. Több módon lehet alkalmazkodni, védekezni és legjobb esetben megelőzni ezt a kihívást a természettel.

Napjainkban a forgatásos alapművelést elavultnak tekintik sok talajon, de mindig volt és lesz helye a talajelőkészítésben. A téli csapadékot be kell fogadni a talajnak és eltárolni, illetve a nagy mennyiségű származadványt is kezelni kell valahogy. Legtöbb esetben javasolt, hogy a klímakárokat csökkentő talajművelési technikákat kell alkalmazni és minimalizálni a menetszámot a területen (Birkás et al., 2008). Ebben szerepet játszhatnak a talajba juttatott nedvesség megtartó természetes és mesterséges anyagok, mint például az aprított szár- és tarlómaradványok, illetve a különböző szuperabszorbens polimerek. Továbbá a kukorica igényes a talajra és szükséges az aprómorzsás, vetéskor megfelelő hőmérsékletű és nedvességtartalmú a magágy. Korábbi tanulmány (Rácz ás Nagy, 2011) alátámasztja, hogy a terméshozamot az agrotechnikai műveletek csupán 3%-kal befolyásolják. tápanyagellátás (48%) valamint az öntözés (28%) a két meghatározó tevékenység, amit, mint döntéshozó személy, tehetünk a terméshozam növelése érdekében.

3. Anyag és módszer

3.1. A kísélrlet célja

A Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Szent István Campusán azon belül a Növénytermesztési-tudományi Intézet kutatólaboratóriumban végeztem kísérleti munkám a szakdolgozatomhoz. A vizsgálat három fő fázisból épült fel és szolgáltatott egy komplex képet a felvetett problémáról. Első fázisként a három választott szuperabszorbens polimer nedvességfelszívásának vizsgálatát hajtottuk végre, amelyet klímakamrákkal biztosítva különböző hőmérsékleten napi szintű monitorozással és precizitással lemértünk. Ezt követte a második kísérleti fázis, a pH befolyásolási tényezőjének vizsgálati sorozat foglalt magában. A felszívott nedvesség, ami desztillált víz, pH-jának beállítása révén vizsgáltuk a polimerek abszorpciós tulajdonságait. A tézis utolsó lépcsőfoka, a harmadik vizsgálati fázis pedig kukorica vetőmag csíráztatás volt a három szuperabszorbens polimerben, a korábbiakban választott hőmérsékleteken. Összességében a kísérlet célja a valós szántóföldi vagy termesztőházi körülmények szimulálása volt. Ezek a tényezők és változók főként a talaj alapvető tulajdonságaira fókuszált tűrési kísérlet, hogyan is reagál a polimer. talajba keverés a hosszútávú kísérleti cél a hidrogéleknél.

3.2. A kísérletben felhasznált polimerek

A választott három szuperabszorbens polimert az alábbiak:

DCM Aquaperla

Egy olyan vízmegtartó és tápanyag kondicionáló készítmény, amely kálium-poliakriláton alapul. Kereskedelmi forgalomban arányosan olcsón beszerezhető és talaj fizikai tulajdonságának feljavítására használják. A saját tömegének 5-600 szorosát is képes magába szívni.

EVONIK Stockosorb

Alapvető tulajdonságaiban megegyezik minden másik hidrogéllel. Típusát tekintve granulált, térhálósított keményítő-g-poli(2-propénamid-ko-2-propénsav) -káliumsón alapul, amelyet a Stockhausen GmbH Krefeld gyártott Németországban.

ZEBA Parkmester

Ez a polimer a UPL cég szabadalma, amelynek célkitűzése a fenntartható környeztettudatos mezőgazdaság. A ZEBA is granulált talajfeljavító anyag, gamma-poliglutamáton alapulva

3.3. A kísérletek elrendezései

3.3.1 Első szakasz

Mind a három gyártó hidrogéljéből pontosan 0,01g anyag vízfelszívását elemeztük különböző hőfokon. A kívánt mennyiséget kimértünk analitikai mérleg segítségével és kémcsövekbe helyeztük. A vizsgálat 10 hígítási térfogatot tartalmazott (1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 8 ml, 9 ml és 10 ml). A hígítást laboratóriumi pipetta segítségével végeztük és desztillált vizet adagoltunk a szuperabszorbens polimerekre. Az elkészített és gondosan Parafilm®-mel lezárt kémcsöveket temperáltuk klímakamrákban a 7 hőmérsékleten (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C 40°C 45°C). A megfigyelés pontosságának biztosítása érdekében mindent négy ismétléssel hajtottunk végre. A kész mintákat 1 órán át a klímakamrákban tartottuk és utána vizsgáltuk a felszívás mértékét. Először leszűrtük egy kézi szűrő segítségével a fel nem szívott vizet és leitattuk nedvességfelszívópapíron a megduzzadt polimert. Ezt követően analitikai mérlegen lemértük kémcsővel együtt a minta tömegét. A kísérlet előtt minden kémcsövet számmal láttunk el és rögzítettük egyenként a saját tömegüket, így biztosítva, hogy a méréskor pontos összeget tudjunk kivonni. A mért adatokat szisztematikusan vezettük és később feldolgoztuk. A vizsgálati idő egy napot vett igénybe. Szakirodalmi tanácsokra az abszorpciós görbékhez igazítva hagytuk a klímakamrákban a mintákat. A vizsgálat célja számunkra a hőmérsékleti befolyás mérése és a felszívott víz mennyisége volt. hogy mekkora és milyen mértékben alakítja az abszorpciós folyamatokat. Az eredmények statisztikai elemzése után azonban egyéb pozitív tulajdonságokat figyeltünk meg.

3.3.2 Második szakasz

1. ábra A kísérlethez használt oldat pH beállítása Adwa ad 11 készülékkel, saját fénykép

A kísérlet középső, második fázisában vizsgáltuk a polimerek pH tűrését. A vizsgálatot előkészítéssel kezdtük meg amely az oldatok elkészítéséből állt. Öt különböző pH szintű oldatot készítettünk enyhén savastól az enyhén lúgos állapotig tartott. Szám szerint 5-6-7-8 és 9 pH-jú oldalatok lettek előkészítve desztillált vízből. Az oldat kívánt savasságának elérése érdekében citromsavat, és szódabikarbónát használtunk, amelyet 300ml desztillált vízzel töltött főzőedényben kevertünk el. Az oldat pH értékét Adwa ad 11 digitális kézi mérőeszközzel végeztük, ahogyan az első ábrán látható. Az előkészítés szobahőmérsékleten történt és a felhasznált anyagok sem voltak előhűtve vagy előmelegítve. Az 5 alapoldat elkészítése után bekapcsoltuk a klímakamrákat és beállítottuk a szükséges hőmérsékleteket. A gépeket 5°C-30°C-ig állítottuk 5°C-os különbségekkel. Minden pH értékű oldatból hőmérsékletenként 5 ismétlést végeztünk az adat szórásának minimalizálása érdekében. A szakasz végeztével 210 újabb nyers adat birtokában haladtunk tovább. Ennek a fázisnak a célja a 3 fajta polimer pH tűrésének vizsgálata volt. Ugyanis mint azt szakirodalmi áttekintésemben elemeztem bizonyos határokon belül marad ép a polimerlánc és tartja meg nedvszívó képességét. Valamint képes lehet tompítani egy szélsőségesebb talaj állapotát, így kedvezőbb körülményeket biztosít a vetett növény csírázásához.

3.3.3 Harmadik szakasz

2. ábra Hidrogélre helyezett hat darab kukoricamag, saját fénykép

A kísérlet harmadik, számomra utolsó, szakaszában azt vizsgáltuk, hogy a kukoricavetőmag hogyan csírázik ki a vizsgálatban választott gélekben. Előkészítettük a hidrogéleket és desztillált vizet, valamint pipetta eszközt és egy analitikai mérleget. Mind a száz darab petricsészébe pontosan 0,03g hidrogélt helyzetünk el 6ml desztillált vizet pipettáztunk rá. Megvártuk amíg az abszorpció megtörténik addig is előkészítettem a következő lépéshez szükséges magokat. Felszívás után 6db kukoricavetőmagot helyeztünk csipesz segítségével (második árba) a csészékbe s lezártuk Parafilm®-mel. Minden mintát 5 ismétlésben készítettünk el és helyeztük be a megfelelő klímakamrába. Kontroll mintaként szintén 5 ismétlésben desztillált vízben csíráztattuk a kukoricamagot. Az adatokat Excel táblázatban rögzítettük, majd feldolgoztam. A mintákat 5 különböző hőmérsékleten teszteltük és a petricsészéket klímakamrákban tároltuk a kívánt paraméterek biztosításának érdekébe. A megfigyelést 10 napig végeztük összesen 75 mintán. Minden nap összegyűjtöttük a vizsgálandó tárolóedényeket és a steril kamrában megvizsgáltuk, amelyet minden használat előtt izopropil alkohollal és UV fénnyel sterilizáltuk. A vizsgálat egyszerű vizuális megítélést igényelt és a csírázásnak indult magokat számoltuk. A megindult magokat eltávolítottuk a petricsészéből. Mindezt addig ismételtük míg mind a 6 mag ki nem csírázott mindegyik petricsészében. A megfigyelés célja az volt, hogyan kezeli a polimer a

hőmérséklet okozta stresszt, elősegíti-e a csírázást vagy tompítja? A kérdésre egyértelmű választ mutatott a begyűjtött adathalmaz.

3.4.A vizsgálati helyszín és a használt eszközök bemutatása

Kísérletem laboratóriumi hozzáférését a szakdolgozatomhoz a Növénytermesztési-tudományok Intézete (később NTI) biztosította és a hozzá szükséges eszközöket. Pontos helyszíne az intézet kutatólaboratóriuma volt. A magot és a 3 fajta szuperabszorbens polimert korábbi (phD dolgozathoz) beszerzések során vásárolta a NTI. Laboreszközöket a kísérlet folyamán nap-mint-nap használtam. Példának okán elektromos labor pipetta, analitikai mérleg, szűrőeszközök, parafilm és nedvesség itató lapot. Laboratóriumi felszerelések közül lehetőségem volt pH mérő készüléket használni és egy steril lamináris áramlású fülke is a segítségünkre volt a baktérium mentes környezet biztosításához a vizsgálatokkor.

