



SZENT ISTVÁN EGYETEM

**BIOLÓGIAI ANYAGOK VÍZLEADÁSI TULAJDONSÁGAI
MIKROHULLÁMÚ TÉRBEN**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Kurják Zoltán

Gödöllő

2016

A doktori iskola megnevezése:

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Prof. Dr. Beke János
egyetemi tanár,
SZIE, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	2
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	3
2.1. A vizsgált növényfajták	3
2.2. Az alkalmazott mérőberendezés	3
2.3. A vizsgálati minták előkészítése	5
2.3.1. <i>A burgonyafélék előkészítése</i>	5
2.3.2. <i>Az ernyős gyökérzöltségek előkészítése</i>	5
2.3.3. <i>Az ernyős növények levélzetének előkészítése</i>	6
2.4. A mérési folyamat	6
3. EREDMÉNYEK	8
3.1. A mikrohullámú szárítási kísérletek eredményei	8
3.1.1. <i>A paszternák mérések eredményei</i>	8
3.2. Az ernyősvirágú gyökérzöltségek vizsgálata	12
3.3. A burgonyafélék vizsgálata	15
3.4. Az ernyősvirágú levélzöltségek vizsgálata	18
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	21
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	23
6. ÖSSZEFOGLALÁS	24
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK.....	25

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A szárítási művelet a mezőgazdaságon belül az egyik legnagyobb energiaigényű eljárás. Ráadásul a szárítás a mezőgazdaságban az iparinál lényegesen összetettebb feladat, mivel az eljárás során az élő anyag vízkészletének csökkentésével párhuzamosan morfológiailag meghatározott élettani folyamatok is zajlanak. Indokolt tehát, hogy a szárítás művelet paramétereit tudományos alapossággal válasszuk meg, hogy a termék károsodását, szöveti szerkezetének torzulását elkerüljük és a műveletet energetikailag optimáljuk. A mikrohullámú szárítási folyamat energiafelhasználása elvileg egy nagyságrenddel kisebb, mint a konvekciós eljárások alkalmazása esetében ezért, különösen a nagy kezdeti nedvesség tartalmú zöldségek, gyümölcsök szárításában alkalmazható előnyösen.

Célom egy olyan mérésorozat megvalósítása, amelynek eredményeként a mikrohullámú szárítás energia- és anyagtranszport folyamatainak jellemző paramétereit meghatározhatók, különös tekintettel a hőközlés módjának és a száradási jellemzők kapcsolatára.

A szárítási folyamatok során olyan zöldség növényeket kívánok vizsgálni, amelyek magas kezdeti nedvességtartalommal rendelkeznek, de morfológiai felépítésük egymástól eltérő. Így nem csak az egyes növények főbb szárítástechnikai paramétereit lesznek meghatározhatók, hanem az egyes növénycsoportok száradási tulajdonságai is összevethetővé válnak.

Mivel a szárítási folyamatok egyik legfontosabb paramétere az energiaközlés hatékonysága, ezért a vizsgálatokat többféle szárítási teljesítmény alkalmazásával szeretném megvalósítani, így meghatározva a közölt energia nagyság és a hatékonyság közötti kapcsolatot.

Összefoglalva vizsgálataim célja:

- az egyes növények száradási tulajdonságainak meghatározása az alkalmazott mikrohullámú teljesítményszinteken, amelyekből általános összefüggések vezethetők le a csoport tulajdonságaira vonatkozóan,
- a közölt mikrohullámú energia nagyságának a száradási paraméterekre pl. a száradási sebességre, és az energia felhasználásra gyakorolt hatásának meghatározása,
- a vizsgált növénycsoportok, egymástól eltérő morfológiai felépítésének és a szárítás energetikai mutatóinak kapcsolatának feltárása,
- a mikrohullámú energiaközlési folyamat jellemző szakaszainak meghatározása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben az alkalmazott mérési módszereket és eszközöket mutatom be. Az egyes növénycsoportok száradási tulajdonságainak meghatározásához laborkísérleteket végeztem. A kísérletek helyszíne a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézetének Hőtechnikai laborja volt.

2.1. A vizsgált növényfajták

A kísérleteimben 2 eltérő tulajdonságokkal rendelkező, nagy kezdeti nedvességtartalommal rendelkező növénycsaládot vizsgáltam.

Burgonyafélék (Solanaceae)

- burgonya (*Solanum tuberosum*)
- paradicsom (*Lycopersicon esculentum*)
- paprika (*Capsicum annuum*)
- padlizsán (*Solanum melongena*)

Ernyősök (Umbelliferae)

gyökérzöldségek

- zeller (*Apium graveolens*)
- petrezselyem (*Petroselinum crispum*)
- paszternák (pasztinák) (*Pastinaca sativa*)
- sárgarépa (*Daucus carota*)

levélzöldségek

- zeller (*Apium graveolens*)
- petrezselyem (*Petroselinum crispum*)
- kapor (*Anethum graveolens*)

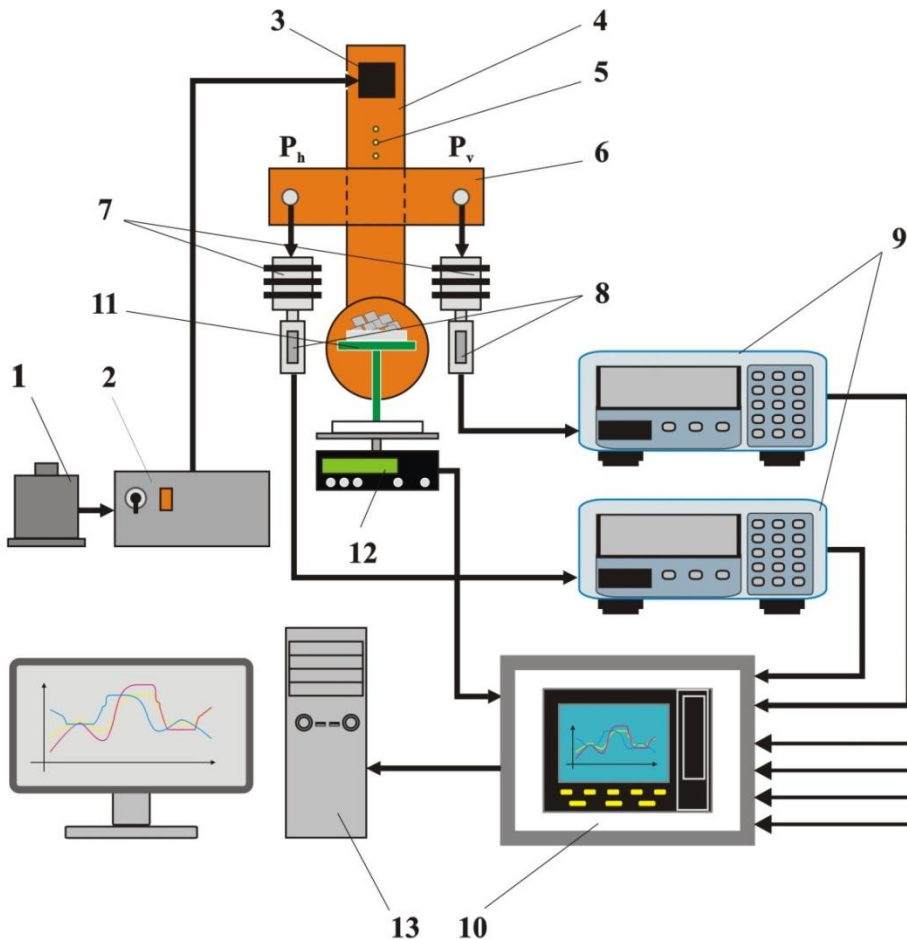
2.2. Az alkalmazott mérőberendezés

A mérésekhez egy kifejezetten a mikrohullámú szárítási kísérletekhez kifejlesztett berendezést használtam, amelynek fontosabb tulajdonságai a következők:

- 230 V/50 Hz villamos hálózati csatlakozás,
- a szabványos 2,45 GHz-es üzemi frekvencia,
- fokozatmentes teljesítményszabályozási lehetőség a 100 W – 700 W-ig terjedő tartományban,
- a rezonátorkamrához illeszkedő iránycsatolók segítségével a haladó (P_h) és visszavert (P_v) teljesítmények folyamatos mérése a szárítási folyamat alatt,
- a szárítókamrában egyenletes elektromágneses tér biztosítása,
- számítógépes csatlakozási lehetőség a folyamatos adatgyűjtéshez.

2. Anyag és módszer

A mikrohullámú szárítóberendezés felépítése az 1. ábrán látható.



1. ábra A mikrohullámú mérőrendszer működési vázlata

(1) toroid transzformátor, (2) tápegység, (3) magnetron (4) csőtápvonal, (5) hangoló szondák, (6) csatolórés, (7) 20dB-es csillapítás, (8) teljesítménymérő szondák, (9) teljesítménymérő műszerek, (10) többcsatornás adatgyűjtőegység, (11) mintatartó, (12) labormérleg, (13) kiértékelő számítógép

A mérések során az első lépés toroid transzformátor (1) feszültség szintjének beállítása, amellyel a magnetron teljesítményét lehet szabályozni. A beállítás után a tápegységen (2) elhelyezett főkapcsoló segítségével indítható a magnetron (3). A mikrohullámú energia a függőleges téglalap keresztmetszetű csőtápvonalon (4) jut a kezelőtérbe. Ebben a csőtápvonalban kerültek elhelyezésre azok a hangoló szondák (5), amelyek megakadályozzák a magnetron irányában a káros visszaverődést.

