



DEBRECENI EGYETEM  
AGRÁR- ÉS MŰSZAKI TUDOMÁNYOK CENTRUMA  
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR

**NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI TUDOMÁNYOK  
DOKTORI ISKOLA**

*Doktori Iskola vezető:*

**Dr. Győri Zoltán**

MTA doktora

*Témavezető:*

**Dr. Szász Gábor**

MTA doktora

**DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**A HAZAI RIZSTERMESZTÉS  
AGROMETEOROLÓGIAI VONATKOZÁSAI**

*Készítette:*

**Gombos Béla**

*doktorjelölt*

**Debrecen**

**2008**

## 1. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A rizs (*Oryza sativa* L.) termesztése hazánkban közel egy évszázados múltra tekint vissza. A vetésterülete – igen gyors fejlődésen keresztülmenve – az 1950-es évek közepére érte el az 50000 ha körüli csúcspontját, majd átmeneti fellendülésekkel megtörve, de fokozatosan visszaesett napjaink 2000-2500 ha-os szintjére. Ezek az óriási változások részben gazdaságpolitikai okokra vezethetők vissza, azonban egyértelmű, hogy a meglévő éghajlati kockázat, illetve annak változó megítélése is fontos szerepet játszott.

A hazai szántóföldi növénytermesztésben a rizs speciális helyet foglal el, ugyanis a magyarországi termőterületek jelentik Európában a rizstermesztés északi határát. A marginális helyzetből adódik, hogy a hőmérséklet gyakran előlép elsőszerű termésmeghatározó tényezővé az ökológiai minimum-törvény értelmében. Ez a jelenség csak fokozódik magasszintű termesztéstechnológia alkalmazása esetén, amikor egyéb tényezők (talajállapot, tápanyagellátottság, gyommentesség, növényvédelem, vízellátás, stb.) a rizs számára közel optimálisan alakulnak. Így, akár csak egy kis előrelépés az éghajlati (hőmérsékleti) adottságok kihasználásában, illetve a kedvezőtlen időjárási hatások csökkentésében is jelentős termésnövekedést eredményezhet.

Kutatásommal arra vállalkoztam, hogy - egyfajta hiánypótlásként – a hazai rizstermesztés különböző agrometeorológiai vonatkozásait vizsgáljam. A kutatás középpontjában kiemelt jelentősége miatt a hőmérséklet rizsre gyakorolt hatásának vizsgálata és a hőmérsékleti viszonyok elemzése áll, a következő konkrét kérdéskörök köré csoportosulva:

- Hogyan befolyásolja az időjárás (hőmérséklet) a rizs fejlődési ütemét, illetve az egyes fenofázisok hosszát?
- Melyek a termést leginkább meghatározó meteorológiai elemek és időszakok?
- Történtek-e olyan változások az utóbbi 3 évtizedben a rizs tenyészidőszakának hőmérsékleti viszonyaiban, amelyek módosíthatják a korábbi termesztési javaslatokat?
- Milyen hőmérsékleti sajátosságokat mutat az árasztóvíz, illetve az árasztott- és a szárazrizs állomány légtere, különös tekintettel az éjszakai lehülésekre?
- Hogyan csökkenthető a hidegstressz kockázata az árasztóvíz szabályzásával?
- Hogyan minimalizálható az időjárási kockázat az érzékeny fenológiai fázisok megfelelő időzítésével (vetésidő, fajta)?

Ezen témaköröket a lehetőségek figyelembevételével úgy válogattam össze, hogy azok egymással több ponton is kapcsolódjanak, egységet alkossanak. Különösen az utolsó téma az, amelyik feltételezi, illetve szintetizálja a többi részeredményt.

Céлом volt, hogy az egyes kérdésekhez kapcsolódó részeredmények önmagukban is hasznos, új vagy újszerű információt, illetve módszert szolgáltatassanak a rizstermesztésben érdekelték számára.

## **2. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI**

A hazai rizskutatás a honosítási kísérletekkel kezdődött. Már ekkor alapvető kérdés volt, hogy éghajlatunk mennyire alkalmas rizstermesztésre, de a problémát jellemzően a fajta, illetve az agrotechnika oldaláról közelítették meg. A későbbiekben, főleg az 1950-es, 60-as és 70-es években viszont már folytak kifejezetten a rizs agrometeorológiájával foglalkozó kutatások is.

A csírázás, a kelés minimális hőmérsékletigényéről és ez alapján az optimális vetésidőről született megállapítások a mai napig elfogadottak (SZELÉNYI és FRANK, 1940; É. KISS és HADNAGY, 1965; LAJTOS, 1967; SIMONNÉ, 1979), de aktualizálásuk időszzerűvé vált. A kelési idő hőmérséklettől való függése nincs kellő részletességgel feltárva.

A virágzásig, illetve érésig szükséges (effektív, aktív) hőösszegigény meghatározása olyan fajták esetén történt meg, amelyek már többnyire nincsenek köztermesztésben (É. KISS, 1980; SIMONNÉ, 1983). A hőösszeg módszer optimalizálása nem történt meg.

A meteorológiai elemek termésre gyakorolt hatását havi, vagy fenofázisonkénti (főleg hőmérsékleti, napsugárzási, csapadék) adatok, illetve ezekből származtatott indexek segítségével becsülték. Az összefüggések a vizsgálatba bevont évektől függően eltéréseket mutatnak (SZÁSZ, 1961; DUNAY, 1974; É. KISS, 1980).