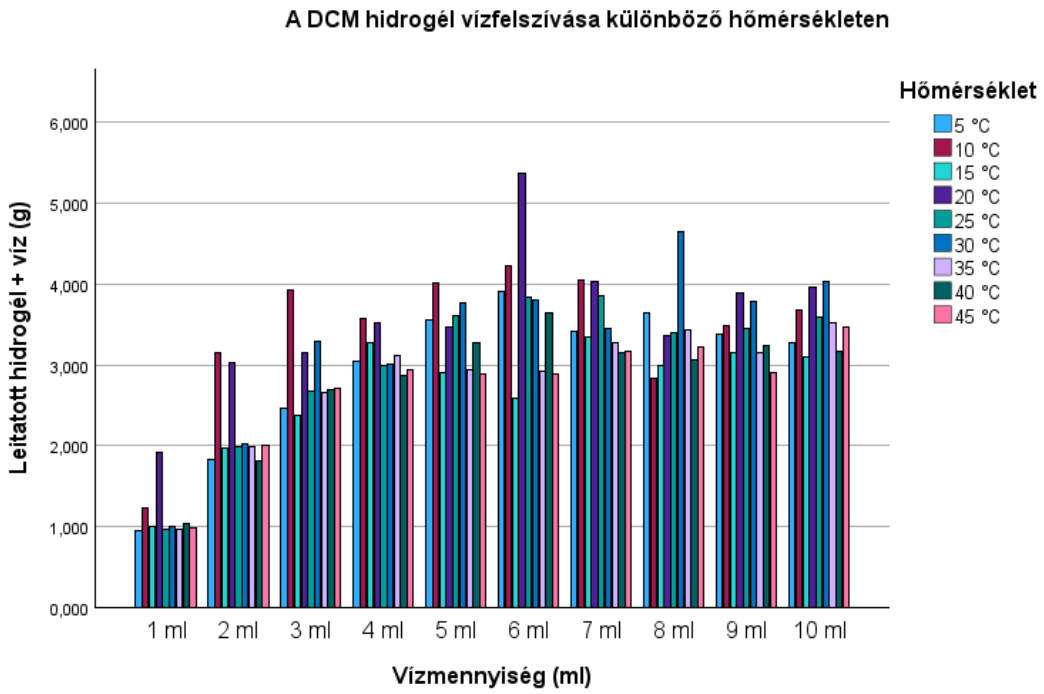
3.5.A statisztikai értékelés módszerei

A kísérlet során felvételezett és lemért adatokat Microsoft Excel 2022 verziójának segítségével rendeztem és egységesítettem a későbbi elemzésekhez. A statisztikai elemzést pedig az IBM SPSS Statistics 29.0.1.0. segítségével végeztem. A vizsgálat során leíró statisztikai elemzést végeztem, valamint elvégeztem az adatok egytényezős variancia-analízisét (ANOVA) a varianciák homogenitását Levene-próbastatisztikával ellenőriztem.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A nedvesség felszívási képességek vizsgálata

4.1.1. A DCM hidrogél abszorpciója

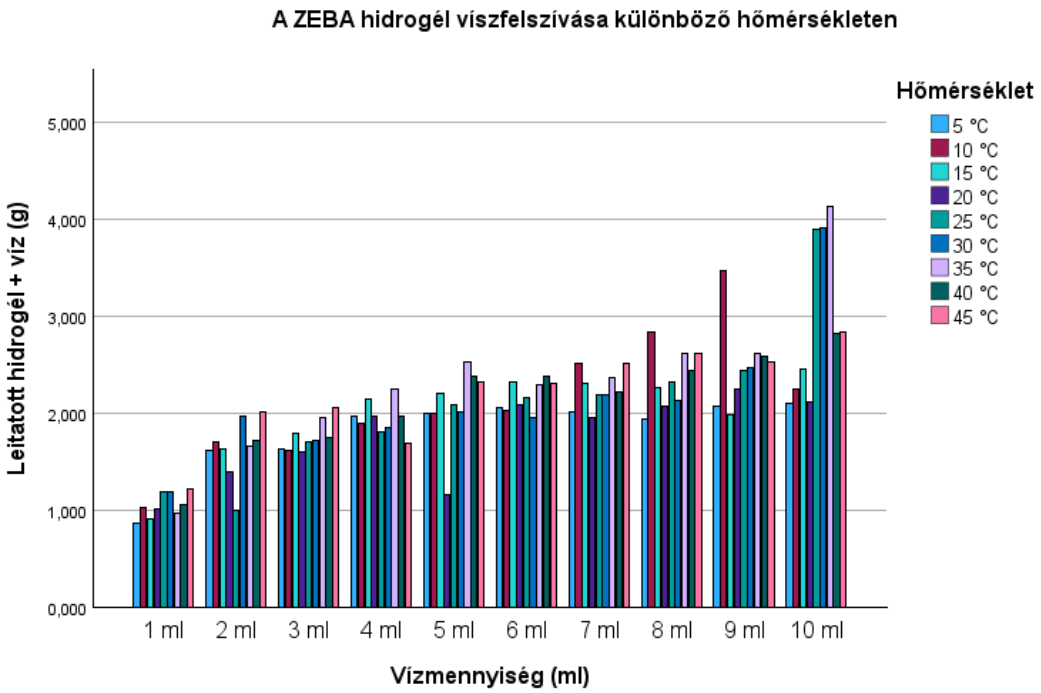


3. ábra A DCM hidrogél nedvességfelszívásának mértéke különböző hőmérsékleten, saját adatok alapján szerkesztve

A kísérlet első fázisából származó adathalmaz feldolgozása után megállapítható, hogy a DCM szuperabszorbens polimer nedvességfelszívását befolyásolja hőmérséklet. A tényezők között egyirányú ANOVA lefuttatása történt a DCM hidrogél nedvességfelszívását hogyan befolyásolja a hőmérséklet. Szignifikáns különbséget mutatott $p<.05$ szinten [$F(8,351) = 4,98$, $p = 0,000$]. Kiugró adat nem befolyásolta ezt a statisztikai paramétert, a legnagyobb eltérést 45- és 35°C között mértem. A harmadik ábrán látható, hogy leitatás után a DCM polimer 10°C-on a 20°C-os mintával kapcsolatban mutatott lényeges különbséget. A többi hőmérséklettel szemben nem tapasztalható ilyen. A harmadik ábráról jól leolvasható az egyenletes felszívási görbe és az előre várt adatokat rajzolta ki egy-két kiugrással. Továbbá az is megfigyelhető az elemzést követően, hogy a hőmérséklet emelkedésével lényegesen nem nőtt az abszorpció. Ez a típusú SAP 15°C-on mutatta a leggyengébb teljesítményt nedvességfelszívás tekintetében. A méréshez 0,01g hidrogélt használtam, tehát ez volt az állandó paraméter. A hozzáadott víz mennyisége jól mutatja, hogy 6 ml és a felett lényegesen nem nagyobb a nedvesség elnyelés tehát arra lehet következteti, a polimer

szemcsék elérték az abszorpciós maximumukat. Az átlagos nedvesség felszívása a polimernek a saját tömegének 300-szorosa volt (3,027g/0,01g=302,7).

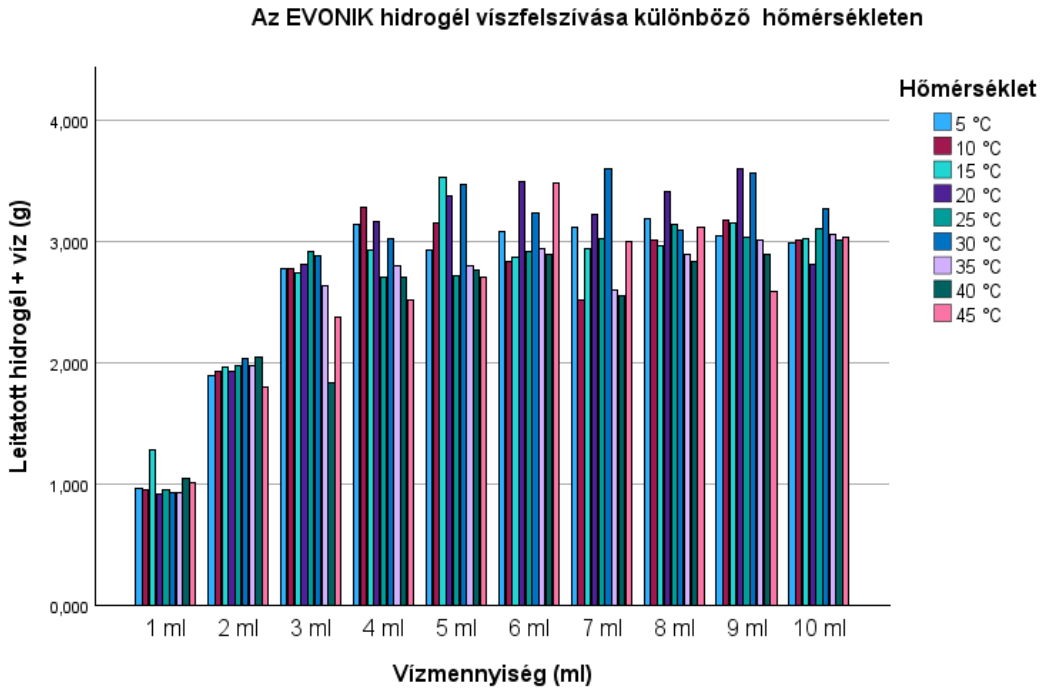
4.1.2. A ZEBA hidrogél abszorpciója



4. ábra A ZEBA hidrogél nedvességfelszívásának mértéke különböző hőmérséklete, saját adatok alapján szerkesztve

A negyedik ábrán látható a ZEBA hidrogél nedvességfelszívási oszlopdiagrammja. A grafikonról jól leolvasható, hogy folyamatos lassú emelkedést volt mérhető az abszorpcióban. Ezt az információt az analízisek is alátámasztották. Szélső értékeken kiemelkedő adatokat produkált a minta anyag. 1 ml hozzáadott desztillált víz esetén 5-15-35°C-on csekélyebb volt a duzzadás mértéke míg 10 ml víz hozzáadásánál kiemelkedően magas, a polimer saját tömegének 400-szorosát volt képes magába szívni (4,00 g/0,01g=400). Megfigyelhető továbbá az a jelenség is, ami 7-8-9- és 10 ml-es mintáknál a 25-35°C-os hőmérsékleti tartományban duzzasztott polimerek kiugróan sok nedvességet szívtak fel. Továbbá figyelmet érdemel a leitatott hidrogél tömege 20°C-on minden más lemért tömegnél kevesebb, így arra a következtetésre jutottam ezen a hőmérsékleten a legkevésbé hatékony a polimer. Legmagasabb felszívási értéket 10 ml desztilláltvíz hozzáadásával értem el 35°C-on. Érdemes figyelni a 10°C-os mintákat 8-9- és 10 ml-es hígításnál. Amíg 8 és 9 ml hozzáadott desztilláltvíznél kimagaslóan nagy volt az abszorpció mértéke addig 10 ml-nél drasztikusan visszaesett ezen a hőmérsékleten. Átlag±szórás tekintetében a legmagasabb értéket 10°C-on mértem, ami számszerint 1,4±0,93 volt. Átlagosan a ZEBA hidrogélnél mért értékek 3,03±0,95-ös átlag±szórás-ot produkált.