A csőtápvonalra merőlegesen elhelyezett csatolórésen (6) keresztül kerül kicsatolásra a haladó (P_h) és a visszavert (P_v) irányú mikrohullámú teljesítmény. Az iránycsatoló csatolási tényezője 28 dB. Az iránycsatoló utáni teljesítmények azonban még mindig túl nagyok ahhoz, hogy egyenesen a teljesítménymérő műszerekbe vezessük, ezért szükség van egy fix mértékű 20 dB értékű csillapításra (7), amelyet a teljesítménymérő szondák (8) elé kell bekötni. A teljesítménymérő műszerek (9) alakítják a csökkentett mikrohullámú teljesítményt elektromos jelekké, amelyeket a többcsatornás adatgyűjtőegység (10) rögzít. Ugyancsak az adatgyűjtőbe kerülnek a kezelőtérben található mintatartóban (11) elhelyezett anyag tömegvesztésének adatai is, amelyet egy labormérleg (12) segítségével mértem. Ezen felül termoelemek segítségével mértem a labor, a kezelőtér be- és kilépő, illetve a magnetron hűtőlevegőjének hőmérsékletét is. Az adatgyűjtő adatait végül számítógépen (13) dolgoztam fel.

2.3. A vizsgálati minták előkészítése

A vizsgált mezőgazdasági eredetű anyagok eltérő morfológiai tulajdonságúak, ezért a minták előkészítése teljesen azonos módon nem megoldható. Ugyanakkor az egyes növénycsoportok vízleadási tulajdonságainak összehasonlításához, a kísérleteket a lehető legkevesebb eltéréssel kell elvégezni. Ezt a célt szem előtt tartva a minták előkészítésekor arra törekedtem, hogy minták legnagyobb mérete ne haladja meg az 1 cm-t. A minták homogenizálása érdekében mindig több növény került felaprításra.

2.3.1. A burgonyafélék előkészítése

A *burgonyafélék* csoportjába tartozó növények és a termények mérete is közel azonosnak tekinthető, ezért az előkészítésük is hasonlóan történt.

A terményekből 1 cm vastagságú szeleteket készítettem, majd a szeleteket 1 x 1 cm-es darabokra vágtam. Mivel a szeletek formája igazodik a vizsgált növény alakjához, így a szélső részek alakja nem volt tökéletes kocka alakú, de ezeket a részeket is felhasználtam a mérés során.

A paprika termése kissé eltér többi növénytől, amelyek viszonylag homogén kitöltöttséget mutatnak. A paprika egy vastag termésfalból áll, de ezen belül már csak a magház található, ezért ebben az esetben a mintakészítést is módosítanom kellett. A magházat eltávolítottam, majd a megmaradt részt 1 cm vastagságú hosszirányú szeletekre vágtam. Végül ezeket a szeleteket vágtam fel 1cm hosszúságú darabokra

2. Anyag és módszer

2.3.2. Az ernyős gyökérzöldségek előkészítése

Az ernyősök családjába tartozó gyökérzöldségek morfológiai tulajdonságai csak kis mértékben térnek el egymástól, ezért itt a mintakészítés folyamata azonos volt. A növényről először eltávolítottam a levél részeket, majd a gyökérrészeiről levágtam a vékonyabb gyökereket is. A megmaradt főgyökeret 1 cm vastag szeletekre vágtam, majd ahol erre lehetőség volt (1 cm-t meghaladó átmérő esetén) a szeleteket 1 cm oldalhosszúságú kockákra vágtam. Ahol az átmérő kisebb volt, mint 1 cm, ott a szeletet egészben hagytam.

2.3.3. Az ernyős növények levélzetének előkészítése

A levélzöldségek előkészítése minden növényfajta esetében azonos módon történt. Elsőként a levágott levélrészekről eltávolítottam az esetleg még megmaradt gyökérrészeket, majd a leveleket a levélnyéllel együtt 1 cm hosszúságú darabokra szeleteltem. A nagyobb levélrészeket (pl. zeller esetében) kereszt irányban is méretre vágtam.

2.4. A mérési folyamat

A kísérletek során a 2.4. pontban leírtak szerint előkészített anyagmintákat vizsgáltam. A mérésekhez a kezelőtér 125 mm-es átmérőjéhez méretben igazodó, 105 mm átmérőjű Petri-csészéket használtam. Az anyagot szabályos elrendezés nélkül halmoztam a csészékre, így biztonsággal (a lehullás, kiborulás veszélye nélkül) a burgonyafélék és a gyökérzöldségek esetében 80 g volt behelyezhető, ami a mintatartó fölötti üres mikrohullámú mintatér teljes térfogatához viszonyítva 0,25-os térkitöltési mutatóval jellemezhető. A leveles anyagok esetén 25 g töltet volt behelyezhető, ami a lazább anyagalmaz miatt 0,51-os térkitöltésnek felelt meg.

A mintatömegekhez alkalmazható teljesítményszinteket és a hozzájuk tartozó kezelési időket minden növény esetében próbamérések segítségével határoztam meg. Mivel legalább 3 teljesítményszinten kívántam megismételni a méréseket így a kísérletek során a burgonyafélék és gyökérzöldségek esetében, az alkalmazott toroid transzformátor feszültséget 140, 160 és 180 V-os értékre állítottam be. A beállított feszültséghez tartozó magnetron teljesítmény értékeket a 3.1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Az egyes toroid feszültséghez tartozó magnetron teljesítmény értékei

Toroid transzformátor feszültsége	Magnetron teljesítmény
140 V	456,8 W
160V	523 W
180V	554,6 W

A kezelési idő a 456,8 W-os szinten - növénytől függően - 26-37 perc között, a 523 W-os szinten 18-22 perc között, míg a 554,6 W-os szinten 12-14 perc között változott. A leveles anyagokat kontroll vizsgálatként szárítottam, ezért csak a 523 W-os szinten szárítottam, ahol egységesen 11 perces kezelési időt alkalmaztam.

Az egyes szárítás kísérletek lebonyolítása azonos módon történt. Elsőként az adott növénynek megfelelő tömegű mintákat kimértem, majd a kezelőtérbe helyeztem. A kezelési idő letelte után a mintákat kivettem a kezelőtérből és szárítószekrény segítségével az egyensúlyi nedvességtartalomig szárítottam a vonatkozó szabványok szerint (ASAE S358, 103 °C hőmérsékleten, 24 óra időtartamig), majd újra lemértem. Minden mérési beállítást 5 alkalommal végeztem el. A teljesítményadatokat (haladó és visszavert irányú) minden mérési ciklusban 5 másodpercenként rögzítettem. A tömegvesztést a burgonyafélék és a gyökérzöltségek esetén, a 456,8 W-os és 523 W-os szinten 1 percenként, míg a rövidebb kezelési idők miatt a 554,6 W-os szinten és a leveles növények esetében fél percenként rögzítettem. A próbamérések során kismértékű kondenzációt tapasztaltam, ami főleg a magasabb nedvességtartalmú anyagok szárítása során jelentkezett. Ennek kiküszöbölésére egy ventilátort szereltem a csatorna végére, amely 0,3 m/s sebességű légáramot biztosított. Ez elegendőnek bizonyult a kondenzáció megszüntetésére, ugyanakkor a be és kilépő levegő entalpiájának értékét nem befolyásolta. A levegő hőmérsékletek mellett, rögzítettem a labor és - a berendezés biztonságos üzemeltetése végett - a magnetron hűtőlevegőjének hőmérsékletét is. Ezeket az adatokat is 5 másodperces időközzel gyűjtöttem össze.

A mérési adatok kiértékelése során meghatároztam azokat a jellemzőket, amelyeket a klasszikus szárítási folyamatok esetén minden esetben alkalmazunk (nedvességtartalom, száradási sebesség), illetve olyan fajlagos és relatív jellemzőket, amelyek főként energetikai szempontból összevethetővé teszik az egyes növények vagy növénycsoportok tulajdonságait.

3. EREDMÉNYEK

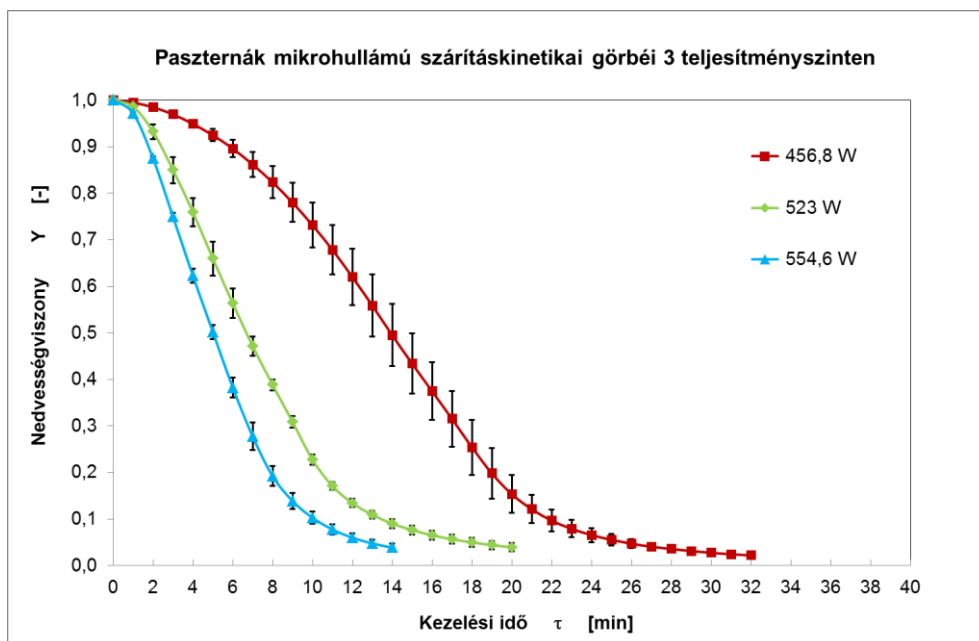
Ebben a fejezetben összefoglalom az elvégzett mérések eredményeit és az ezek alapján, a mikrohullámú energiaközlés és a növények morfológiai felépítésére kapcsolatát bemutató megállapításokat.