Hazánk rizstermesztésre alkalmas területeinek kijelölése és osztályozása éghajlati adatok alapján (pl. középhőmérséklet, hőösszeg, relatív napfénytartam) megtörtént (OBERMAYER és SOMORJAI, 1937; BACSÓ, 1963; DUNAY, 1974; SIMONNÉ, 1983). Hiányzik azonban az éghajlat részletes statisztikai vizsgálata a rizstermesztés szempontjából.

A rizsállomány mikroklímáját - beleértve az árasztóvíz hőmérsékleti sajátosságait - korábban többen tanulmányozták (BERÉNYI, 1951; WAGNER, 1957; BERÉNYI, 1958; PETRASOVITS, 1958; WAGNER, 1966). Az eredmények főként leíró jellegűek.

Az utóbbi 20-30 évben a tudomány és a vizsgálati módszerek fejlődése ellenére hazánkban alig voltak a rizs agrometeorológiáját érintő kutatások. A nemzetközi szakirodalom viszont főként napjainkra egyre bőségebbé vált. Különösen azokra a kutatási eredményekre támaszkodtam, amelyek a magyarországihoz legalább részben hasonló éghajlati viszonyokra érvényesek (pl. hidegstressz vizsgálata Japánban, Dél-Ausztráliában), vagy amelyeknél nincs jelentősége a földrajzi helynek (pl. módszertan, hőösszeg-számítás). Hasznos információt szolgáltatottak más növényekről szóló kutatások is, amennyiben az eredmények átvihetők voltak a rizsre (főleg módszerek).

### 3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

A vizsgálati anyag és módszer sokszínűséget mutat az összetett kutatási téma következtében.

Saját kísérletet állítottunk be a **rizs kelési vizsgálatához**. Különböző állandó hőmérsékleten (klímaszékrenyben), 5 hazai fajtára (Augusta, Bioryza, Dáma, Ringola, Risabell), optimális vízellátottság és 2 cm-es vetésmélység mellett határoztuk meg a kelési időt. Az adott hőmérsékletekhez tartozó kelési ütemből, regressziós egyenes-illesztéssel határoztuk meg a kelést legjobban leíró lineáris hőösszeg modell paramétereit (bázishőmérséklet: x-tengelymetszésből, hőösszeg-igény: meredekségből). A létrehozott modell verifikációjához szabadföldi kispárcellás kísérletek (9 időpontban végzett szakaszos vetés, kéttényezős osztott parcellás), illetve tenyészedenyes (3, közel állandó hőmérsékleten) vetések szolgáltatottak adatokat.

A **mikroklíma vizsgálatok** is csaknem kizárólag saját mérési programokra épültek. Összesen 23 db hőmérsékleti adatgyűjtő, illetve érzékelő felhasználásával folytattunk méréseket reprezentatív árasztott és árasztás nélküli rizsállományokban, talajban, vízben (csak az árasztottnál), az állományok légterében és afelett. 2005-ben még szűkített mérési programmal indultunk, amelyet 2006 tenyészidőszakára bővítettünk teljessé. A mérések különböző szintekben, a közegtől függően 5, 10 vagy 20 perces gyakorisággal történtek.

A különféle mikroklíma vizsgálatok többsége empirikus, leíró jellegű volt. Igen nagy adatbázis felhasználásával, de viszonylag egyszerű statisztikai módszerekkel (szélsőérték- és átlagszámítás, korreláció- és regresszióanalízis) végeztük a vizsgálatokat Microsoft Excel táblázatkezelő program segítségével.

A **vízhőmérséklet modellezésére** egy újszerű dinamikus-empirikus módszert alkalmaztunk. A modell fizikai folyamatokkal hozható összefüggésbe, természetes időlépcsőkben követi a hőmérséklet változását, amelyet empirikus módon számol. Fontosnak tartottuk, hogy a modell egyszerűen hozzáférhető „normál” meteorológiai adatokból határozza meg a vízhőmérsékletet (napi minimumát és maximumát). A modell parametrizációja 2006-os, a verifikációja (független adatsoron) 2005-ös méréseink alapján történt.

A **kelés-virágzás időszak tartamának hőmérsékletfüggését** az Öntözési Kutatási Intézetben végzett fajtakísérletek 9 éves fenológiai adatsora alapján határoztuk meg. Megbízható összefüggések megállapításához legalább ennyi év szükséges, ezért tekintettünk el a saját kísérletek beállításától. A hazai vizsgálatokban újszerű, három (különböző jellegű) bilineáris hőösszeg módszert alkalmaztunk a fázishossz leírására. A modell parametrizációja szintén táblázatkezelő program segítségével történt a variációs koefficiens minimalizálásával. A paraméterek érzékenységvizsgálatához egy újszerű grafikus módszert használtunk.

Az **időjárás-termés kapcsolat elemzése** szintén hosszú adatsort igényelt (Békés megyei termésátlagok KSH statisztikai évkönyvekből, illetve az OMSZ Szarvasi Agrometeorológiai Obszervatórium meteorológiai adatai, 26 éves adatsor). Korrelációanalízis, többváltozós lineáris regresszió (Systat 9) és modell verifikáció alkotta a vizsgálatok érdemi részét.

Szarvasi napi hőmérsékleti adatok (1976-2007, OMSZ, majd Tessedik Sámuel Főiskola) alapján nyílt lehetőség a különböző **hőösszeg- és „hidegösszeg”-számításokra**, a **kritikus időszakok statisztikai vizsgálatára**, az **éghajlati trendek kimutatására** és a különböző **vetési időpontok kockázatelemzéssel** történő értékelésére. Ezek közül az utóbbi volt a legösszetettebb feladat, mely igényelte a saját hőösszeg modellek felhasználását is.