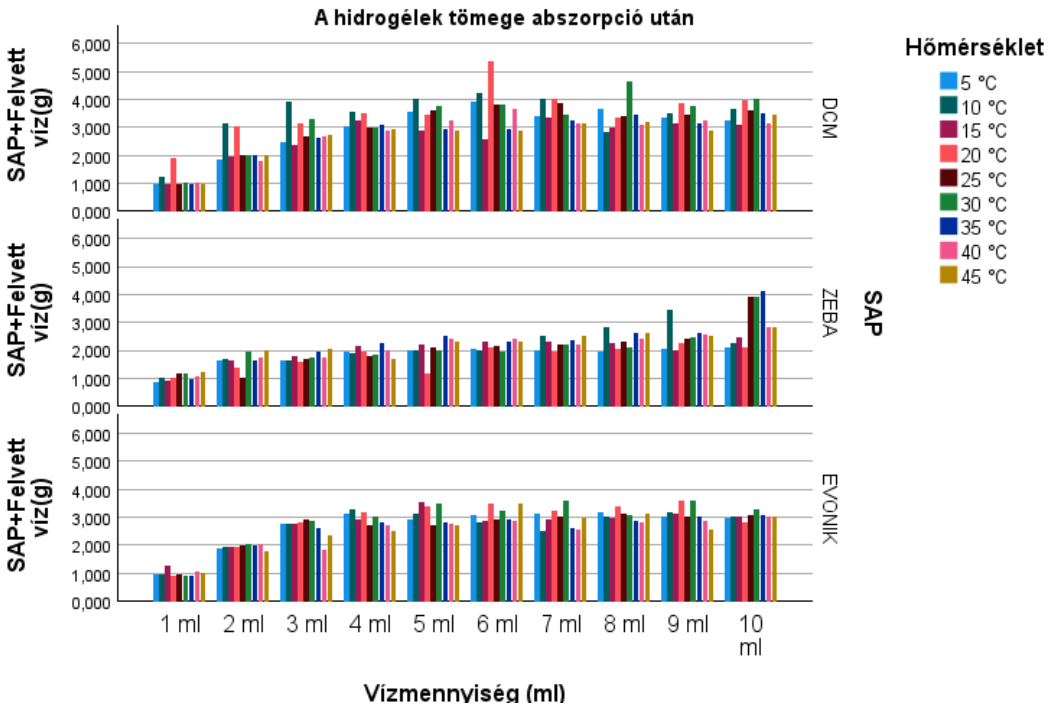
4.1.3. Az EVONIK hidrogél abszorpciója



5. ábra Az EVONIK hidrogél nedvességfelszívásának mértéke különböző hőmérsékleteken, saját adatokból szerkesztve

Elemzésemmel tovább haladva az ötödik ábrát tekintve az EVONIK produktumára került sor. Adott hőmérsékleteken felduzzasztott, majd leitatott hidrogél minták súlyát is megvizsgáltam és az adatok Statisztikai elemzése során a következő megállapításokra jutottam. A polimer 1 és 2 ml hozzáadott víz esetén nem mutatott kiemelkedő különbséget, azonban 3 ml-től 10 ml-ig minimális szórással azonos hőmérsékleten a felszívott nedvesség súlya azonos. Ebben a tartományra fókuszálva elemzésem azt is megfigyeltem, hogy a hőmérséklet emelésével a SAP veszít a duzzadási képességeiből. Az 5 ml-el felnedvesített minta 15°C-on a többi mintához képest 0,5 g-mal több vizet szívott magába. 20°C-on pedig 4- és 10 ml közötti tartományban konstans jó eredményeket mutatott, még ha nem is minden esetben a legnagyobb felszívást mértem. Az oszlopdiagramm a szakirodalom által prediktált képet mutatja, azonban nem a legtöbb desztillált vizet az EVONIK által gyártott szuperabszorbens polimer szívta magába. Átlag±szórás tekintetében az adathalmaz számszerűsítve 2,7±0,76-ot mutatott, ami 0,2-vel kevesebb a másik két hidrogélnél (DCM, ZEBA). Átlagos nedvesség felszívása is leírható számadattal, mégpedig 2,68 g desztilláltvizet szívott magába 0,01 g ZEBA hidrogél. Saját tömegéhez képes ez 270-szeres abszorpciót jelent.

4.1.4. A három választott hidrogél nedvességfelszívásának összehasonlítása, különböző hőmérsékleten vizsgálva



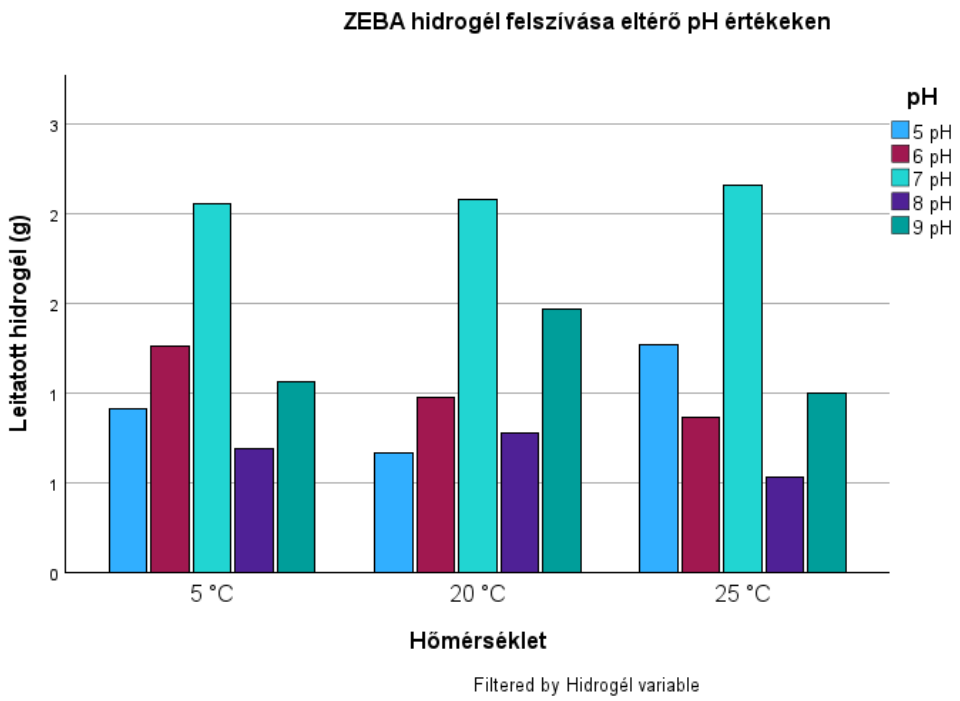
6. ábra A három felhasznált hidrogél nedvesség felszívásának összehasonlító elemzése, különböző hőmérsékleteken vizsgálva, saját adatok alapján szerkeztve

Az első kísérleti fázis mérési adatainak összehasonlításáról is készítettem az SPSS statisztikai szoftver segítségével egy összehasonlító oszlopdiagrammot, ez látható a hatodik ábraként. Kimutatja a három választott hidrogél közötti apró és igen szembetűnő különbségeket. Az elemzését ennek az ábrának a hígítási sor elején kezdeném, ahol egyformán teljesít egy kiugrással a DCM-nél 10°C-on. A DCM és EVONIK polimere a 3. hígítási fázisnál mutat drasztikusabb abszorpciós tulajdonságokat, míg a ZEBA gyártmánya kisebb de feljegyezhető emelkedéssel követi. A ZEBA is kirajzolt egy említésre méltó adatot, mégpedig 10 ml-es vízadagnál 25-30-és 35°C-nál a felszívott nedvesség és a hidrogél összeadott tömege a többi hőfokhoz képest meghaladta az 1 g-os különbséget is. Ilyen felszívási adat megfigyelhető továbbá a DCM 6 ml-es és 8 ml-es mintáknál is. Kivételt képez az EVONIK minták, ahol ilyen mértékű kontraszt nem volt megfigyelhető. Átlag±szórását tekintve, egymáshoz viszonyítva a választott kísérleti anyagokat, a DCM 3,03±0,96, a ZEBA 2,08±0,95 és az EVONIK 2,7±0,76 értéket mutatott. Itt is jól kimutatja az oszlopdiagrammon vizuálisan levonható következtetéskét. A lemért leitatott duzzadt hidrogélek maximum és minimum tömege is kiolvasható a statisztikai elemzés táblázataiból. Ezen gyors és hatékony vizsgálat a ZEBA SAP-ra fókuszálódott, ugyanis a maximum és minimum értéket is itt mértem.

A legnagyobb mért tömeg 8,968 gramm volt, ezzel szemben a legcsekélyebb 0,135 gramm.

4.2.A hidrogélek pH érzékenységének vizsgálata

4.2.1. A ZEBA hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken



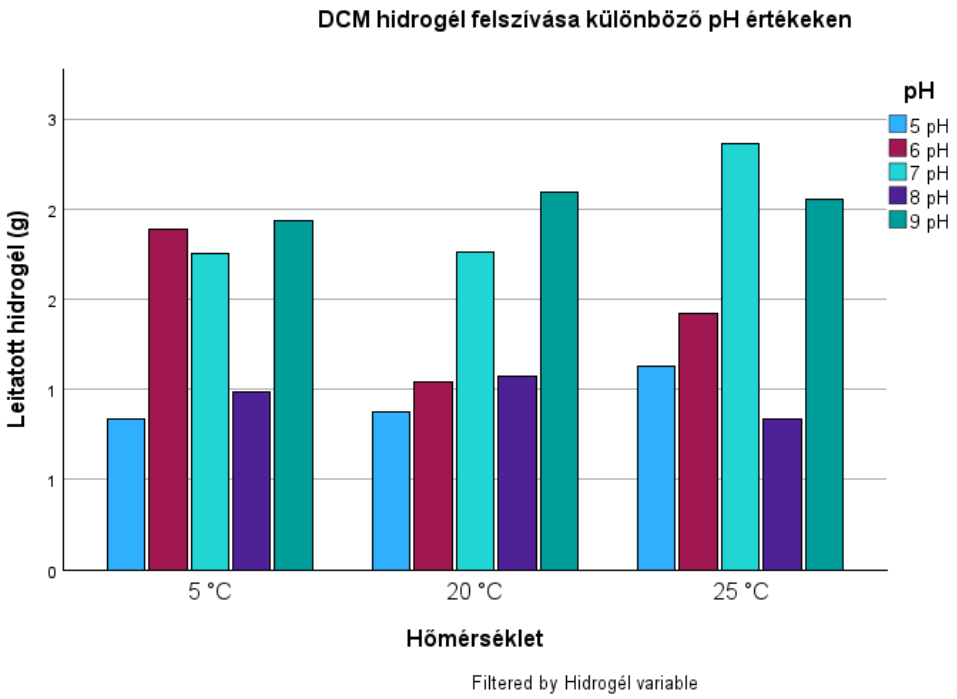
7. ábra ZEBA hidrogél nedvességfelszívása leitatás után grammban mérve, saját adatok alapján készítve.