3.1. A mikrohullámú szárítási kísérletek eredményei

A mikrohullámú szárítások során kapott adatsorokat növényenként azonos módon értékeltem ki, amit a paszternák eredményein keresztül mutatok be.

3.1.1. A paszternák mérések eredményei

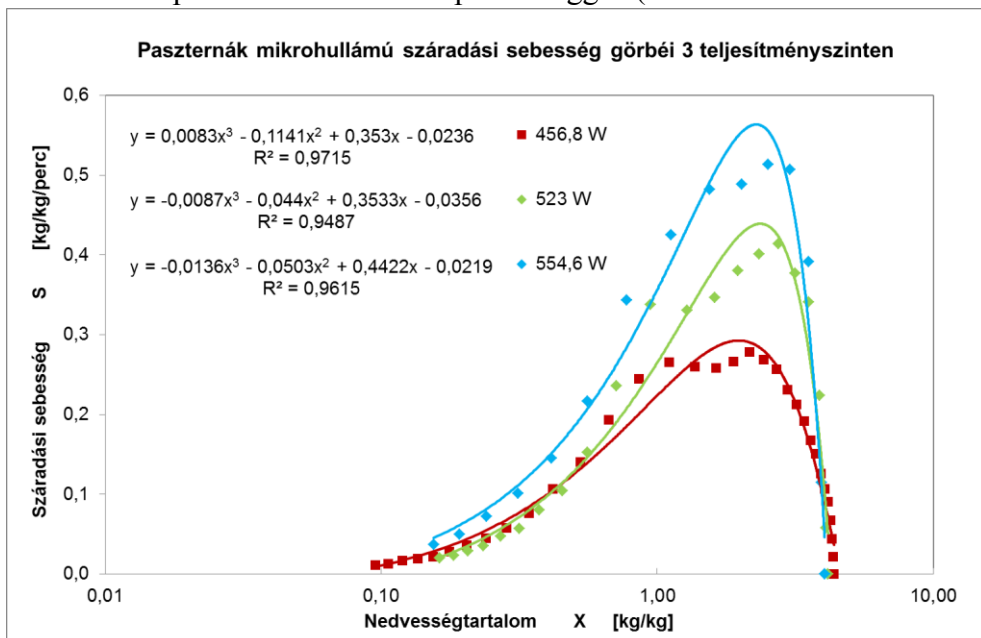
Elsőként megrajzoltam az 5 mérés átlagából kapott szárításkinetikai görbét a különböző teljesítményszinteken. Mivel az egyes növényfajták eltérő kiindulási nedvességtartalommal rendelkeztek, így az összehasonlítást egyszerűbbé téve, a nedves bázison számított nedvességtartalom (w) helyett a nedvességviszony (Y) értékeket ábrázoltam a különböző teljesítményszinteken a kezelési idő függvényében (2. ábra). A görbéken ábrázoltam az 5 mérési sorozatból származó szórás értékeket is. A szórás értékeit elemezve kijelenthető, hogy az egyes mérési sorozatok közötti eltérés a szárítási folyamatok középső szakaszán a legnagyobb, de az eltérés nagysága a teljesítményszint növelésével egyre kisebb lesz. A kapott görbék a klasszikus konvektív száradási folyamatok során jellemző száradási



2. ábra Paszternák szárításkinetikai görbéi a vizsgált teljesítményszinteken

görbékhez hasonlóan alakulnak. Az eltérés a szárítási folyamat idejében mutatkozik, amely igazodva az energiaközlés formájához sokkal rövidebb (így a görbe sokkal meredekebb), mint konvektív esetben. Ismerve a mikrohullámú energia hatásmechanizmusát az eltérő jelenségek magyarázhatók. Miután az energiaabszorpció arányos a minták nedvességtartalmával, továbbá a termikus hatás is ott jelentkezik, ahol a kezelt anyag vizet tartalmaz, a kezdeti felmelegítési szakasz, valamint a végső aszimptotikus csökkenő száradási sebességű szakasz lerövidül. A szárításkinetikai görbék alapján az is nyilvánvaló, hogy az alkalmazott teljesítményszint növelésével, a kezelési idő csökken.

A nedves bázison számított nedvességtartalomból (w) kiszámíthatjuk a száraz bázison mért nedvességtartalom (X) értékeket. A száraz bázison mért nedvességtartalom függvényében egyszerűen ábrázolható a száradási sebesség (S), amely az időegység alatt bekövetkező nedvességtartalom változását mutatja be. A 3. ábrán a 3 teljesítményszinten kapott száradási sebesség görbéket láthatók. Ezen az ábrán egyértelműen látszik, hogy a teljesítmény növelésével a száradási sebesség értékek is egyre nagyobbak lesznek. A vizsgált jellemzők közötti függvénykapcsolat meghatározásakor célom volt, hogy minél egyszerűbb összefüggést találjak, amely még megfelelő pontossággal írja le a folyamatot. Minden növény esetén a teljes szárítási folyamat során kapott pontokra, a legkisebb négyzetek elvét alkalmazva kerestem leíró összefüggést. Ennek eredményeképpen már egy harmadfokú polinommal is kellő pontossággal (a minimális determinációs



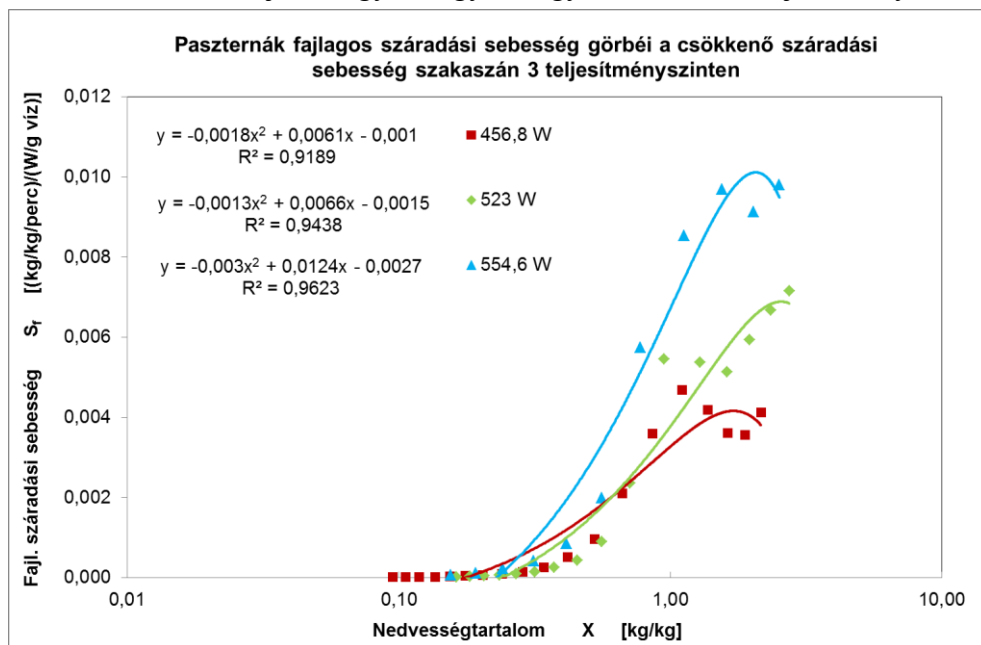
3. ábra Paszternák száradási sebesség görbéi a vizsgált teljesítményszinteken

3. Eredmények

együttható értéke $R^2 = 0,9$ volt) tudtam görbét illeszteni.

Mivel a klasszikus mezőgazdasági anyagok konvektív szárítási folyamatára jellemző állandó száradási sebességű szakasz az alkalmazott kísérleti beállítások mellett nem volt kimutatható, így a száradási folyamat szempontjából lényeges jellemzőit a csökkenő száradási sebesség szakaszán volt célszerű vizsgálnom. Ehhez a kiszámított száradási sebesség értékek közül mérésenként meghatároztam a maximális értéket. A továbbiakban a számított jellemzőket már csak erre a szakaszra határoztam meg.