A vizsgálatok közül külön kiemeljük a bilineáris hőösszeg modelleket és a vízhőmérséklet dinamikus-empirikus modellezését, amelyek módszertanilag is önálló értéket képviselnek.

## 4. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

### 4.1. A hőmérséklet hatása a rizs fejlődésére

- A vizsgált 5 hazai rizsfajta átlagában a kelési idő ( $E_{50}$ ) a 14-34 °C intervallumban folyamatosan csökken, egyre lassuló ütemben. Az átlagos kelési idő 14 °C-on még 23,9 nap (kedvezőtlen), 16 °C-on már „csupán” 13,4 nap (elfogadható) (1. táblázat). Ez azt jelenti, hogy itt egy 2 °C-os hőmérsékleti növekedés „minőségi” változást okoz a kelés szempontjából. A rizsfajták összehasonlítása ebben a tartományban nyújtja a leghasznosabb információt a kelési erélyre vonatkozóan. A 26-34 °C-os hőmérsékleti intervallumban ugyan szignifikáns, de kis különbségek (<1 nap) figyelhetők meg az egyes  $E_{50}$  értékek között. Ez a hőmérsékleti tartomány a rizs kelése szempontjából optimálisnak tekinthető, a fajták átlagában 3,3 – 4,4 nap a kelési idő.

1. táblázat. A vetéstől az 50%-os kelési állapot eléréséig szükséges idő a fajták átlagában

Hőmérséklet (°C)	$E_{50}$ (nap)
14	23,9 j
16	13,4 i
18	10,6 h
20	7,3 g
22	6,6 f
24	5,1 e
26	4,4 d
28	4,3 d
30	3,7 c
32	3,5 b
34	3,3 a

Az azonos betűvel jelölt  $E_{50}$  értékek szignifikáns különbséget nem mutatnak (Tukey-teszt,  $P = 0,05$ ).

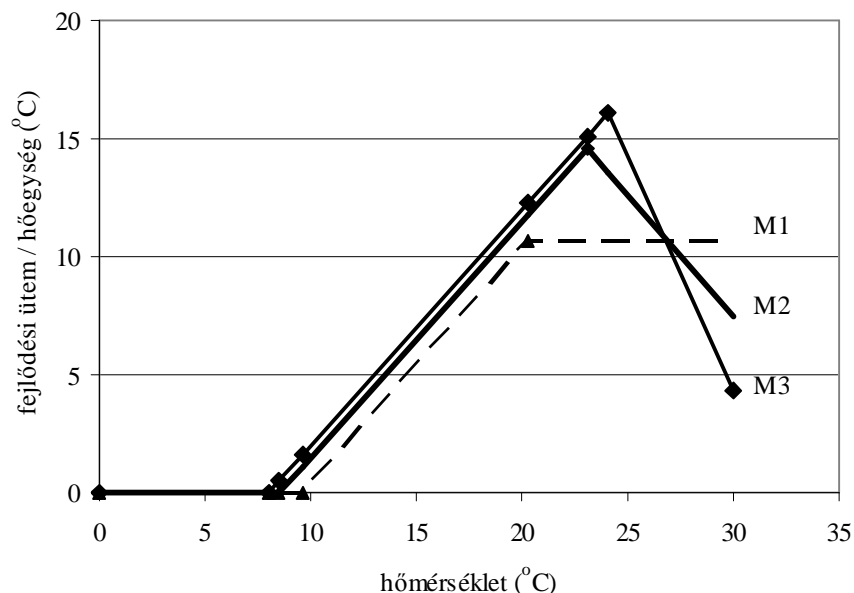
- Az 5 hazai rizsfajta mindegyike esetén szoros összefüggést találtunk a hőmérséklet és a kelési ütem között (2. táblázat). Az ebből származtatott lineáris hőösszeg-modell nagy pontossággal becsli a kelési időt ( $R^2 = 0,98-0,99$ ). A bázishőmérséklet értéke 9,8 °C (Bioryza) és 10,9 °C (Risabell) között alakul. Az egyes fajták közötti különbség jellemzően kisebb, mint 1 °C, ami nem szignifikáns. Ezek az értékek kissé alacsonyabbak, mint a hazai szakirodalomban a fajtákra és a fenofázisokra egységesen elfogadott 12 °C. Figyelembe véve

a talajhőmérsékletben lévő inhomogenitást, a jó csírázási erélyt mutató vetőmag és fajták esetén a hőösszeg-modell paramétereit  $T_b = 10\text{ °C}$ ,  $EHI = 70\text{ °Cnap}$  értékre egyszerűsíthetők.

2. táblázat. Az egyes fajták kelésére vonatkozó hőösszeg-igény (EHI) és bázishőmérséklet ( $T_{\text{bázis}}$ )

Fajta	$T_{\text{bázis}}\text{ (°C)}$	EHI (°Cnap)
Augusta	10,1	70
Bioryza	9,8	88
Dáma	10,6	73
Ringola	10,9	70
Risabell	10,8	69

- A keléstől virágzásig szükséges időtartam hosszát háromféle bilineáris modellel közel azonos hatékonysággal sikerült leírni. Az egyes modelleket reprezentáló függvények láthatók az 1. ábrán. Ezek mindegyike pontosabb, mint a hagyományos lineáris modell, amiből arra lehet következtetni, hogy bizonyos napi középhőmérséklet felett a fejlődési ütem már nem nő tovább, sőt csökken a hőmérséklet emelkedésével. A hőmérsékleti optimumra kapott - a módszer függvényében  $23,5\text{-}24,1\text{ °C}$  - viszonylag alacsony értékek újszerű információt szolgáltatottak a rizs éghajlati igényéről. Emiatt szükségesnek tartjuk a magas hőmérséklet hatásának jövőbeni részletes vizsgálatát.