A kísérlet pH tűrés vizsgálati fázis adatainak feldolgozásához kanyarodva folytatnám elemzésem. ANOVA analízis lefuttatásával indult ez az elemzés is és kiolvasható volt a szignifikancia az adatok között p<.05 szinten, a vizsgált adatok egymáshoz viszonyítva [F(4,55) = 31,73, p = <,001] képet mutatták. Természetesen ezt Tukey HSD teszt követte a különbségek pontos helyének meghatározásának érdekében. Ez a Post Hoc vizsgálat megmutatta, hogy 5-ös pH-nál (MD=0.95, SD=0,554) szignifikáns a különbség a hetes pH-val szemben (MD=2.10, SD=0.35). A hatos pH (MD=1,04, SD=0.23) és a hetes pH (MD=2.10, SD=0.35) között is szignifikancia mérhető. A hetes pH (MD=2.10, SD=0.35) a nyolcas (MD=0.66, SD=0.116) és kilences (MD=1.25, SD=0.30) pH-nál volt szignifikáns a különbség.

A hetedik ábrán látható, hogy a három választott hőmérsékleten mennyi gramm volt a leitatás utáni tömege a ZEBA hidrogélnek. Kiemelkedő eredményt a semleges hetes pH értéknél mutatott a SAP. Ez a jelenség irodalmi cikkek alátámasztását élvezik, ugyanis itt nem kezdenek fel bomlani a polimerláncok. A hidrogél nyolcas pH értéken mindhárom hőmérsékleten gyenge felszívási teljesítményt mutatott, a hőmérséklet tovább rontotta ezt a nedvesség felszívást. Ebből kifolyólag következtetéseim arra mutattak a lúgos oldatok rontják az abszorpciós tulajdonságát a ZEBA

hirdogélnek ám a kilences pH érték ezt megcáfolta. Csekély alig egy grammos felszívási leitatott súllyal. Két tendenciát is megfigyeltem az oszlopdiagrammon (hetedik ábra), Egy csökkenő és egy növekvő is leolvasható. Semleges pH érték mellett a hőmérséklet emelésével növekedett az abszorpció mértéke is, mivel ez a kontroll mintának felel meg. A csökkenő tendenciát hatos, enyhén savas pH-jú oldatoknál figyeltem meg, ahol a hőfok emelkedésével csökkent az oldat felszívása.

4.2.2. A DCM hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken



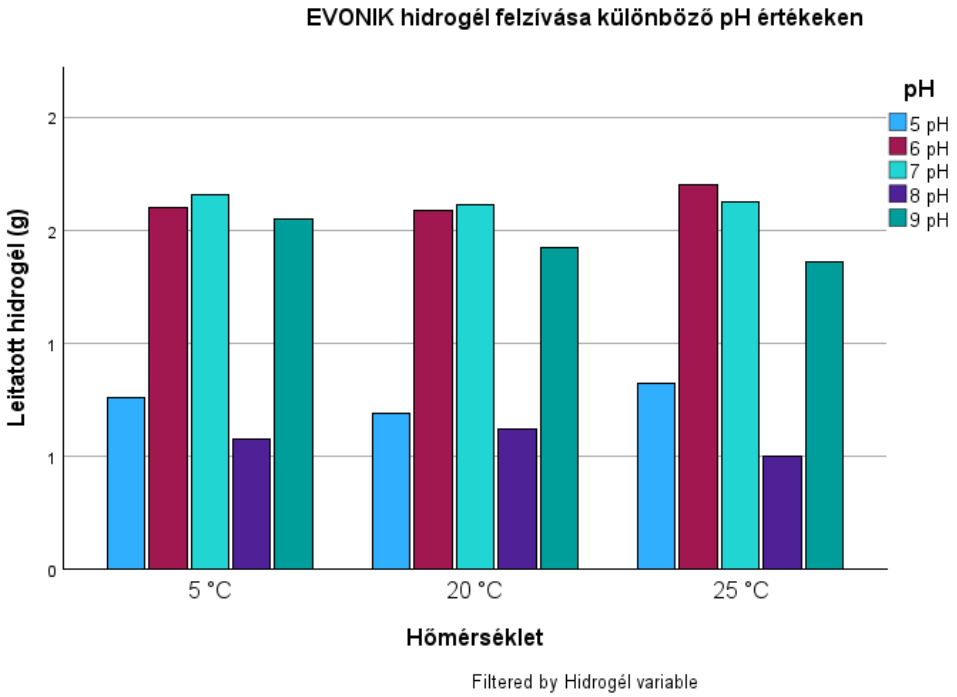
8. ábra DCM hidrogél nedvességfelszívása leitatás után grammban mérve, saját adatok alapján készítve

Folytatóan az adatok feldolgozását és értékelését a DCM hidrogél következett. ANOVA lefuttatása után megállapítható a szignifikancia a felszívás és a pH mértéke között ($p <,05$), [$F(4,55) = 13,713$, $p = <,001$]. A Tukey HSD rámutatott a szignifikáns eltérések helyére is. Ezek a pontos adatok A szignifikáns eltérésre ötös pH-nál (MD=0,95 SD=0,25) és a hetes (MD=1,96, SD=0,84) és kilences (MD=2,03, SD=0,45) pH között volt. Hatos pH-t vizsgálva szignifikancia mérhető a kilences (MD=2,03, SD=0,45) pH-val szemben. A nyolcas (MD=0,96, SD=0,18) pH a hetes (MD=1,96, SD=0,84) pH-val szemben mutatja ezt. Az összehasonlítások kölcsönös kapcsolatban vannak, így oda vissza értelmezhetőek.

Elemzésem oszlopdiagrammban jelenítettem meg amelyet a nyolcadikábra mutat be. Elsőként a nyolcas pH értéken való felszívásra térnék ki. Semleges pH, mint kontroll minta szerepelt a kísérletben és a korábban mért adatokhoz hasonlítva (nyolcadik ábra) azonos tendenciát mutat.

Hőmérsékleti tényező nem hatott nagy mértékben a minimális abszorpcióra, amely történt. A DCM polimer a savas (5 pH) oldatban hasonlóan csekély felszívást produkált. Kiemelkedő adat az 5°C-on történt mérés az enyhén savas, hatos pH mért leitatás utáni súly. Lúgos pH-val (9) rendelkező desztillált vizes oldat magas felszívási súlyt mértem, azonban a semleges oldatok voltak a legkonzisztensebbek.

4.2.3. Az EVONIK hidrogél nedvesség felszívása eltérő pH értékeken



9. ábra EVONIK hidrogél nedvességfelszívása leitatás után grammban mérve, saját adatok alapján készítve

A pH tűrési vizsgálat sorozatban utoljára maradt EVONIK hidrogél vizsgálatának eredményét a kilencedik ábrán láthatjuk. ANOVA varianciaanalízis segítségével megbizonyosodtam róla, hogy szignifikáns [F(4,55) = 63,53, p = <,001] az adatsor a mért összehasonlítási szempontok alapján. Post Hoc teszt elvégzése után a Tukey HSD próba megmutatta az adatok közötti pontos szignifikáns eltéréseket. Ezek pedig ötös (MD=0,76, SD=0,73) pH-nál hatos (MD=1,63, SD=0,35) -hetes (MD=1,63, SD=0,13) és kilences (MD=1,44, SD=0,3) pH-val szemben mutatta ezt. Hatos (MD=1,63, SD=0,35) pH ra fókuszálva ujabb szignifikancia állapítható mega hetes-(MD=1,63, SD=0,13) és a nyolcassal (MD=0,5, SD=0,12) pH val szemben. A hetes -(MD=1,63, SD=0,13) pH kizárólag a nyolcas (MD=0,5, SD=0,12) pH-val összehasonlítva mutat szignifikáns eltérést. A nyolcas (MD=0,5, SD=0,12) pH pedig a kilences (MD=1,44, SD=0,3) pH-val szemben szignifikáns. Az adatok oda vissza tekintve értendőek.

Az EVONIK polimer vizsgálata során a kontroll semleges mintát minimális eltéréssel követte az enyhén lúgos pH val kevert polimer. Arra következtethető ez, hogy itt még nem befolyásolja a

láncok integritását az oldat jellege. Enyhén lúgos (8 pH) drasztikus visszaesés volt kimérhető. Ebben az esetben a polimer elvesztette nedvesség felszívó képességének nagy hányada és elkezdett szétbomlani. Ehhez hasonlítva a lúgos, kilences pH mérési adatait egy meglepő összehasonlítást kapunk. Valamely oknál fogva, amelyet a kísérletem nem tartalmaz, a savas oldatban való felszívás jónak értékelhető.