A következő lépésben a disszipált teljesítményadatok segítségével kiszámítottam a fajlagos száradási sebesség értékeket. A fajlagos száradási sebesség megmutatja az egységnyi tömegű vízelvonásra jutó energia felhasználáshoz tartozó száradási sebesség értékeket. Ezáltal a különböző mérési sorozatok száradási sebesség értékei egyszerűen összehasonlíthatóak. A 4. ábrán a paszternák mérések csökkenő száradási sebesség szakaszára vonatkozó fajlagos száradási sebesség értékei láthatóak a száraz bázison számított nedvességtartalom függvényében. A fajlagos száradási sebesség értékek is azt mutatják, hogy az egyre nagyobb kezelési teljesítményszintek



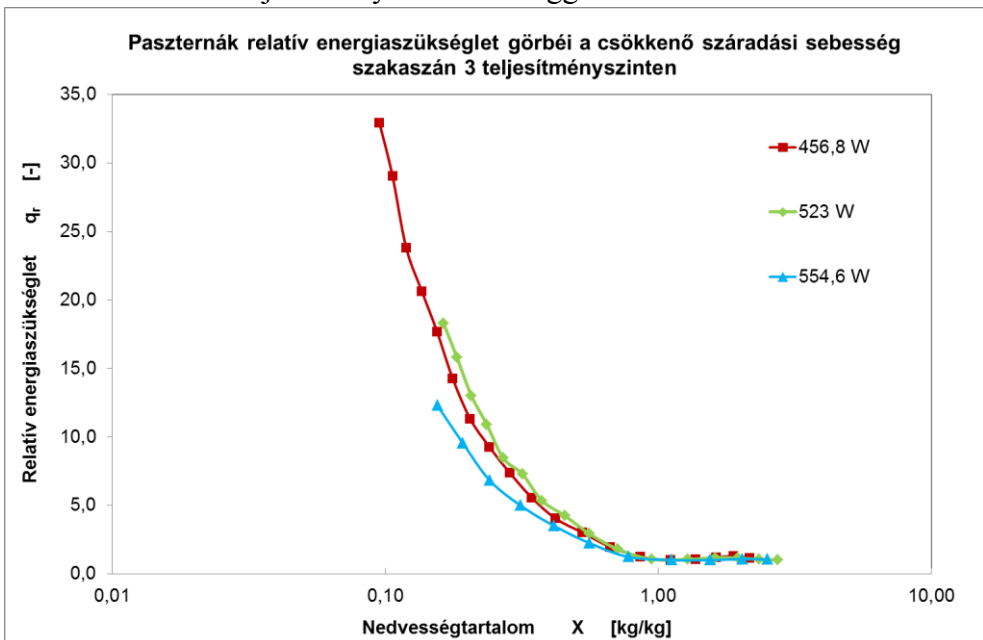
4. ábra Paszternák fajlagos száradási sebesség görbéi a csökkenő száradási sebesség szakaszán

alkalmazása növeli a száradási sebesség értékét. Az ábrán feltüntettem az egyes teljesítményszintekhez tartozó leíró egyenleteket, a hozzájuk tartozó determinációs együtthatóval együtt. Amint az látható, az itt kapott pontok összessége már egy másodfokú polinommal is megfelelő pontosságú

illesztéssel megadható. (A determinációs együttható R^2 értéke minden vizsgálat esetében nagyobb volt, mint 0,84.) A leíró egyenlet általános alakja:

$$S_f = a \cdot X^2 + b \cdot X + c. \quad (3.1)$$

Az adatok feldolgozását a szárítási folyamat energetikai mutatóinak meghatározásával fejeztem be. Ehhez elsőként kiszámítottam a teljes folyamat energiafelhasználását a mintavételezési szakaszokra felosztva. Ezek közül a csökkenő száradási sebesség szakaszára vonatkozó értékek közül kiválasztottam a legkisebbet, mint a viszonyítás alapját. Ehhez képest adtam meg a folyamat többi értékét, mint relatív energiaszükségletet, majd ábrázoltam a száraz bázison számított nedvességtartalom függvényében. Az 5. ábrán a paszternák relatív energiaszükségletét ábrázoltam. A relatív energiaszükséglet görbék minden növény típus és minden teljesítmény szint esetén két egymástól jól elkülöníthető szakaszra osztható fel. A csökkenő száradási sebesség szakaszának első felében egy állandónak tekinthető energiaszükséglet jelentkezik, majd ezt követően a görbék meredeken emelkedni kezdenek. Az állandó szakasz hossza az egyes növénytípusoktól és az alkalmazott teljesítményszintektől függően eltérően alakul.



5. ábra Paszternák relatív energiaszükséglet görbéi a csökkenő száradási sebesség szakaszán

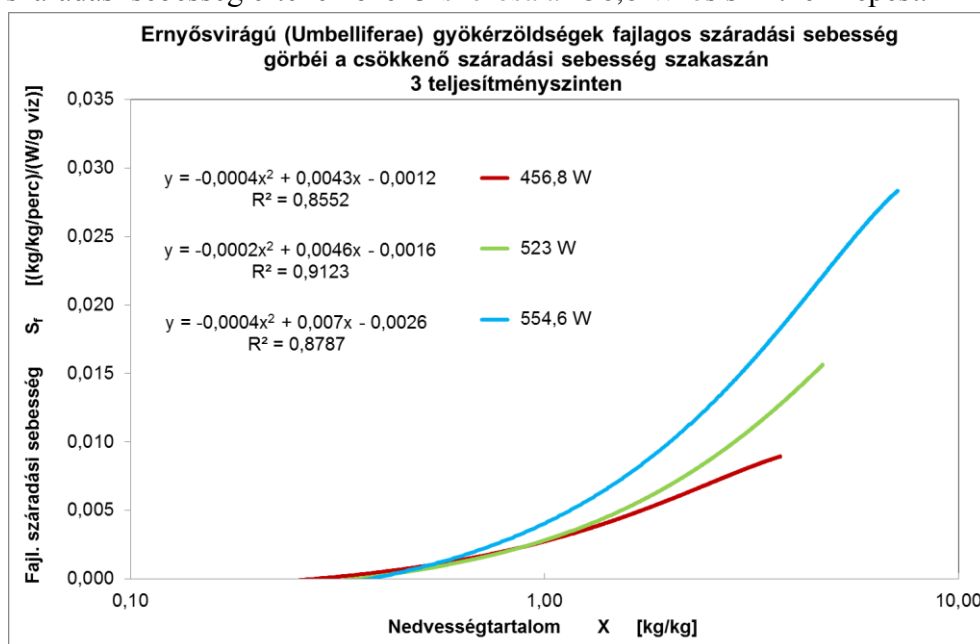
Az előzőekben bemutatott diagramokat minden növény esetében elkészítettem, amelyeket az egyes növénycsoportok viselkedésének vizsgálatára használom fel.

3. Eredmények

3.2. Az ernyősvirágú gyökérzöldegek vizsgálata

Az egyes növények adatainak feldolgozását követően a növénycsoportok közös jellemzőit vizsgáltam. Elsőként a száradási görbéket vettem össze. Ahogyan az várható volt, az egyre növekvő mikrohullámú teljesítményekhez, egyre rövidülő kezelési idők tartoztak. A 456,8 W-os szinten tapasztalt 30 perc körüli értékek az 523 W-os szinten 20 percre, míg az 554,6 W-os szinten 14 percre csökkent.

Az gyökérzöldegek csoportjára megszerkesztettem a teljes folyamat száradási sebesség görbéit, majd a fajlagos száradási sebesség értékeket ábrázoltam a száraz bázison számított nedvességtartalom függvényében. A görbéket, ebben az esetben is másodfokú polinommal (3.1 egyenlet) közelítettem. A 4 növény összes mérési pontjára is görbét illesztettem, amely ugyancsak másodfokú egyenlettel adható meg és mindhárom teljesítmény szinten a determinációs együttható értéke meghaladja a 0,85-os értéket, ami pontos illeszkedésnek felel meg figyelembe véve a szárított anyag tulajdonságait. Ez alapján egyértelműen megállapítható, hogy a 4 növény tulajdonságai külön-külön is jól jellemezhetők a teljes csoportra jellemző összefüggés segítségével. Az egyes teljesítményszinthez tartozó csoportgörbéket egy diagramban ábrázolva (6. ábra) nyilvánvalóvá válik az arányos kapcsolat, azaz a teljesítmény növelésével a száradási sebesség értéke is növekszik. Az 554,6 W-os teljesítmény szinten számított fajlagos száradási sebesség értéke közel 3-szorosa a 456,8 W-os szinthez képest.



6. ábra Az Ernyősvirágú (Umbelliferae) gyökérzöldegek fajlagos száradási sebesség görbéi a csökkenő száradási sebesség szakaszán 3 teljesítményszinten

Hasonlóan az egyes növényeknél alkalmazott módszerhez, utolsó lépésként a relatív energiaszükséglet vizsgálata következett. Ezeket a görbéket is először külön-külön, az egyes teljesítményszinteknek megfelelően, szerkesztettem meg. Minden növény esetében megfigyelhető volt a relatív energiaszükséglet görbéjének 2 szakaszra tagolódása. Hasonlóan a paszternáknál tapasztaltakhoz, a nagyobb nedvességtartalom tartományában az energiaszükséglet állandónak tekinthető, majd egy kritikus pontot követően az energiaszükséglet meredeken emelkedni kezd. A nagyobb kezdeti nedvességtartalmú növények esetén a növekedési szakasz kialakulása eltolódik a nagyobb nedvességtartalom irányába. A két szakaszt elválasztó kritikus pont helyzetének meghatározása kulcsfontosságú, mert csak így lehet teljes mértékben leírni a növekvő energiaszükséglet szakaszát. A diagramok alapján megállapítható, hogy az egyértelmű növekedési szakasz kialakulása nagymértékben függ az alkalmazott teljesítményszinttől. A 456,8 W-os szinten, az alkalmazott kis teljesítményszintnek köszönhetően, az átmenet fokozatos, megnehezítve a kritikus pont helyének egzakt meghatározását. Ezzel szemben az 554,6 W-os szinten ez a változás élesen jelentkezik, egyértelműen kijelölve a kritikus pont helyét.