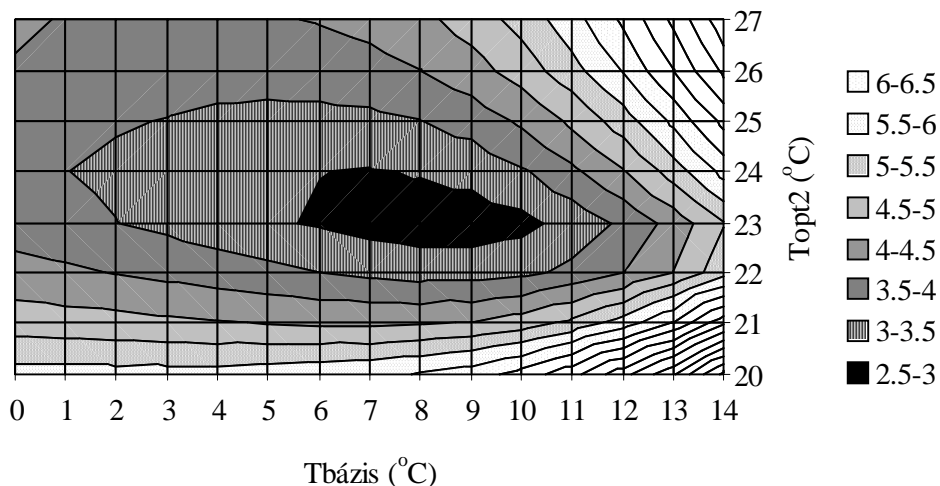
1. ábra. A három bilineáris modell jelleggörbéje optimalizált paraméterek esetén

A modellekhez optimalizált bázishőmérsékletek ( $8,0\text{-}9,6\text{ °C}$ ) alacsonyabbak, mint a hazai irodalomban elfogadott  $12\text{ °C}$ . Az eltérő eredmények magyarázata, hogy az általam

kapott értékek napi középhőmérsékletet jelentenek, amelyek esetén a hőmérséklet a nappali órákban nagy valószínűséggel belép a rizs fejlődése szempontjából elégséges hőmérsékleti tartományba (meghaladja a 12 °C-t).

- A bilineáris modellek bemutatásával javaslatot tettünk arra, hogyan lehet fenológiai adatok birtokában az adott ökológiai körülményekre érvényes, tetszőleges fajra és fenofázisra vonatkozó, fajtaspecifikus hőösszeg-modellt parametrizálni a variációs koefficiens minimalizálásával. Természetesen felhívjuk a figyelmet a saját fenológiai megfigyelések hasznosságára.

Az alkalmazott kiegészítő grafikus eljárásunk egy egyszerű új módszer a paraméterek érzékenységvizsgálatára. Példaként bemutatjuk, hogyan változik a hőösszeg CV értéke az egyik bilineáris modellnél különböző bázishőmérséklet-optimumhőmérséklet kombinációk esetén (2. ábra). Az ábra segítségével megállapítható, hogy az adatokban rejlő pontatlanság esetén (ami többé-kevésbé mindig jelen van), hogyan célszerű a paramétereket megválasztani.

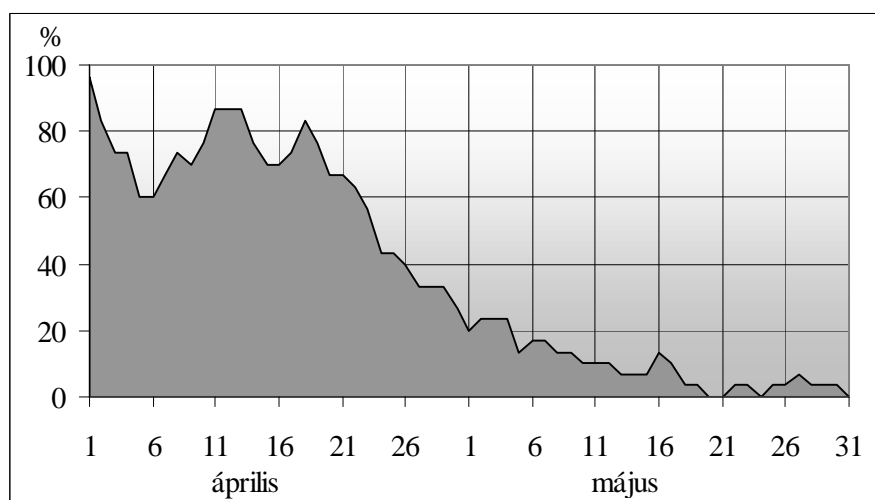


2. ábra. A hőösszeg variációs koefficiensének változása különböző bázishőmérséklet és optimumhőmérséklet kombinációk esetén (2. Módszer)

#### 4.2. A kritikus fejlődési szakaszok meteorológiai vizsgálata

- A hőmérsékleti szempontból kritikus időszakok vizsgálatánál megállapítottuk, hogy április első dekádja nem ritkán kedvező időjárású, és elhamarkodott vetésre készítheti a rizstermelőket (direktvetés). A későbbiekben azonban igen nagy valószínűséggel kedvezőtlené válik az időjárás, nagyon elhúzva ezzel a kelésidőt. Április 20. után (az évek átlagában) viszont már töretlen a melegedés (3. ábra).