4.2.4. A Hirdogélek pH tűrésének vizsgálata, összehasonlító elemzés

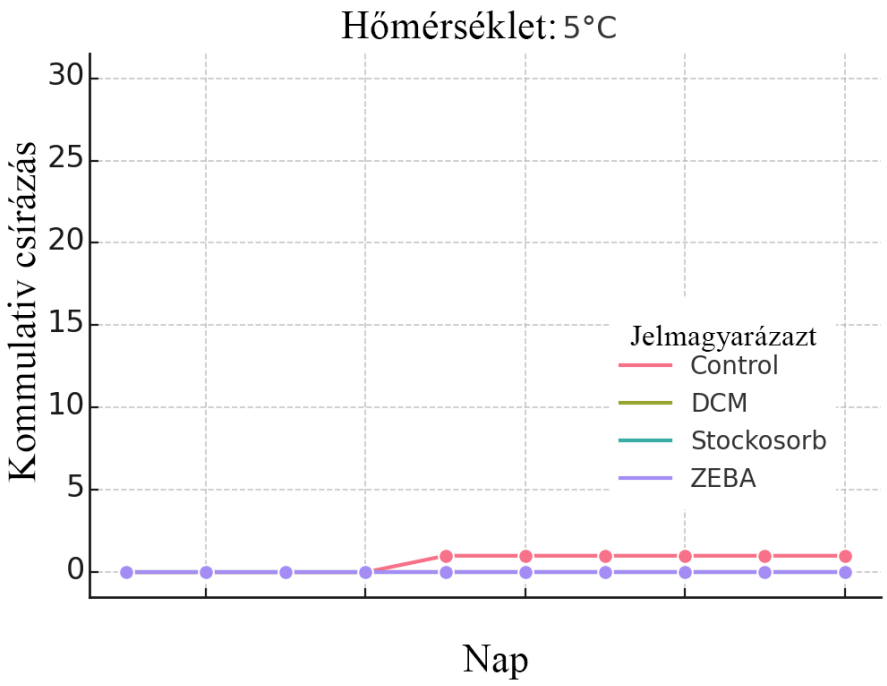
Összességében a pH értékkel való mérés célja egy olyan összehasonlítás, amellyel a talaj tulajdonságait szimuláljuk.

Mindhárom hidrogélnél a befolyásoló tényező volt az oldat kémiai jellege. Általánosan a lúgos állapot fele haladva romlott az abszorpció. A savas értékek pedig változó eredményeket mutattak ki. Mindez azért érdekes számomra, ha talajban történő vizsgálatra jut ez a technológia legyen egy kiinduló alap adat. A talajok szinte semmilyen esetben sem semlegesek és ez láthatóan komoly számításba vehető tényező a polimerek alkalmazásának kérdésénél.

Egy savasabb talajba az EVONIK hidrogél alkalmasabb és fog talajnedvesség emelkedést mutatni. Lúgosabb közegű talajokba a DCM polimerje mutatott nagyobb tűréshatárt, ám a nyolcas pH-val rendelkező oldat minden esetben a gyenge teljesítő volt. Hőmérséklet tekintetében minhárom esetben jól kiolvasható volt a hőfok emelkedésével nőtt az abszorpció is.

4.3. A kukorica vetőmag csíráztatása a három alkalmazott hidrogélen, összehasonlító elemzése

4.3.1. AKukorica vetőmag csíráztatása 5°C-on hidrogélen

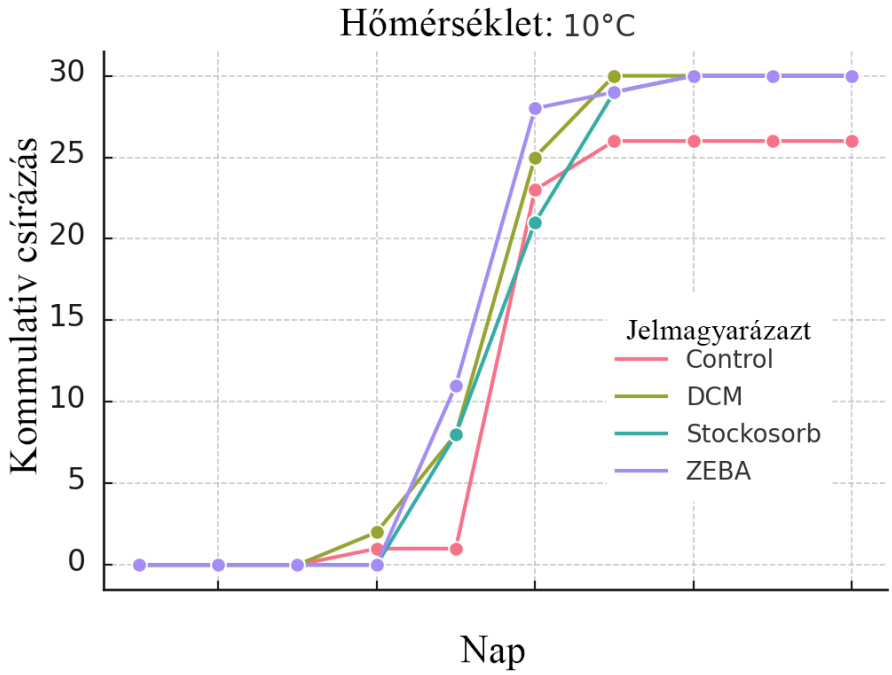


10. ábra Kommulativ csíráztatás 5°C-on a három választott hidroglé összesítésében

A kísérlet utolsó fázisának adataihoz érkezve vizsgálni kezdtem a csíráztatási adatokat. Ennek a vizsgálati fázisnak, amelyet a laboratóriumban végezünk, a célja a hidrogélen való csíráztatás potenciálját kívántuk megmérni. A megfigyelést több hőmérsékleten végeztük, de először 5°C-os minták eredményeire térné ki. A vizuális megjelenését a tizedik ábrán lehet megfigyelni, vagyis a hiányát. Minden hőfokon volt egy kontroll minta, amely csupán desztillált vizet és a 6 db kukoricamagot tartalmazta. Rózsaszín és Lila vonalakat látva ezen a hőmérsékleti értéken a vizsgálati idő alatt kizárólag a ZEBA hidrogélen kezdte meg csírázási folyamatát a növény. Ebben az esetben is a 6 elhelyezett vetőmagból 1 db-nál indult meg a folyamat. DCM és EVONIK (jelmagyarázatban Stockosorb, későbbiekben EVONIK) nem volt képes megfelelő klimatikus viszonyokat biztosítani a magoknak.

A kukorica csírázásához szükséges körülményeket tanulmányozva ezt az eredmény nem volt újdonság. Ennek ellenére képes volt 1 db csírakezdemény életútjának megindítására, ami azt mutatja, hogy hidegtűrő fajtákkal ZEBA hidrogélen érdemes lehet megvizsgálni. Korai vetés esetén, ha szuper korai fajtát alkalmazunk és áprilisban elvetjük. Ilyen eseteben fordulhat elő, hogy a talaj hőmérsékleten 5°C körül van.

4.3.2. A kukorica vetőmag csíráztatása 10°C-on hidrogélen

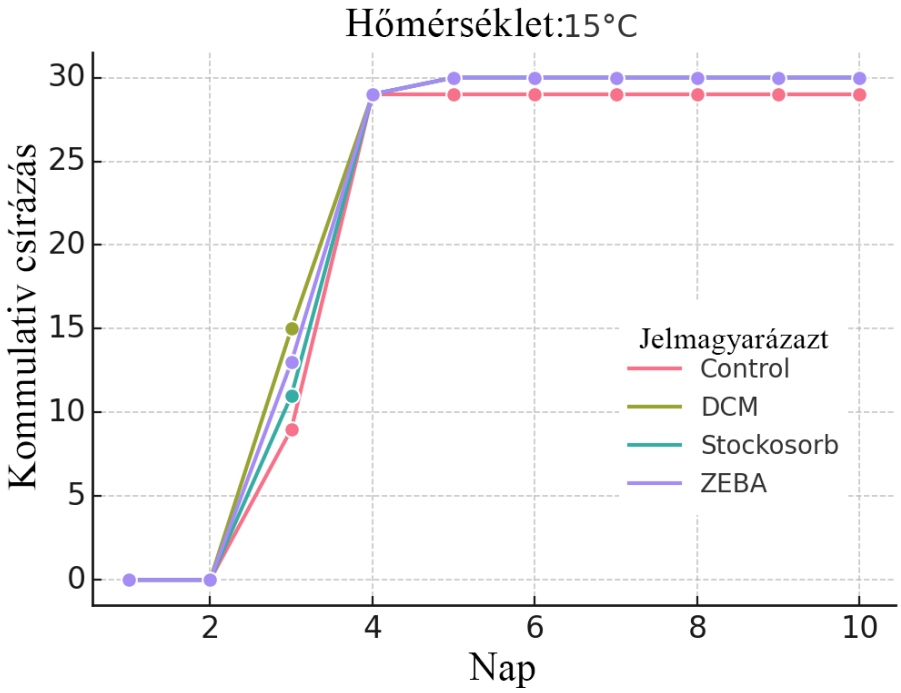


11. ábra Kommulativ csírázása a 10°C-on csíráztatott kukoricamagoknak, saját adatok alapján szerkesztve

A vizsgálat következő eredményhalmazát 10°C-os hőmérsékleten csíráztatva keletkezett. A kapott adatok szórásának minimalizálása érdekében öt ismétlésben volt minden paraméteren. Az egyesített pontdiagrammról, amely a tizenegyedik ábra, kiolvasható, hogy a kontroll minta teljesített a legeredménytelenebbül. A desztillált víz nem nyújtott semmi védelmet a klimatikus viszonyokkal szemben így lassan érte el a mag a megfelelő hőösszeget a csírázás megkezdéséhez.

Többféle módon, 1-2 nap eltéréssel, de a három alkalmazott hidrogél a 4. napon a magok csírázni kezdtek. Ezt egy intenzív hirtelen folyamatként követte a mind a harminc db mag és 8. nappal le is zárult a vizsgálat. Jól megfigyelhető a lassú indulás utáni, hirtelen változás, amely a kontroll mintához képest tompított volt hőmérsékleti szempontból. A hidrogélek a szélsőséges értékeket csökkentették. Egy korai, vagy május eleji vetésnél 10°C-os talaj előfordulhat, így itt óriási előnyt jelenthet egy ilyen technológia.