A kritikus pont helyének meghatározását követően, csak a növekedési szakaszra is felrajzoltam a diagramokat és függvénykapcsolatot kerestem a nedvességtartalom és a relatív energiaszükséglet között. A növekedő szakasz változásait legpontosabban egy egyszerű hatványfüggvénnyel tudtam közelíteni, amelynek általános alakja:

$$q_r = a \cdot X^b. \quad (3.2)$$

Az ábrákon az egyes növényekre vonatkozó egyenleteket is feltüntettem. A diagramokon az alkalmazott teljesítményszinttől függetlenül megfigyelhető, hogy az alacsonyabb kezdeti nedvességtartalommal rendelkező paszternák esetében a növekvő relatív energiaszükséglet szakaszának kialakulása az alacsonyabb nedvességtartalom értékekre esik. Ezzel szemben a magasabb kezdeti nedvességtartalommal rendelkező sárgarépa és zellergumó esetében ez a magasabb nedvességtartalom irányába tolódik el, ami egyértelműen mutatja a kritikus pont helyzetének nedvességtartalomtól való függését. A teljesítményszint növelésével a kezdőpontok nedvességtartalma közötti különbség egyre nő, aminek oka az egységnyi anyagmennyiségre jutó energia nagyságának emelkedése.

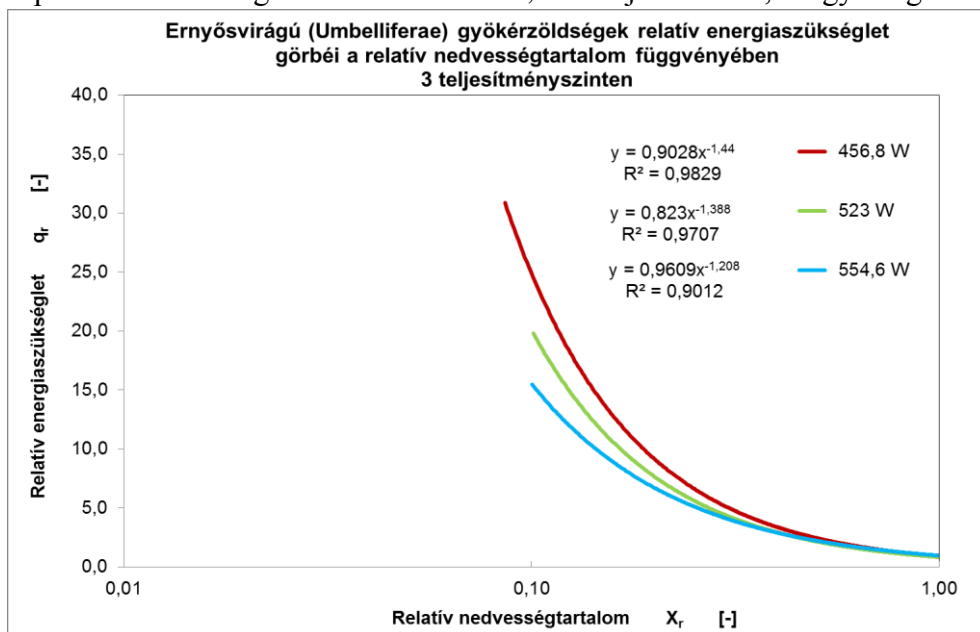
Mivel a kritikus pontok növényenként eltérő nedvességtartalmakhoz köthetőek, ezért a könnyebb összehasonlításuk érdekében a növekedési szakaszra felrajzolt görbéket egy közös kezdőpontba toltam el. Ehhez kiszámítottam a relatív száraz bázison mért nedvességtartalom értékét, amelynek meghatározásához a kritikus pont nedvességtartalmát vettem alapul és ehhez viszonyítottam a többi értéket. Az egyes

3. Eredmények

teljesítményszintekhez tartozó relatív energiaszükséglet görbéket a növekedési szakaszon már a relatív nedvességtartalom függvényében ábrázoltam. Ezt a függvénykapcsolatot is minden teljesítményszinten meghatároztam, majd felrajzoltam a 4 növény összes mérési pontjára illesztett görbét, amely a 3.2 hatványfüggvényt alapul véve, a következő formában írható le.

$$q_r = a \cdot X_r^b. \quad (3.3)$$

A különböző teljesítményszintekhez tartozó összesített eredmények elemezve megfigyelhető, hogy a teljesítményszint növelésével a függvény illesztési pontossága kismértékben csökken, ami arra utal, hogy a teljesítmény növelésével az egyedi vízleadási tulajdonságok közötti különbség erősebben kerül kifejezésre. A 7. ábrán a 3 teljesítményszinten kapott összesített görbéket ábrázoltam, ahol jól látszik, hogy a görbék



7. ábra Az Ernyősvirágú (Umbelliferae) gyökérsződségek relatív energiaszükséglet görbéi a relatív nedvességtartalom függvényében 3 teljesítményszinten

meredeksége csökken, ami arra utal, hogy a relatív energiaszükséglet növekedési szakaszának kezdőpontja a nagyobb nedvességtartalom irányába tolódik el. Ugyanakkor a teljesítmény növelésével a relatív energiaszükséglet maximális értékei jelentős mértékben csökkennek. A gyökérsződségek csoportjára vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy a 456,8 W-os teljesítményszinten történő szárítás relatív energiaszükséglete több mint duplája az 554,6 W-os szintnek.

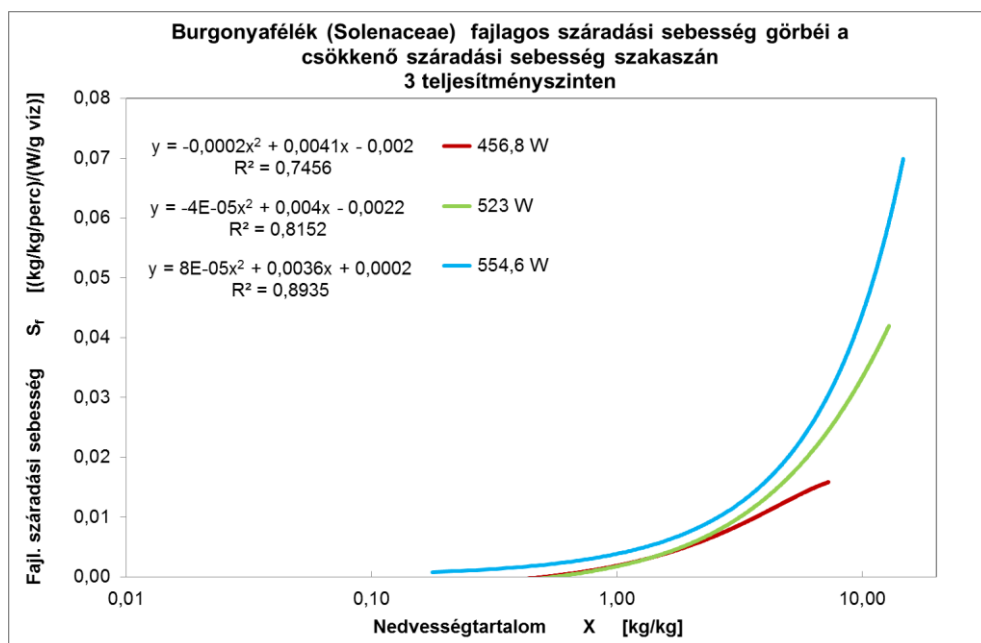
3.3. A burgonyafélék vizsgálata

A burgonyafélék vizsgálati adatainak feldolgozása nagymértékben megegyezett a gyökérzöldségeknél ismertetett módszerrel. Mivel itt is eltérő volt az egyes vizsgált növényfélések kezdeti nedvességtartalma, ezért első lépésként ennél a növénycsoportnál is a nedvességviszony görbéket vettem fel. A klasszikus száradási görbe alak a burgonyafélék szárítása során is megfigyelhető, de ezen a növénycsoporton belül a morfológiai különbségek nagyobbak, mint a gyökérzöldségeknél, így a kapott görbék is nagyobb eltéréseket mutatnak, amelyek főként a szárítási folyamat végső szakaszán jelentkeznek. Ez az eltérés nagyobb teljesítmény alkalmazása esetén csökken ugyan, de még a legmagasabb szinten is mutatkozik némi különbség. Hasonlóan a gyökérzöldségeknél tapasztaltakkal, a kezdeti nedvességtartalomban megjelenő eltérések befolyásolják a vízleadási folyamatot. Ennek következtében a burgonya szárítási görbéi rendre a legmeredekebbre adódtak a 3 másik jóval magasabb kezdeti nedvességtartalommal rendelkező növényhez viszonyítva. A nedvességtartalomban mutatkozó eltérés egyik fő oka, hogy a kísérletek során a burgonya megvastagodott szárképletét szárítottam, míg a többi növénynek a termését. Emellett a termések felépítésében is jelentkezik kismértékű különbség, hiszen míg a padlizsán közel homogén, tömör szerkezetű terméshússal rendelkezik, addig a paprika terméshúsa sokkal vékonyabb, héj jellegű szerkezettel rendelkezik.

A 3 teljesítményszint görbéit összehasonlítva a burgonyafélékre is igaz, hogy a mikrohullámú teljesítmény növelésével a kezelési idők egyre rövidülnek. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a 456,8 W-os szinten - növénytől függően – 26-32 perc, az 523 W-os szinten 20-22 perc, illetve az 554,6 W-os szinten 12-14 perc volt a szárítás időtartama.