3. ábra. A 12 °C alatti pentád-középhőmérsékletek relatív gyakorisága Szarvason

A kelést leíró lineáris hőösszeg modell felhasználásával számszerűen meghatároztuk az egyes vetési idők esetén a károsan elhúzódó kelés kockázatát, ezzel új információt szolgáltatva a hazai rizstermesztéshez (3. táblázat).

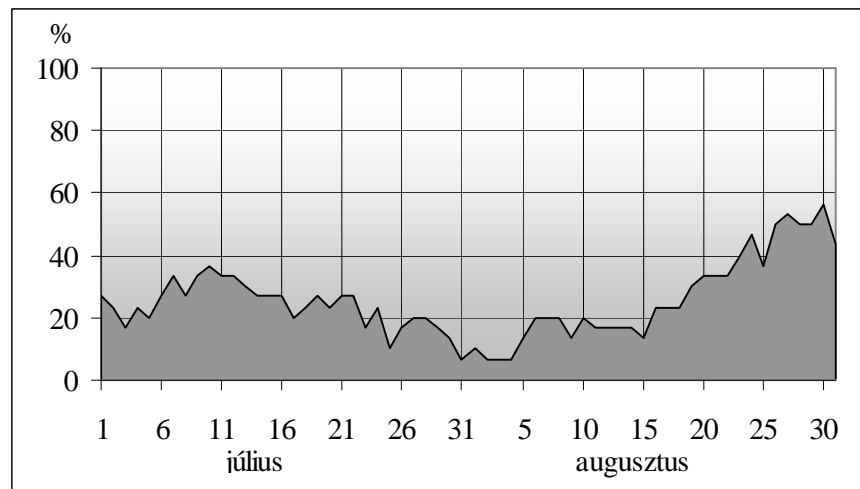
3. táblázat. A 3 hetet és 1 hónapot elérő kelési idő (KI) előfordulási gyakorisága 32 év alatt (1976-2007) különböző vetési időpontok esetén

	Ápr. 1.	Ápr. 10.	Ápr. 15.	Ápr. 20.	Ápr. 25.	Ápr. 30.
KI ≥ 21 nap	30	22	16	11	5	3
KI ≥ 30 nap	14	8	6	2	1	0

Javaslatunk a legkorábbi vetési időpontra a következő: elsődlegesen a már elfogadhatónak talált április 20-i dátumból kell kiindulni, csupán kedvező (> 15 °C) talajhőmérséklet és prognosztizált tartós meleg esetében lehet ettől maximum 1 héttel korábban elkezdni a vetést. Véleményünk szerint még korábban akkor sem célszerű vetni, ha a talaj kellően felmelegedett, hiszen több mint 50% valószínűséggel 3 hétnél tovább húzódik a kelés.

- A bugasterilitás szempontjából fontos megállapítás, hogy a kedvezőtlenül hűvös (minimumok pentád átlaga <14 °C) időjárás valószínűsége július végén – augusztus elején a

legkisebb. A vetésidő és fajta megválasztásával a rizs legérzékenyebb fejlődési szakaszait lehetőleg ekkorra kell időzíteni (4. ábra).



4. ábra. A 14 °C alatti minimumok (pentád átlag) relatív gyakorisága Szarvason

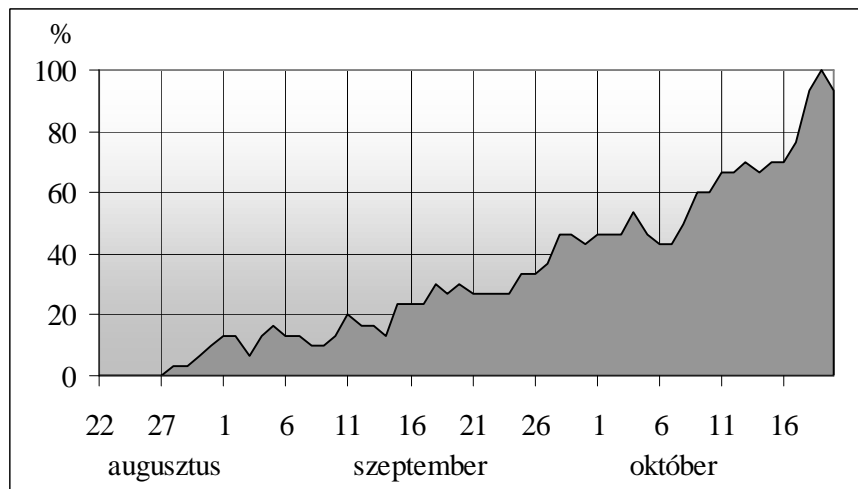
Bilineáris hőösszeg-modell alkalmazásával megállapítottuk, hogy a korai rizsfajtáknál a május közepi vetés esetén is legkésőbb augusztus első dekádjára esik a virágzás (32 évből 14 évben (44%) augusztus eleje, 18 évben (56%) július), ami még kedvező. Mivel a kései rizsfajták hazánkban jellemzően 10-15 nappal később virágoznak, itt már számolni kell a hidegstressz növekvő kockázatával.

A korai fajták vetését nem célszerű április 20. körül elvégezni, hiszen akkor jellemzően július elejére tevődik a virágzás, illetve az azt megelőző érzékeny időszak, ami kissé kedvezőtlenebb a hónap végénél. Korai vetésnél érdemes kissé hosszabb tenyészidejű fajtát vetni.