4.3.3. A kukorica vetőmag csíráztatása 15°C-on hidrogélen

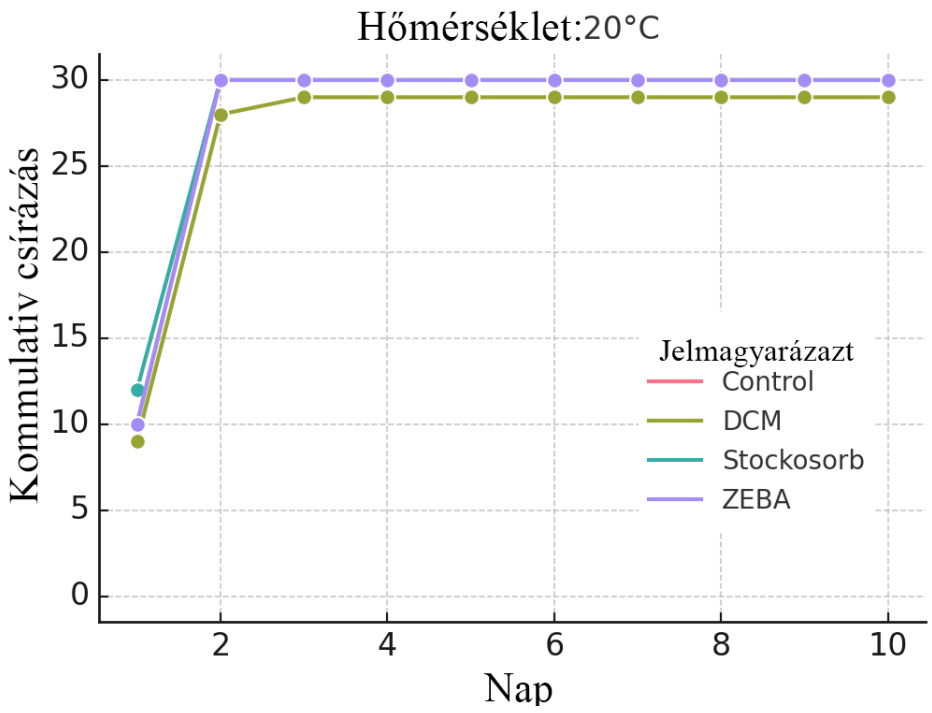


12. ábra Kommulativ csírázása a 15°C-on csíráztatott kukoricamagoknak, saját adatok alapján szerkesztve

A megfigyelés harmadik hőmérsékleti tartományát elemezvén megfigyeltem, hogy a kukoricamag 15°C-on volt az optimális szántóföldi csírázási hőmérsékletéhez. Ezt az állításom a tizenkettedik ábra kontroll ábrázolása támasztja alá. Csekély, szinte minimális az eltérés a hidrogélen csíráztatott és a desztillált vízre helyezett magok adatai. Továbbá az is következtethető, hogy a második naptól a negyedikig volt az intenzív fázis. Ezen két napon egyenletesen, 50%-50% volt a napi kicsiírázott magvak. Ezen a hőfokon nem volt képes a hidrogélen való csíráztatás bármiféle pozitív, innovatív eredményt mutatni.

A három hidrogél nedvességleadására lehet következtetni a harmadik napon történt események alapján. A hetedik ábrán jól leolvasható, hogy a harmadik napon a DCM hidrogélre helyezett magok csíráztak a legnagyobb számban. Kettesével csökkenő sorrendben a ZEBA, EVONIK, és a kontroll minták. Hamarabb volt a DCM képes a csírakezdeménynek a nedvességi viszonyokat biztosítani, de a 4. napra a többi minta is utolérte.

4.3.4. A kukorica vetőmag csíráztatása 20°C-on hidrogélen

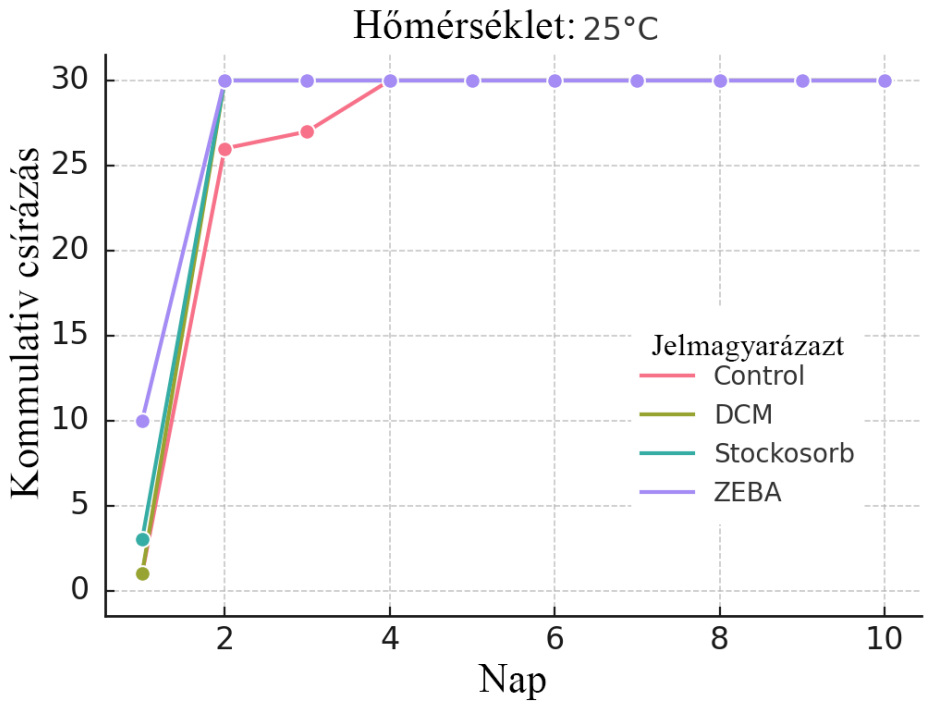


13. ábra Kommulativ csírázása a 20°C-on csíráztatott kukoricamagoknak, saját adatok alapján szerkesztve

A csírázási folyamatok 20°C-on történő vizsgálata alatt mért adatokból a fent látható tizenharmadik ábra ad vizuális képet. A leíró statisztikai elemzést követően megállapítható egy kölcsönös összhang az imitált talajhőmérsékleten. A csírázási adatokat alaposan megvizsgálva a 20°C-os vízhőmérséklet nevezhető optimálisnak. Az első napon jelentős számú mag csírázott ki és a kontroll minta, mivel takarva van, teljesen azonosul a hidrogélekhez. A DCM hidrogél csökkentette itt is a hőmérséklet okozta terhelését kis mértékben. Itt is megállapítható továbbá, hogy a hidrogélen való csíráztatás nem ad előnyt a magnak, de semmiféle hátrányt sem. Érdekesség, hogy a teljes mérés egy nap alatt lezárásra került.

Bár maga az adat fontosságának elhelyezése nehéz a gyakorlat szempontjából, mivel kukorica vetésének idejében ritka a 20°C-os talajhőmérséklet. Viszont olyan módú alkalmazása mint, például nedvességmegtartó közeg a növekedési időszak alatt, pozitívumokat hozhat magával.

4.3.4. A kukorica vetőmag csíráztatása 25°C-on hidrogélen



14. ábra Kommulativ csírázása a 25°C-on csíráztatott kukoricamagoknak, saját adatok alapján szerkesztve

Az utolsó vizsgálati hőmérséklet grafikonjához érkezve, amelyet a tizennegyedik ábrán mutat be, leolvasható a 25°C fokon történt csírázási folyamatok adatai.

A vizsgálat mindössze egy napot vett igénybe ezen a klíma viszonyon is. Ennek ellenére, hogy a napok tekintetében azonos a 20°C-al darabszámba informatív különbségek figyelhetőek meg. Első napon A ZEBA hidrogél volt a legeredményesebb csírázással rendelkező alany, míg társai és a kontroll visszamaradt. Ennek oka A túlzott hőmérsékleti teher, amelyben a magnak több nedvességre van szüksége, hogy csírázásnak induljon. Egy tendencia kialakulása figyelhető meg, ami az enyhe alacsony és itt esetünkben az enyhén magas hőfok okozta terhelést tompítja A lassú indulás ellenére is egyetlen nap alatt csírázott ki huszonnyolc- harminc darab mag. Összehasonlítva a 8- ábrával ez a megfigyelés sokkal szembetűnőbb.

5. Következtetések és javaslatok

A kapott és eredményeket áttekintve a leginkább szembetűnő adat a hőmérséklet okozta behatás csökkentése volt. Egy olyan tompító hatást mutatott, amely a csírázási feltételeket hamarabb megteremtette a magoknak. Ezzel a folyamatosan melegedő talajhőmérséklethez való akklimatizálódást segítheti elő a növénytermesztésben.

Nedvességfelszívási területen vizsgálódva megállapítható a hidrogélek közötti meghatározó különbségek. Ezen kialakult eltérés várható volt a szakirodalmi előrejelzések alapján. Az emelkedő felszívási tendencia is kirajzolódott az oszlopdiagrammokon, amelyek az adatokról készültek. Személyes véleményem alapján a jövőben a kísérletet előre meghatározott növénykultúra specifikus tápanyagkeverékekkel is végre kell hajtani. A most meghatározott optimumok és eredmények alapján.

Minden kísérleti fázisnál a hőmérsékleti tényező mutatta a legmeghatározóbb szerepet az abszorpciós tulajdonságok tekintetében. Mivel a kísérlet a gyakorlatba való iktatást elősegítését szolgája a megválasztott hőfokfok a környezetben kialakulható talajhőmérsékleteket imitálta. Egyértelmű, hogy extrém eseteket is a számításba vettünk. Ezeknél az szélsőséges elemeknél volt megfigyelhető a legkedvezőbb hatása a hidrogéleknek.

Az oldat kémiai tulajdonsága (pH) szempontjából is meghatározó adatot mértünk és elemeztem ki. Az előzetes szakmai tanulmányok jelezték, hogy nem ideális bizonyos esetekben a lúgos és savas környezet a hidrogélek számára, ám ezzel ellentétes eredményeket is kaptunk mint Qiu & Park, (2001) publikált tanulmány kísérleti adatai. A kiugróan alacsony értékek megmutatták milyen talajon nem érdemes hidrogéllel javítani a talaj vízháztartását. Ezzel párhuzamosan egy képet kaptunk a lehetséges talajtípusokra, ahol alkalmazható a polimer. Ilyen talajok az enyhén savas esetekben növénytermesztésre alkalmatlanabb talajtípusok mint például a savanyúbb barna erdőtalajok. Alkalmazható vékonyabb termőréteggel rendelkező termőterületeken és nedvességben túltelített, lápos környezetben is érdemes lehet megvizsgálni a hatását. Személyes véleményem szerint a kísérlet tovább ismételhető több pH értéken, nagyobb pontosságú műszerek segítségével.