A burgonyafélék elemzését a növényenkénti száradási sebesség, ezután a fajlagos száradási sebesség görbék felvételével folytattam, amelyek tendenciájukban nagymértékű hasonlóságot mutattak a gyökérzöldségeknél tapasztaltakkal. A görbék itt is hasonló formájú, másodfokú egyenlettel (3.1) voltak megadhatók, amelyek csak az együtthatók értékében különböztek a gyökérzöldség egyenletektől. A leíró függvények meglehetősen jól illeszkednek, hiszen a korrelációs együttható értéke minden esetben nagyobb, mint 0,84. Az összesített görbék illeszthetősége kis mértékben csökkent, főként a már korábban említett morfológiai tulajdonságok következtében, de a 456,8 W teljesítményszinten kapott korrelációs együttható $R^2 = 0,74$ értéke mezőgazdasági anyagok szárításakor megfelelőnek tekinthető. Ráadásul, ha részletesen összevetjük az egyes teljesítményszinteken kapott összesített görbéket (8. ábra) láthatjuk, hogy a teljesítményszint növelésével az illesztés egyre pontosabbá válik, vagyis az

3. Eredmények



8. ábra A Burgonyafélék (Solenaceae) fajlagos száradási sebesség görbéi a csökkenő száradási sebesség szakaszán 3 teljesítményszinten

egyed növények vízleadási tulajdonságai egyre hasonlóbba válnak. A fajlagos száradási sebesség értékek maximumát megvizsgálva, a gyökérszöldségekhez hasonlóan a burgonyaféléknél is megfigyelhető, hogy a fajlagos száradási sebesség értéke növekszik, a mikrohullámú teljesítmény növelésével. Ugyanakkor jelentős eltérés mutatkozik ebben az esetben a növekedés mértékében. Míg a gyökérszöldségek esetén a fajlagos száradási sebesség növekedése közel 3-szoros volt, addig a burgonyafélék esetén ez közel 5-szörös értékre változik.

A száradási folyamatok energetikai viszonyainak bemutatásához a burgonyaféléknél is meghatároztam az energiaszükséglet fajlagos értékeit, majd ezek segítségével, a korábban ismertetett módon, relatív energiaszükséglet értékeket képeztem, amelyet a száraz bázison számított nedvességtartalom függvényében ábrázoltam. Ebben az esetben is jól elkülöníthető volt a két részre tagolódó a relatív energiaszükségletet leíró görbe. A nagyobb nedvességtartalmak tartományában a relatív energiaszükséglet állandónak tekinthető, míg az alacsonyabb nedvességtartalomnál intenzív növekedés tapasztalható. Ez két szakaszra osztható folyamat teljes egészében megegyezik a gyökérszöldségeknél kapott eredményekkel. Az is az energiafelhasználás hasonlóságát erősíti, hogy megfigyelhető a két szakasz közötti átmenet határozottabb kialakulása az alkalmazott mikrohullámú teljesítmény növelésével.

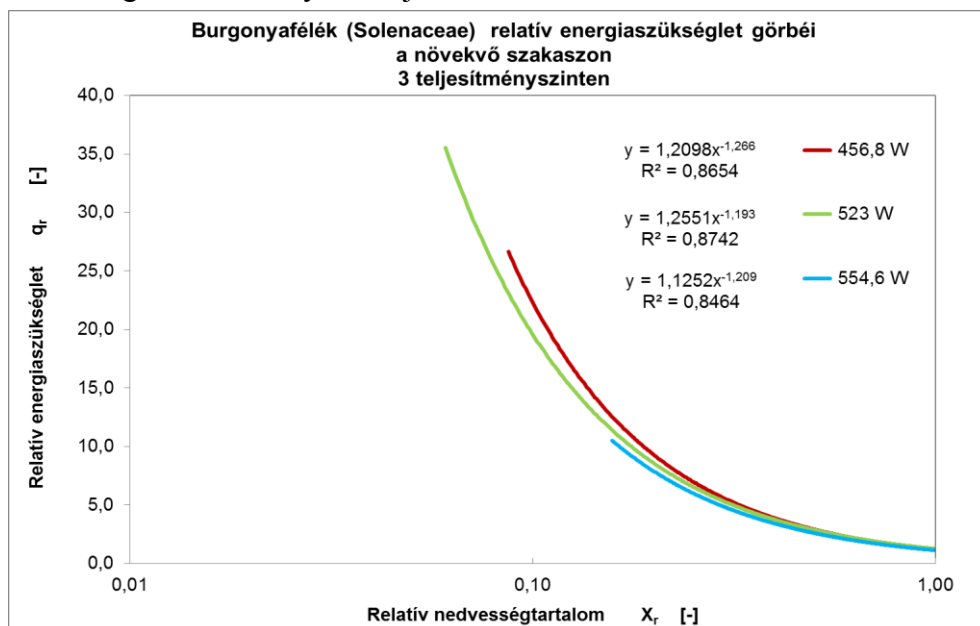
A növekedési szakasz elemzéséhez, a korábbiakhoz hasonló módon, növényenként meghatároztam a két szakasz elválasztó pontjához tartozó nedvességtartalom értéket. Az egyes növények kritikus pontjait összehasonlítva megállapítható, hogy a burgonyafélékre vonatkozó kritikus pont helyzete nem esik oly mértékben egybe, mint ahogyan az a gyökérzöldségeknél tapasztalható volt. Ennek oka egyrészt a kezdeti nedvességtartalomban mutatkozó nagyobb különbségek, másrészt az egyes növények közötti morfológiai eltérés. Ugyanakkor hasonlóan a gyökérzöldségeknél tapasztaltakhoz, a burgonyafélék esetén is megfigyelhető, hogy a kisebb kezdeti nedvességtartalommal rendelkező növények relatív energiaszükséglet görbéi az alacsonyabb nedvességtartalmak tartományában váltanak át az intenzív növekedési szakaszba. A kritikus pont helyének meghatározását követően, csak a növekedési szakaszra is felrajzoltam a diagramokat és megvizsgáltam milyen függvény szerint megy végbe az energiaszükséglet növekedése. Minden esetben látható volt, hogy a függvénykapcsolatot a gyökérzöldségeknél már felírt hatványfüggvénnyel (3.2) tudtam legpontosabban jellemezni.

A vizsgálat utolsó részében az egyes teljesítményszintekhez tartozó relatív energiaszükségleteket hasonlítottam össze. Ehhez azonban a kritikus pontok különböző nedvességtartalmai miatt, a gyökérzöldségeknél már ismertett módon egy kezdőpontot képeztem, amelyhez a relatív nedvességtartalom értékeket meghatároztam. Ezután az 4 növény összes relatív energiaszükségleti pontját a relatív nedvességtartalom függvényében ábrázoltam. Az összes pontra illesztett görbe egyenlete megegyezett a gyökérzöldségek esetén már felírt hatványfüggvénnyel (3.3). Az illesztés pontossága kissé alacsonyabb a gyökérzöldségekhez viszonyítva, ami több okra vezethető vissza. Egyrésztől minden teljesítményszinten megfigyelhető, hogy a paprika relatív energiaszükséglet értékei kissé eltérő, meredekebb tendenciát mutatnak a többi 3 növényhez képest. Ennek oka a szárított minták különbözőségéből adódik. A paprika mintákat nem lehetett tökéletes kocka alakúra vágni a vékonyabb terméshús miatt, ezért az egységnyi mintákból fajlagosan kisebb vízmennyiséget kellett elpárologtatni, amelynek eredményeképpen a nedvesség leadás eltérő módon megy végbe, mint a többi növény esetében. Másrésztől a termények vízleadását befolyásoló morfológiai jellemzők ebben a csoportban nem mutatnak akkora hasonlóságot, mint a gyökérzöldségek esetén.

A 9. ábrán különböző teljesítményszinthez tartozó összesített görbéket együtt ábrázoltam. Az itt látható görbék egyértelműen ugyanazt az összefüggést mutatják a relatív energiaszükséglet és a relatív száraz bázison mért nedvességtartalom között, mint az a gyökérzöldségek esetén látható volt, vagyis a teljesítmény növelésével a relatív energiaszükséglet görbéinek meredeksége csökken. A burgonyafélékre is igaz tehát, hogy a nagyobb

3. Eredmények

mikrohullámú teljesítmény alkalmazása a kritikus pont helyzetét a nagyobb nedvességtartalom irányába tolja el.



9. ábra A Burgonyafélék (Solenaceae) relatív energiaszükséglet görbéi a növekvő szakaszon, 3 teljesítményszinten, a relatív nedvességtartalom függvényében

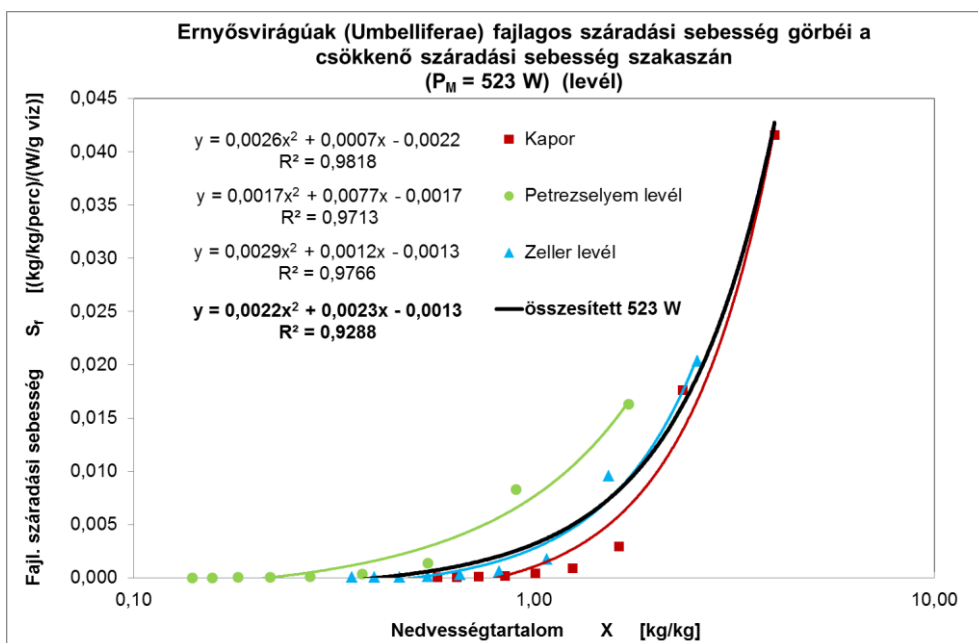
3.4. Az ernyősvirágú levélzöldségek vizsgálata

Az előző fejezetekben a gyökérzöldségek és a burgonyafélék csoportjára adott megállapítások ellenőrzésére az ernyősvirágú növények levélzetének szárítását választottam, mivel a növény ezen része morfológiai felépítésben jelentősen eltér az előző két csoporttól.