- Az érés számára kedvezőtlenül hűvös időjárás (maximumok pentád átlaga <20 °C) valószínűsége augusztus végétől (0%) közel lineárisan növekszik az október 20. körüli csaknem 100%-os értékhez (5. ábra).

A vetés idejét addig szabad kitolni, hogy a rizs (egy kis biztonsági tartalékkal) október 10-ig beérjen. A számítások szerint a gyorsabb vízleadású, így rövidebb érési idejű fajtáknál (I. érési típus, EHI = 500 °Cnap) a május 25-i vetés, a hosszabb érési idejű fajtáknál (II. érési típus, EHI = 560 °Cnap) a május 20-i vetés esetén 5 évből 1 alkalommal bizonytalan az érés (4. táblázat). Ez a kockázat még vállalható annak tudatában, hogy többletköltséggel (szárítás) és többletvesztéssel (betakarítás) a problémás eset megoldható. A hosszabb tenyészidejű

hazai fajtáknál május 10. (I. típus), illetve május 5. (II. típus) a javasolt legkésőbbi vetési időpont.



5. ábra. A 20 °C alatti maximumok (pentád átlag) relatív gyakorisága Szarvason

4. táblázat. A kedvezőtlenül kitolódó érés (a rizs nem érkezik be október 10-ig) relatív gyakorisága az utóbbi 32 évre vonatkozóan (1976-2007) különböző vetésidők esetén

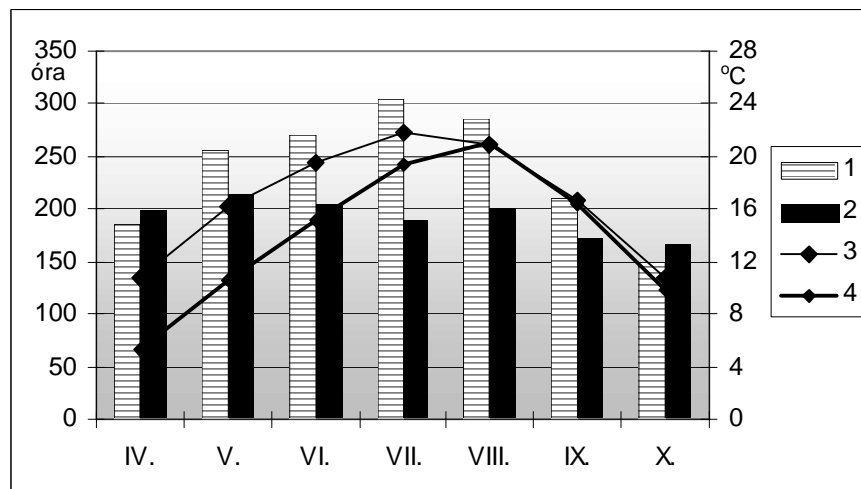
	Máj. 1.	Máj. 5.	Máj. 10.	Máj. 15.	Máj. 20.	Máj. 25.
Korai virágzás, I. érési típus	0	3	6	6	6	16
Korai virágzás, II. érési típus	6	6	6	6	22	28
Kései virágzás, I. érési típus	6	6	12	31	43	59
Kései virágzás, II. érési típus	12	19	31	43	66	81

A megadott dátumok talajba vetésre és teljes beérésre vonatkoznak. Vízbbe, illetve felszínre vetésnél, előre beáztatott vetőmag felhasználásával a vetésidő néhány nappal kitolható. A kései vetéseknél azonban mindenképp célszerű a korai virágzású fajtákat előnyben részesíteni.

#### 4.3. Az időjárási elemek hatása a rizs termésére

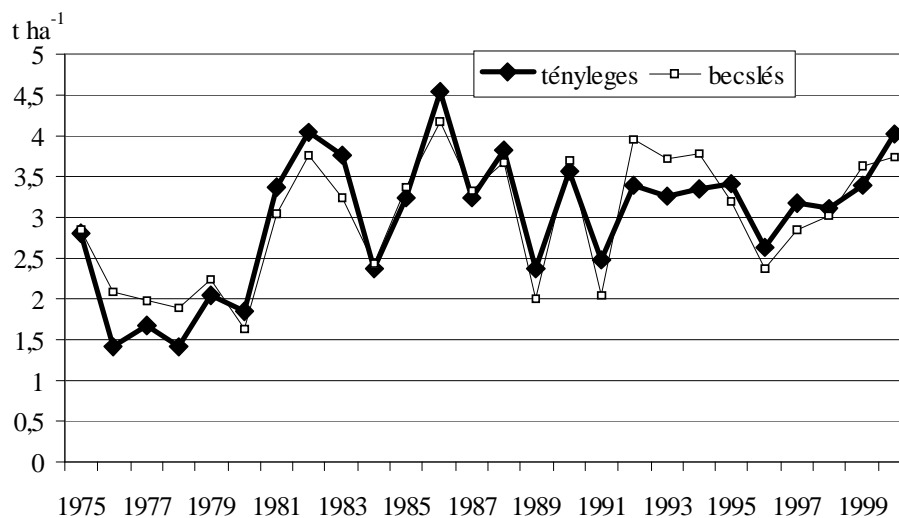
- Az időjárási elemek és a rizs termésátlaga között megállapított összefüggések mindig szigorúan csak a vizsgált területre érvényesek. Ezt, továbbá a hazai éghajlati potenciálban rejlő kihasználatlan tartalékokat bizonyítja, hogy a hazainál lényegesen kevesebb napsütés, és

a tenyésztésidőszak nagy részében alacsonyabb hőmérséklet mellett Japán északi szigetén (Hokkaido) a hazainál 1-2 t/ha-ral magasabb termésátlag jellemző (6. ábra).