A vetőmagok csíráztatásánál, mint említettem a kísérlet meghatározó eredményét kaptam. Megállapításom olyan adatokra mutatott rá, amelyet irodalmi kutatásom során nem véltem felkutatni még. A vizsgálati sorozat során a hőmérsékleti tényezők tompítása oly mértékben volt kimutatható, hogy alacsony hőfokon hamarabb kezdődött meg a csírázási folyamat. Magasabb hőmérséklet mellet pedig a hősokk okozta egyenetlen csírázást egységesítette a hidrogél. A megfigyelés során a három hidrogél enyhén eltérő adatokat mutatott és megállapítható volt mely

területem melyik gyártó produktuma az alkalmasabb választás. Javaslom a kísérlet több növényre való kiterjesztését és egy növényfajon belül több fajta megvizsgálását azonos körülmények között. Alkalmazhatósági szempontból javasolnám a hidrogélek ilyen módú alkalmazását mediterrán területeken, ahol gyakori az extrém magas hőmérséklet. Ezzel szemben hűvösebb tundra és sztyeppe vidékeken is kiváló enyhítő közegként javasolhatom.

A statisztikai elemzések során megállapított szignifikancia adatok alapján a választott kísérleti paraméterekkel elégedett vagyok és lefedte a vizsgálat teljes célját. Egy innovatív és jövőbe mutató technológiába nyertem betekintést. Költségességének ellenére lehetséges opciónak gondolom a hidrogélek alkalmazását növénytermesztésben. Emellett a mesterséges talajokon való kísérlet is komoly potenciális felhasználási terület lehet. Ilyen talajok lehetnek mars és hold felszínének mesterséges rekonstrukciója és ezen való vizsgálata.

6. Összefoglalás:

A folyamatosan melegedő környezet és aszálykárok okozta termény károsodás komoly problémája a modern mezőgazdaságnak. Öntözés és megfelelő talajművelés mellett más innovatív technológiáka kutatása az agrárium jövője. Ebbe a képbe illik bele a szuperabszorbens polimerek alkalmazhatósága a növénytermesztésben.

A kísérlet módszerei és választott paraméterei a környezetben való alkalmazhatóság céljával történt. A polimerek kiválasztása elérhetőségük szempontjából történt. A vizsgálat meghatározott körülményeit pontosan követve mértem és vizsgáltam a hidrogélek tulajdonságait a három kísérleti fázisban. Eredményeim gyűjtése és pontos dokumentálás után statisztikai elemzést végeztem és kiértékeltem az adathalmazt.

A kísérlet során választott hidrogélek olyan megoldást nyújthatnak a talajnedvesség megtartásában és ennek fokozatos leadásban, amely kulcs szerepet játszhat a sikeresen terményben. A három polimer a DCM, ZEBA és EVONIK gyártmányú anyag nagy bekerülési költség ellenére bíztató és meghatározó eredménykét mutatott a nedvességfelszívási kísérletben. Az önálló tömegének háromszázszoros nedvességfelszívás és a magoknak biztosított stabil környezet biztosítja. A mérések alapján a változó környezeti tényezőknek megfelelően választhatjuk ki a legalkalmasabb hidrogélt.

A vizsgálat kitért továbbá a felszívott nedvesség (víz) kémiai tulajdonságának és az abszorpció közötti kapcsolatra. Megállapítottuk, hogy a polimerek érzékenységet mutatnak bizonyos értékeknél, de tűréshatárral rendelkeznek és bizonyos talajtípusoknál egyes hidrogélek képesek a kontroll mintához hasonló eredményt mutatni.

Csíráztatási mutatók kedvezően alakultak a hidrogélek jelenlétében. Mint azt leírtam ez volt a kísérlet legmeghatározóbb eredménye. Olyan környezeti tényező tompítására alkalmas a hidrogélek ezen fajtái, amely a melegedő és sáradó talajokban hosszútávú megoldást nyújthat.

Összességében a kísérletet sikeresnek értékelem és a kapott adatokkal való további kísérleti fázisok és folyamatok meghatározására törekszem. Olyan témában volt lehetőségem betekinteni, ami innovatív és Magyarországon szinte egyedülálló. A vizsgálatokat csapatmunka és precizitás kísérte, az adatfeldolgozás pedig új kihívások elé állított.

A kísérlet további megismétlését más tulajdonságok mellett, újabb környezeti tényezők és különböző növényfajok bevonása mellett vélhetően eredményes adatokat mutatna. Lehetőségeim szerint ezeket szeretném egy részben jómagam végezni.

A jövőben ez a technológia nem csak a világ több ipar ágazatában fog területet szerezni, hanem a mezőgazdaságban is komoly áttöréskét fog biztosítani a folyamatosan növekedő népesség és egyre csökkenő termőterületek hatására.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni

konzulensemnek,

Dr. Kende Zoltán egyetemi docensnek,

áldozatos és segítőkész szakmai támogatásáért

Szemők Gabriella Erzsébet PhD hallgatónak

A kísérletben és a statisztikai értékelésben nyújtott támogatásért

Édesapámnak, Édesanyámnak és Testvéremnek,

az egyetemi éveim alatt nyújtott szerető biztatásért, ösztönzésért és folyamatos támogatásukért

A Növénytermesztési-tudományok Intézetének

a laboratóriumi munkámhoz nyújtott támogatásért

8. Irodalomjegyzék

Ai, F., Yin, X., Hu, R., Ma, H., & Liu, W. (2021). Research into the super-absorbent polymers on agricultural water. In *Agricultural Water Management* (Vol. 245). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106513

Birkás, M., Jolánkai, M., Kisić, I., & Stipešević, B. (2008). Soil Tillage Needs a Radical Change for Sustainability. In *Agriculturae Conspectus Scientifi cus* (Vol. 73, Issue 3).

Blanka, V., Meyer, B. C., & Mezősi, G. (2013). Projected changes in the drought hazard in Hungary due to climate change. *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, *117*(2), 219–237. https://www.researchgate.net/publication/261870735

Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. In *Polymer Testing* (Vol. 94). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021

Chesword, W. (2008). *Encyclopedia of Soile Science* (Ward Chesworth, Ed.; p. Pp. 707-709.). Springer.

Dr. Jung Ivett. (2022). *Öntözött területek Magyarországon-helyzetelemzés*. https://magyarmezogazdasag.hu/2022/08/18/ontozott-teruletek-magyarorszagon-helyzetelemzes

Erdődiné Molnár, Z., & Kovács, A. V. (2023). A 2022-es aszály agrometeorológiai elemzése. *Légkör*, *68*(1), 20–27. https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.3

Fekete, T. (2017). *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Cellulóz alapú hidrogélek előállítása és jellemzése*. MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet, Sugárkémiai Laboratórium.

García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. In *Corn: Chemistry and Technology, Harmadik kiadás* (3. kiadás, pp. 1–18). AACC International Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2

Guilherme, M. R., Reis, A. V., Paulino, A. T., Moia, T. A., Mattoso, L. H. C., & Tambourgi, E. B. (2010). Pectin-based polymer hydrogel as a carrier for release of agricultural nutrients

and removal of heavy metals from wastewater. *Journal of Applied Polymer Science*, *117*(6), 3146–3154. https://doi.org/10.1002/app.32123

Gulrez, S. K. H., Al-Assaf, S., & Phillips, G. O. (2011). Hydrogels: methods of preparation, characterisation and applications. In *Progress in molecular and environmental bioengineering-from analysis and modeling to technology applications* (Vol. 117150). InTech.

Hanyecz, V. (1998). *Öntözéses Gazdálkodás az Alföldön*. Tessedik Sámuel Főiskola.

Harnos, Z. (1996). Modelling crop response in Hungary. *Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe. Annual Report. Environmental Change Unit, University of Oxford*, 179–189.

Kapronczai István. (2016). A magyar agrárgazdaság helyzete napjainkban-kockázatok és lehetőségek. *Gazdálkodás*, *60*(5), 369–426. http://ageconsearch.umn.edu

Király, G. (2016). *Éghajlatváltozás és alkalmazkodása a mezőgazdaságban*. https://doksi.net/en/get.php?lid=30477

KSH. (2022, June 1). *A fontosabb növények vetésterülete*. https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/a-fontosabb-novenyek-vetesterulete-2022-junius-1/#alegnagyobbterletenkukorictbztsnapraforgtvetettek

KSH. (2023). *Agrárium, 2023, előzetes adatok*.

Li, L., Guo, J., & Xiong, R. (2021). Synthesis and swelling behavior of a fully degradable physical cross-linked high strength hydrogel. *Polymer Testing*, *94*. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106982

Nagy, J. (2010). *Szemle, A kukoricatermesztés jelene és jövője*.

Pruitt, J. D. (2016). *A Brief History of Corn: Looking Back to Move Forward* [A Doctoral Document]. The College of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Qiu, Y., & Park, K. (2001). Environment-sensitive hydrogels for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, *53*, 321–339. www.elsevier.com/locate/drugdeliv

Rácz, C., & Nagy, J. (2011). A víz- és tápanyagellátottság, illetve -hasznosulásmegítélésének kérdései kukorica terméseredmények vonatkozásában. *Növénytermelés*, *60*, 97–114.

Ragasits, I., Ivány, K., & Kismányoki, T. (1994). *Növénytermesztés* (3., javított kiadás). Mezőgazda Kiadó.

Smith, C. W., Betrán, J., & Runge, E. C. A. (2004). *Corn: origin, history, technology, and production* (Vol. 4). John Wiley & Sons.

Szász, G. (2000). A termesztett növények természetes vízhasznosulásának trendje Magyarországon a XX. században. *Talaj, Növény És Környezet Kölcsönhatásai. IV. Nemzetközi Tudományos Szeminárium*, 176–186.

Szilvia, H. (2003). *A Talaj nedvességkészletének alakulása Kelet-Magyarországon a XX. században* [PhD Thesis]. Szegedi Tudomány Egyetem.

Szilvia, H. (2007). *NÖVÉNYTERMESZTÉS* (J. Antal, M. Birkás, S. Hidvégi, I. Iványi, M. Jolánkai, F. Kajdi, T. Kismányoky, I. Késmárki, J. Kruppa, Z. Izsáki, J. Nagy, P. Pepó, M. Sárvári, I. Simonné Kiss, M. Szabó, & Z. Tóth, Eds.; Első kiadás). Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar. http://odin.agr.unideb.hu/hefop/

Tamás, J. (2017). Az aszály. *Magyar Tudomány*, *178*(10), 1228–1237. https://doi.org/10.1556/2065.178.2017.10.6

WICHTERLE, O., & LÍM, D. (1960). Hydrophilic Gels for Biological Use. *Nature*, *185*(4706), 117–118. https://doi.org/10.1038/185117a0

Woodhouse, J., & Johnson, M. S. (1991). Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. In *Agricultural Water Management* (Vol. 20).