A levélzöldségek szárítási módszere részben eltért ugyan a másik két csoport méréseitől, de az így kapott eredmények is alátámasztják a korábbi összefüggéseket. A mikrohullámú mintatér kitöltöttsége a levélzöldségek esetén több mint kétszerese a burgonyafélék vagy gyökérzöldségek térkitöltésének, viszont a minta tömege mindössze 25 g volt a korábbi 80 g-hoz képest.

Az ellenőrzési teljesítményszintnek a középső 523 W-os szintet választottam, kiküszöbölve a túl nagy illetve túl alacsony teljesítményből következő esetleges hátrányokat. Ezen a teljesítményen 3féle levélzöldséget vizsgáltam, amelyek eredményeit a 3.1. fejezetben leírtaknak megfelelően elemeztem ki, majd az eredményeket grafikusán ábrázoltam.

Elsőként a szárításkinetikai görbéket vettem fel, de ebben a növénycsoportban is jelentős eltérések voltak a kezdeti nedvességtartalomban, ezért itt is a nedvességviszony értékeket ábrázoltam a kezelési idő függvényében. A görbék alakja a mikrohullámú energiaközlésnek megfelelően alakul, a kezelés megkezdését követően azonnal meredeken csökken a nedvességtartalom. Az egyes növények görbéi a teljes kezelési idő alatt szinte együtt futnak, vagyis a növénycsoport tagjainak vízleadási intenzitása is nagyon hasonló egymáshoz. A magas kezdeti nedvességtartalom ellenére a kezelési idő mindössze 11 perc volt minden növény esetében, ami a kisebb minta tömegnek köszönhető. A vízleadás hasonlóságára tett megállapítást a fajlagos száradási sebesség görbéi is alátámasztják (10. ábra). Ezen az ábrán egyértelműen látható, hogy az egyes növények fajlagos száradási sebesség értékei is egységesen alakulnak. A teljes csoportra vonatkozó másodfokú összesített függvény – a gyökérzöldségekhez és a burgonyafélékhez hasonlóan - a levélzöldségek esetén is nagy pontossággal illeszthető az összes mérési pontra.



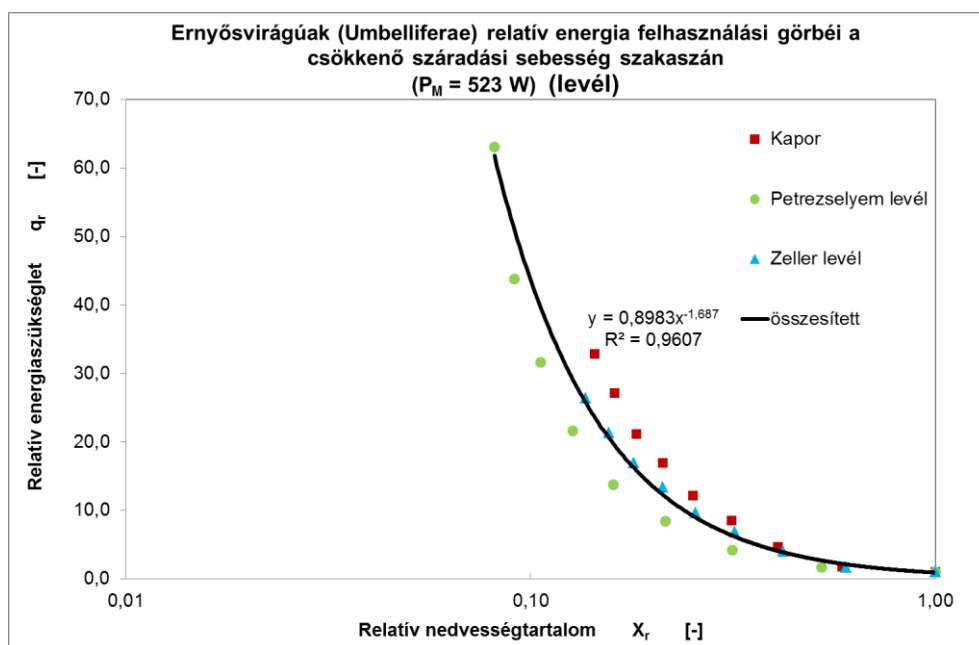
10. ábra Az Ernyősvirágú (Umbelliferae) levélzöldségek fajlagos száradási sebesség görbéi a csökkenő száradási sebesség szakaszán (523 W)

Megszerkesztve a különböző növények relatív energiaszükséglet görbéit a száraz bázison mért nedvességtartalom függvényében, a gyökérzöldségek és burgonyafélék diagramjairól már jól ismert görbe alakot kapjuk, amelynek két jellemző szakaszát itt is jól el lehet különíteni. A levélzöldségek esetén is relatív energiaszükséglet a nagyobb nedvességtartalom esetén állandónak

3. Eredmények

tekinthető, míg az alacsonyabb nedvességtartalom szakaszán intenzív növekedés jellemzi. Az állandó szakasz a levélzöldségek esetén rövidebb, mivel a minta tömege kisebb volt, mint a másik két növénycsoport mérései során, így a fajlagos energiaszükséglet is nagyobb értékre adódik. A kritikus pont - az előző két csoporthoz hasonlóan - alacsony kezdeti nedvességtartalom esetén alacsonyabb, míg nagyobb kezdeti nedvességtartalom esetén magasabb nedvességtartalomnál jelentkezik.

Mindezeket figyelembe véve a növekedési szakaszt mindhárom növényre a már megadott (3.2) egyenlettel lehet jellemezni. A 3 növény összehasonlításához ebben az esetben is felhasználtam a relatív száraz bázison mért nedvességtartalmat. Az így adódó pontokat egy diagramban ábrázolva (11. ábra) megadható a csoportra jellemző relatív energiaszükséglet függvény, amelynek alakja megegyezik a korábban bemutatott két csoportnál használt összefüggéssel (3.3 egyenlet).



11. ábra Az Ernyősvirágú (Umbelliferae) levélzöldségek relatív energiaszükséglet görbéi a növekvő szakaszon, a relatív nedvességtartalom függvényében (523 W)

Összefoglalva a levélzöldségek méréseinek tapasztalatait elmondható, hogy bár a morfológiai felépítése ennek a növénycsoportnak jelentősen eltér a korábban vizsgált növénycsoportokétól, mégis a kapott eredmények ugyanolyan összefüggésekkel jellemezhetők. Ezek az összefüggések csupán az egyes növénycsoportokra jellemző együtthatókban térnek el egymástól.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kísérletek alapján meghatároztam a csökkenő száradási sebesség szakaszára vonatkozóan a fajlagos száradási sebesség és száraz bázisra számított nedvességtartalom közötti függvénykapcsolatot. A függvény egy másodfokú polinommal jellemezhető, amelynek általános alakja:

$$S_f = a \cdot X^2 + b \cdot X + c.$$

Az egyes növénycsoportok együtthatóit az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Magnetron teljesítmény	Növénycsoport	Az egyenlet együtthatói			R ²
		a	b	c	
456,8 W	Gyökérzöldségek	-0,0004	0,0043	-0,0012	0,8552
	Burgonyafélék	-0,0002	0,0041	-0,002	0,7456
523 W	Gyökérzöldségek	-0,0002	0,0046	-0,0016	0,9123
	Burgonyafélék	-0,00004	0,004	-0,0022	0,8152
	Levélzöldségek	0,0022	0,0023	-0,0013	0,9288
554,6 W	Gyökérzöldségek	-0,0004	0,007	-0,0026	0,8787
	Burgonyafélék	0,00008	0,0036	0,0002	0,8935

Az kapcsolatot leíró egyenlet együtthatói egy-egy morfológiai csoport esetében ugyanazt az értéket veszik fel. Ezt az összefüggést meghatároztam ernyősvirágú gyökérzöldségekre, és burgonyafélékre. Ellenőrzésképpen az ernyősvirágú levélzöldségekre is meghatároztam az összefüggést, amely igazolta a megállapításokat. Az egyes csoportok közötti különbséget az együtthatók számszerű meghatározásával lehet megadni.

2. Kísérletekkel bizonyítottam, hogy mikrohullámú szárítás során, a csökkenő száradási sebesség szakasza energetikai szempontból két egymástól jól elkülöníthető szakaszra oszlik. Az első szakaszra a nagyobb nedvességtartalom jellemző és a szárítás relatív energiaszükséglete állandó. A második szakaszt pedig, amelyre az alacsony nedvességtartalom jellemző, egy progresszív függvény jellemzi. Ezt az energia szükségletre jellemző két szakaszt mindhárom vizsgált – morfológiai felépítésében egymástól jelentősen eltérő - növénycsoportnál kimutattam.
3. Kísérletekkel igazoltam, hogy a két energetikai szakaszt elválasztó, kritikus pontjának helyét az alkalmazott mikrohullámú teljesítmény szint és a növénycsoport morfológiai felépítése együttesen határozza meg. Egy-egy morfológiai csoporton belül az alkalmazott teljesítményszint növekedésével, a kritikus pont helyzete a nagyobb nedvességtartalom irányába tolódik el.