6. ábra. A napfénytartam havi átlagos összege Szarvason (1) és Sapporoban (2), valamint a havi középhőmérsékleti értékek Szarvason (3) és Sapporoban (4)

- A Békés megyei termésátlagot havi középhőmérséklet és napfénytartam adatokból többváltozós lineáris regresszióval, – a paraméterek számától függően - 0,5-0,6 t/ha standard hibával lehetett becsülni (7. ábra).



7. ábra. A tényleges és a regressziós összefüggéssel becsült termésátlagok alakulása Békés megyében

A korábbi hazai vizsgálatoktól részben eltérően megállapítottuk, hogy a havi középhőmérséklet és napfénytartam hasonló jelentőséggel bír a termés mennyisége szempontjából (5. táblázat).

5. táblázat. Az időjárási elemek és a megyei termésátlag közötti korrelációs együtthatók értéke

	április	május	június	július	augusztus	szeptember
Csapadék	-0,04	-0,32	-0,16	0,05	-0,14	0,03
Napfénytartam	0,57 <sup>xx</sup>	0,54 <sup>xx</sup>	0,23	0,51 <sup>xx</sup>	0,64 <sup>xxx</sup>	0,39 <sup>x</sup>
Hőmérséklet	0,30	0,49 <sup>x</sup>	0,23	0,39 <sup>x</sup>	0,63 <sup>xxx</sup>	0,32
Maximum hőm.	0,24	0,40 <sup>x</sup>	0,18	0,36	0,51 <sup>xx</sup>	0,14
Minimum hőm.	0,32	0,52 <sup>xx</sup>	0,30	0,41 <sup>x</sup>	0,62 <sup>xxx</sup>	0,41 <sup>x</sup>

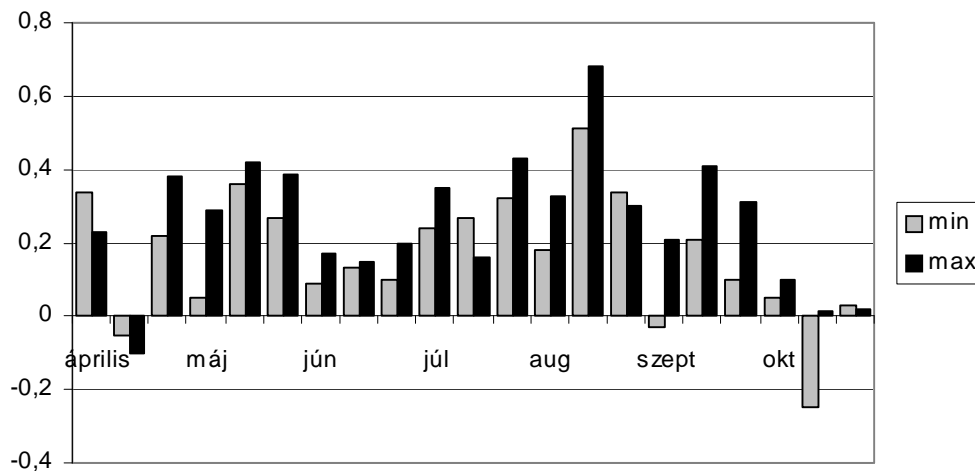
Szignifikanciaszint: <sup>x</sup>: P=5%, <sup>xx</sup>: P=1%, <sup>xxx</sup>: P=0,1%

A maximumhőmérséklet szorosabb kapcsolatban van a termésátlaggal, mint a minimumhőmérséklet. Legmeghatározóbb az augusztus időjárása, ezt követi a május, majd a július. A kelési időszak időjárását a korábbi eredményekhez képest fontosabbnak, míg a júliust valamivel kevésbé jelentősnek találtuk, felhívva a figyelmet a vetésidő helyes megválasztására. A júliusnál egyértelműen fontosabb szerepet játszó augusztusi időjárás arra enged következtetni, hogy a reprodukív szakasz első felében a hidegstressz miatt kialakuló virágsterilitásnál gyakoribb káros hatás a hűvös, felhős augusztusban fellépő „ködkár”, illetve bruzóne betegség.

- A dekádonként számított korrelációkkal a szakirodalomban fellelhetőnél részletesebben tártuk fel a hőmérséklet termésalakító szerepét. Kiemelkedő jelentőségű az augusztus középső dekádja, de szignifikáns kapcsolatban van a terméssel az április végének, május közepének és végének, továbbá július utolsó dekádjának a hőmérséklete is (többnyire csak a maximum) (8. ábra).

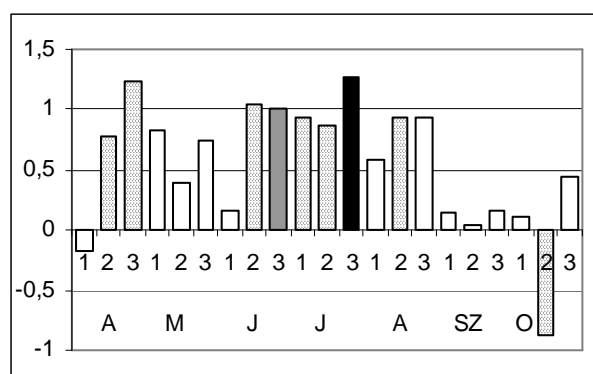
A terméssel csupán augusztusban korrelál szorosabban a „hidegösszeg”, mint a hőmérsékleti minimum, maximum, vagy átlag. Ez is csak magas hőmérséklettől lefelé számított „hidegösszegekre” igaz. A rövid ideig tartó lehülések irreverzibilis károsodást okozó hatását nem sikerült kimutatnunk. Az eredmény arra utal, hogy a termésátlag

pontosabb becsléséhez a túlságosan magas hőmérsékletek torzító hatását célszerű „kiszűrni” a havi adatokból.