Wu, L., & Liu, M. (2008). Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*, *72*(2), 240–247. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.08.020

8.2.Hivatkozott weboldalak

http1 https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0037.html

9. Mellékletek

9.1. Nedvességfelszívási kísérlet ANOVA táblázat

ANOVA

Leitatott hidrogél + víz (g)

hidrogel	hom		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DCM	5 °C	Between Groups	30,898	9	3,433	31,040	<,001
		Within Groups	3,318	30	,111		
		Total	34,216	39			
	10 °C	Between Groups	27,800	9	3,089	27,850	<,001
		Within Groups	3,327	30	,111		
		Total	31,128	39			
	15 °C	Between Groups	19,243	9	2,138	14,676	<,001
		Within Groups	4,371	30	,146		
		Total	23,613	39			
	20 °C	Between Groups	27,855	9	3,095	7,127	<,001
		Within Groups	13,028	30	,434		
		Total	40,884	39			
	25 °C	Between Groups	30,881	9	3,431	37,277	<,001
		Within Groups	2,761	30	,092		
		Total	33,643	39			
	30 °C	Between Groups	40,299	9	4,478	7,060	<,001
		Within Groups	19,028	30	,634		
		Total	59,327	39			
	35 °C	Between Groups	21,855	9	2,428	31,088	<,001
		Within Groups	2,343	30	,078		
		Total	24,198	39			
	40 °C	Between Groups	22,158	9	2,462	9,224	<,001
		Within Groups	8,007	30	,267		
		Total	30,165	39			
	45 °C	Between Groups	18,675	9	2,075	14,858	<,001

		Within Groups	4,190	30	,140		
		Total	22,864	39			
ZEBA	5 °C	Between Groups	5,197	9	,577	12,804	<,001
		Within Groups	1,353	30	,045		
		Total	6,550	39			
	10 °C	Between Groups	16,762	9	1,862	,865	,565
		Within Groups	64,585	30	2,153		
		Total	81,347	39			
	15 °C	Between Groups	7,608	9	,845	10,412	<,001
		Within Groups	2,436	30	,081		
		Total	10,044	39			
	20 °C	Between Groups	6,892	9	,766	1,911	,089
		Within Groups	12,020	30	,401		
		Total	18,912	39			
	25 °C	Between Groups	22,634	9	2,515	2,082	,064
		Within Groups	36,238	30	1,208		
		Total	58,872	39			
	30 °C	Between Groups	17,938	9	1,993	2,234	,048
		Within Groups	26,769	30	,892		
		Total	44,707	39			
	35 °C	Between Groups	23,763	9	2,640	3,050	,010
		Within Groups	25,972	30	,866		
		Total	49,735	39			
	40 °C	Between Groups	9,661	9	1,073	3,581	,004
		Within Groups	8,993	30	,300		
		Total	18,653	39			
	45 °C	Between Groups	8,263	9	,918	1,913	,088
		Within Groups	14,396	30	,480		
		Total	22,659	39			
EVONIK	5 °C	Between Groups	18,682	9	2,076	45,639	<,001
		Within Groups	1,365	30	,045		

	Total	20,047	39			
10 °C	Between Groups	18,607	9	2,067	44,294	<,001
	Within Groups	1,400	30	,047		
	Total	20,007	39			
15 °C	Between Groups	14,921	9	1,658	8,734	<,001
	Within Groups	5,694	30	,190		
	Total	20,615	39			
20 °C	Between Groups	25,533	9	2,837	9,694	<,001
	Within Groups	8,779	30	,293		
	Total	34,312	39			
25 °C	Between Groups	16,866	9	1,874	40,478	<,001
	Within Groups	1,389	30	,046		
	Total	18,255	39			
30 °C	Between Groups	24,837	9	2,760	55,324	<,001
	Within Groups	1,496	30	,050		
	Total	26,333	39			
35 °C	Between Groups	15,249	9	1,694	28,781	<,001
	Within Groups	1,766	30	,059		
	Total	17,015	39			
40 °C	Between Groups	14,139	9	1,571	12,614	<,001
	Within Groups	3,736	30	,125		
	Total	17,875	39			
45 °C	Between Groups	18,538	9	2,060	7,668	<,001
	Within Groups	8,059	30	,269		
	Total	26,597	39			

9.2.pH tűrési kísérlet ANOVA

ANOVA

Csíraszám

hidrogél		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ZEBA	Between Groups	18,400	4	4,600	2,646	,034
	Within Groups	426,000	245	1,739		
	Total	444,400	249			
DCM	Between Groups	14,176	4	3,544	2,284	,061
	Within Groups	380,180	245	1,552		
	Total	394,356	249			
EVONIK	Between Groups	14,400	4	3,600	2,410	,050
	Within Groups	366,000	245	1,494		
	Total	380,400	249			

9.3.ph tűrési kísérlet Tukey HSD teszt

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Leitatott hidrogél (g)

Tukey HSD

Hidrogél	(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
Zeba	5 pH	6 pH	-,086	,137	,969	-,47	,30
		7 pH	-1,154*	,137	<,001	-1,54	-,77
		8 pH	,285	,137	,244	-,10	,67
		9 pH	-,230	,137	,455	-,62	,16
	6 pH	5 pH	,086	,137	,969	-,30	,47
		7 pH	-1,067*	,137	<,001	-1,45	-,68
		8 pH	,371	,137	,065	-,02	,76
		9 pH	-,144	,137	,832	-,53	,24
	7 pH	5 pH	1,154*	,137	<,001	,77	1,54
		6 pH	1,067*	,137	<,001	,68	1,45
		8 pH	1,438*	,137	<,001	1,05	1,82
		9 pH	,923*	,137	<,001	,54	1,31
	8 pH	5 pH	-,285	,137	,244	-,67	,10

		6 pH	-,371	,137	,065	-,76	,02
		7 pH	-1,438*	,137	<,001	-1,82	-1,05
		9 pH	-,515*	,137	,004	-,90	-,13
	9 pH	5 pH	,230	,137	,455	-,16	,62
		6 pH	,144	,137	,832	-,24	,53
		7 pH	-,923*	,137	<,001	-1,31	-,54
		8 pH	,515*	,137	,004	,13	,90
DCM	5 pH	6 pH	-,504	,198	,096	-1,06	,06
		7 pH	-1,011*	,198	<,001	-1,57	-,45
		8 pH	-,018	,198	1,000	-,58	,54
		9 pH	-1,080*	,198	<,001	-1,64	-,52
	6 pH	5 pH	,504	,198	,096	-,06	1,06
		7 pH	-,508	,198	,092	-1,07	,05
		8 pH	,486	,198	,117	-,07	1,04
		9 pH	-,576*	,198	,040	-1,14	-,02
	7 pH	5 pH	1,011*	,198	<,001	,45	1,57
		6 pH	,508	,198	,092	-,05	1,07
		8 pH	,993*	,198	<,001	,43	1,55
		9 pH	-,069	,198	,997	-,63	,49
	8 pH	5 pH	,018	,198	1,000	-,54	,58
		6 pH	-,486	,198	,117	-1,04	,07
		7 pH	-,993*	,198	<,001	-1,55	-,43
		9 pH	-1,062*	,198	<,001	-1,62	-,50
	9 pH	5 pH	1,080*	,198	<,001	,52	1,64
		6 pH	,576*	,198	,040	,02	1,14
		7 pH	,069	,198	,997	-,49	,63
		8 pH	1,062*	,198	<,001	,50	1,62
EVONIK	5 pH	6 pH	-,874*	,090	<,001	-1,13	-,62
		7 pH	-,877*	,090	<,001	-1,13	-,62
		8 pH	,192	,090	,222	-,06	,45
		9 pH	-,688*	,090	<,001	-,94	-,43
	6 pH	5 pH	,874*	,090	<,001	,62	1,13
		7 pH	-,004	,090	1,000	-,26	,25
		8 pH	1,066*	,090	<,001	,81	1,32
		9 pH	,186	,090	,253	-,07	,44
	7 pH	5 pH	,877*	,090	<,001	,62	1,13
		6 pH	,004	,090	1,000	-,25	,26
		8 pH	1,070*	,090	<,001	,82	1,32
		9 pH	,189	,090	,236	-,07	,44
	8 pH	5 pH	-,192	,090	,222	-,45	,06
		6 pH	-1,066*	,090	<,001	-1,32	-,81

	7 pH	-1,070*	,090	<,001	-1,32	-,82
	9 pH	-,880*	,090	<,001	-1,13	-,63
9 pH	5 pH	,688*	,090	<,001	,43	,94
	6 pH	-,186	,090	,253	-,44	,07
	7 pH	-,189	,090	,236	-,44	,07
	8 pH	,880*	,090	<,001	,63	1,13

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

9.4.Csírázási kísérlet ANOVA leíró statisztikiai táblázat

Descriptives

	hidrogél			Statistic	Std. Error
Csíraszám	ZEBA	Mean		,52	,084
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,35	
			Upper Bound	,69	
		5% Trimmed Mean		,30	
		Median		,00	
		Variance		1,785	
		Std. Deviation		1,336	
		Minimum		0	
		Maximum		6	
		Range		6	
		Interquartile Range		0	
		Skewness		2,713	,154
		Kurtosis		6,699	,307
	DCM	Mean		,48	,080
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,32	
			Upper Bound	,63	
		5% Trimmed Mean		,26	
		Median		,00	
		Variance		1,584	
		Std. Deviation		1,258	
		Minimum		0	
		Maximum		6	
		Range		6	
		Interquartile Range		0	
		Skewness		2,882	,154

		Kurtosis		7,743	,307
	EVONIK	Mean		,48	,078
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,33	
			Upper Bound	,63	
		5% Trimmed Mean		,27	
		Median		,00	
		Variance		1,528	
		Std. Deviation		1,236	
		Minimum		0	
		Maximum		6	
		Range		6	
		Interquartile Range		0	
		Skewness		2,754	,154
		Kurtosis		6,991	,307

10. Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat
III. Hallgatói Követelményrendszer
III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat
6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója
4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Jóri Bertalan
A Hallgató Neptun kódja: OLWDWH
A dolgozat címe: Szuperabszorbenspolimerek alkalmazhatóságának vizsgálata a növénytermesztésben
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: AGRI-FOOD

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 10 hó 31 nap

Hallgató aláírása

[1] A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.
[2] A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Jóri Bertalan (név) (hallgató Neptun azonosítója: OLWDWH) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / nem javaslom[1].

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem***[2]

Kelt: Gödöllő, 2023.november 6.

_____
belső konzulens

[1] A megfelelő aláhúzandó.
[2] A megfelelő aláhúzandó.