4. Új tudományos eredmények

4. Függvénykapcsolatot határoztam meg a relatív energia szükséglet és a relatív száraz bázison mért nedvesség tartalom között, a kritikus pontot követő növekvő energiaszükséglet szakaszára, amelynek általános alakja:

$$q_r = a \cdot X_r^b.$$

A kidolgozott függvény együtthatóit minden vizsgált növényre és növénycsoportra meghatároztam. Mivel a növények morfológiai felépítése meghatározza az energiaszükséglet nagyságát, az egyenlet együtthatóinak megadásával az egymástól eltérő morfológiai csoportok energiafelhasználása megadható. Az egyes növénycsoportok együtthatóit az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Magnetron teljesítmény	Növénycsoport	Az egyenlet együtthatói		R ²
		a	b	
456,8 W	Gyökérzöldségek	0,9028	-1,44	0,9829
	Burgonyafélék	1,2098	-1,266	0,8654
523 W	Gyökérzöldségek	0,823	-1,388	0,9707
	Burgonyafélék	1,2551	-1,193	0,8742
	Levélzöldségek	0,8983	-1,687	0,9607
554,6 W	Gyökérzöldségek	0,9609	-1,208	0,9012
	Burgonyafélék	1,1252	-1,209	0,8464

5. A levélzöldségek mérésével igazoltam, hogy a száradási sebesség görbék alakjára és jellegére, valamint a relatív energiaszükséglet két szakaszára vonatkozó megállapítások - beleértve a növekvő szakasz leíró egyenletének alakját is - függetlenek a mikrohullámú tér kitöltöttségétől. Annak ellenére, hogy kísérletek során a levélzöldségek térkitöltöttségi mutatója jelentősen különbözött a burgonyafélék és a gyökérzöldségek térkitöltésétől, a levélzöldségekre is érvényesek a másik két morfológiai csoportra tett megállapítások.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Kutató munkám során az egyes növénycsoportok száradási tulajdonságait vizsgáltam a mikrohullámú energiaközlés során. A szárítási kísérletek során számos egyéb, további kutatást igénylő kérdés merült fel.

A szárítási kísérleteket 3 féle növénycsoportra végeztem el, de ezen felül további, nagy kezdeti nedvességtartalommal rendelkező növénycsoport részletes vizsgálatát javaslom. Ezzel a jelenlegi kutatások eredményeit lehetne kiterjeszteni, illetve az egyes növénycsoportokra meghatározhatók lennének azok az együtthatók, amelyek a folyamatleíró egyenletekkel, az eredmények ipari célra történő hasznosítását is elősegítené.

Az új tudományos eredmények között meghatároztam a relatív energiaszükséglet növekvő szakaszára vonatkozó összefüggéseket, amelynek leírásához szükség volt az átmenetet jelző kritikus nedvességtartalom meghatározására. A kritikus pont helyzetének megadása az 1 perces mintavételezési időből adódó pontossággal lehetséges. A kritikus pont közeli szakasz részletesebb vizsgálatával a folyamatok pontosíthatók.

Az általam alkalmazott, kifejezetten kísérleti célokra megépített berendezés több féle paraméter pontos rögzítését tette lehetővé, mint amire a háztartási mikrohullámú készülékeken végzett kísérletek esetében lehetőség volt. Ugyanakkor a kísérletek során a kezelőtér fizikai méreteiből adódóan a szárítandó anyag tömege csak kis mértékben volt változtatható, amely így meghatározta a használható mikrohullámú teljesítmény nagyságát is. A kezelőtér átalakításával ez a probléma is orvosolható lenne.

Minden növénytípus esetében fontosnak tartom a mikrohullámú szárítást követő részletes minőségi és beltartalmi érték vizsgálat elvégzését. Mivel ez a jelen vizsgálatok során nem volt szempont, így ezek nem kerültek meghatározásra, de ezek ismerete alapfeltétele az eredmények gyakorlati alkalmazhatóságának. Megismerve a mikrohullámú szárítás felhasználásának határait, létrehozható egy olyan kombinált szárítási eljárás, amely minden szempontból a legkedvezőbb eredmény hozza.

A vizsgálatok során kapott adatok felhasználhatók egy egységes adatbázis elkészítésére a fontosabb mezőgazdasági terményekre vonatkozóan, amely segítségével különböző kezdeti peremfeltételek esetén az anyagok vízleadási folyamatai előre meghatározhatók, illetve ennek részeként, anyagminőségi kritériumok meghatározása a megfelelő paraméterek, és ezek összefüggéseinek megállapítására.

Emellett ez az adatbázis alkalmas lehet az energia- és anyagtranszport folyamatok leírására, illetve jellemzőinek meghatározására a mikrohullámú szárítás során, amelynek segítségével olyan folyamatleíró matematikai modell alkotható meg, amelyben az egyes növények szárítási folyamatát befolyásoló paraméterek szerepe egyértelműen meghatározható.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Disszertációmban célom volt, hogy olyan összefüggéseket határozzak meg a mikrohullámú energiaközlés és a szárított növények kapcsolatára, amelyek nem csak az egyes növények tulajdonságait írják le, de kellő pontossággal jellemzik a teljes növénycsoportot is. Ehhez a mezőgazdasági termények közül olyan növénycsoportokat választottam, amelyek magas kezdeti nedvességtartalommal rendelkeznek, de morfológiai felépítésükben jelentősen eltérnek egymástól.

A kitűzött célok megvalósításához szakirodalmi kutatást végeztem, amely alapján meghatároztam a szárítási folyamatok fontosabb tulajdonságait külön tárgyalva mikrohullámú szárítás során felmerülő problémákat, illetve az energiaközlés formájából adódó sajátosságokat.

Kísérletsorozatot állítottam össze, amelyek során összességében 11 növény egyedi tulajdonságait vizsgáltam, amihez 3 féle teljesítményszint beállítását alkalmaztam.

Az egyes kísérletek eredményeit diagramok formájában mutattam be, amelyek alapján megállapításokat tettem, amelyek az egyes növények mellett a növénycsoportra is érvényesek voltak.

Ezek alapján új tudományos eredményeket határoztam meg a mezőgazdasági termények mikrohullámú szárítási folyamataira vonatkozólag:

Meghatároztam az összefüggést a csökkenő száradási sebesség szakaszán az egyes növények és növénycsoportok fajlagos száradási sebességének és a száraz bázison számított nedvességtartalom között, amelynek formája minden esetben azonos formájú volt, mindössze az együtthatóiban különböztek egymástól.

Bizonyítottam, hogy a relatív energiateljesítmény a csökkenő száradási sebesség szakaszán nedvességtartalomtól függően egy állandó és intenzíven növekedő szakaszra osztható, amelyek egymástól jól elkülöníthetőek.

A kísérleti eredmények alapján kimutattam, hogy a két szakaszt elválasztó kritikus pont helyzetét az alkalmazott teljesítmény és a növény morfológiai kialakítása együttesen befolyásolja.

Összefüggést határoztam meg a relatív energiaszükséglet növekedési szakaszának leírására, amelyhez a szükséges együtthatókat is meghatároztam minden növényre és növénycsoportra.

Végül a levélzöldségeken végzett ellenőrző mérésekkel igazoltam, hogy a kapott eredmények nem függenek a mikrohullámú mintatér kitöltöttségétől.

A kutatási folyamat során felmerült észrevételeimet és megjegyzéseimet is ismertettem, amelyek a kutatás folytatásának lehetséges irányára és az eredmények gyakorlati hasznosítására adnak javaslatot.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT
PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven

1. Beke J., Bihercz G., **Kurjác Z.** (2007): Simulation of drying process of corn kernels during microwave and convective treatment. *Asia Pacific Journal of Chemical Engineering*, 2007. (2), pp. 75-82.
2. Beke J., **Kurjác Z.** (2010): Development of vegetable drying process by combining convective and microwave methods. *Mechanical Engineering Letters*, Vol. 4. pp. 50-64. (HU ISSN 2060-3789)
3. Beke J., **Kurjác Z.**, Bessenyei K. (2011): Analysing the microwave drying process of potato, apple and onion samples from energetic point of view. *Mechanical Engineering Letters*, Vol. 6. pp. 59-73. (HU ISSN 2060-3789)
4. **Kurjác Z.**, Barhács A., Beke J. (2012): Energetic analysis of drying biological materials with high moisture content by using microwave energy. *Drying Technology*, Vol. 30, (3), pp. 312-319. (ISSN 0737-3937 Print; 1532-2300 Online) (IF: 1.814)
5. Beke J., **Kurjác Z.**, Bessenyei, K. (2014): Enhanced drying due to nonthermal effects from microwave irradiation. *Drying Technology*, Vol. 32, (11), pp. 1269-1276. (ISSN 0737-3937 Print, 1532-2300 Online) (IF: 1.518)

Lektorált cikk magyar nyelven

6. Bihercz G., **Kurjác Z.** (2003): Sárgarépa- és paradicsomminták konvektív és mikrohullámú szárítási folyamatainak összehasonlítása. *Mezőgazdasági technika*, 2003. augusztus, 2-5. o.
7. Beke J., **Kurjác Z.**, Bessenyei K. (2012): Konvekciós szárítási modellek alkalmazási lehetőségei a mikrohullámú szárítási folyamatokban. *Mezőgazdasági technika*, 2012. július, 30-32. o.
8. **Kurjác Z.**; Bessenyei K. (2014): Morfológiai hatások a száradási folyamatban konvektív és mikrohullámú energiaközlés esetén. *Mezőgazdasági technika*, 2014. június, 2-5. o.