8. ábra. A rizs termésátlaga és a napi minimum- (min), illetve maximumhőmérsékletek (max) dekád átlaga közötti korrelációs együtthatók értéke (1976-2000)

- Az utóbbi 32 év hőmérsékleti trendjeit vizsgálva megállapítottuk, hogy mind a tavaszi felmelegedés, mind az őszi lehülés egyre hirtelenebbül következik be, markánsabb keretet adva ezzel a rizs tenyészidőszakának. Ugyanakkor a tenyészidőszakon belüli emelkedő hőmérsékleti trendek a rizs gyorsabb fejlődését, kedvezőbb kelési viszonyokat és a steril típusú hidegstressz kisebb valószínűséggel történő felléptét eredményezik (9. ábra).



9. ábra. A dekád középhőmérsékletek változása az 1976-2007 időszakban Szarvason (°C/10 év). Az oszlopok színe a szignifikanciaszintet jelöli. Fehér: nem szignifikáns trend, pontozott: P=5%, szürke: P=1%, fekete: P=0,1%

Feltételezve, hogy a bemutatott tendenciák a közeljövőben is folytatódnak, a korábbi évek tapasztalatai alapján levont következtetéseknél valamivel megengedőbbek lehetünk. A vetésidő mindkét irányba kissé kitolható, azaz a korai (április 15-25.) és kései (május 25-ig) vetések is nagyobb valószínűséggel lesznek problémamentesek, illetve a hosszabb tenyészidejű fajták is nagyobb biztonsággal termesztethetők.

#### **4.4. A rizsállomány mikroklímája**

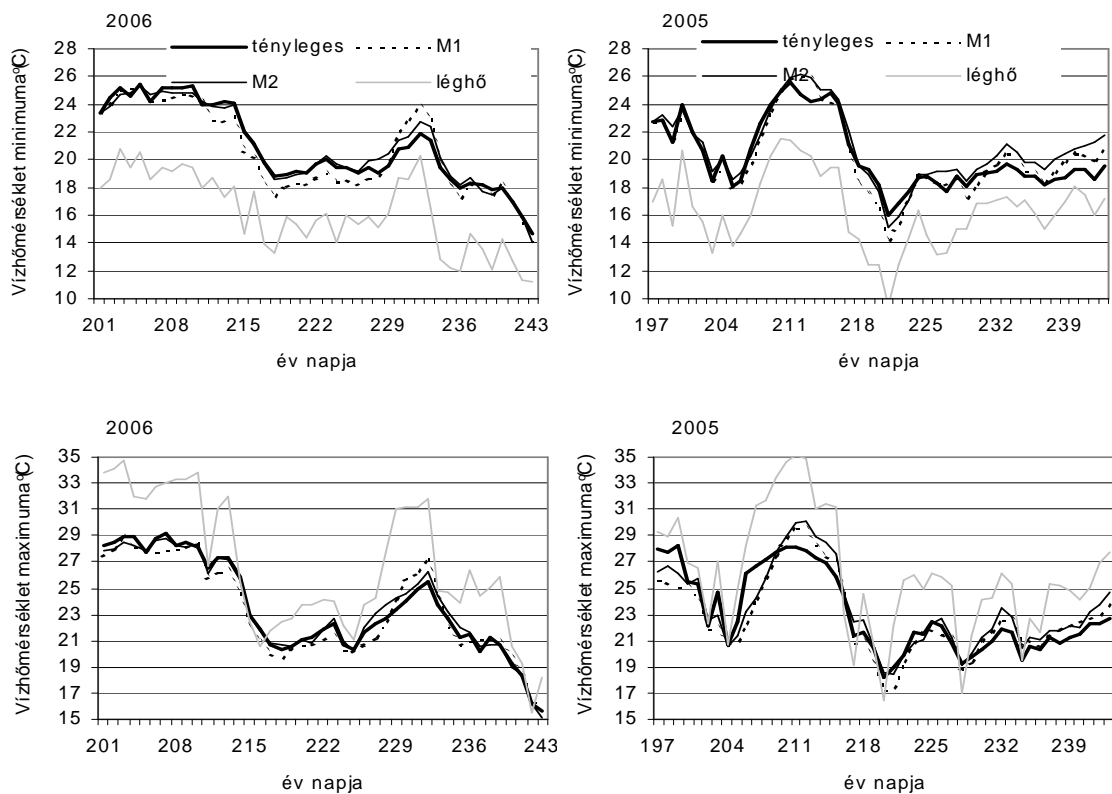
- Az árasztóvíz a minimumok idején 5 °C körüli hőtöbbletet biztosít a levegőhöz képest, azaz a víz képes megvédeni a hidegstresszre érzékeny bugakezdeményt, ha az a víz felszíne alatt található. Kivédhető, illetve csökkenthető a hidegstressz hatása, ha várható jelentős lehülés esetén a vízszintet legalább a bugakezdemények magasságáig megemelik (ha lehetséges). Sok esetben csupán néhány cm-es emelésen múlik több °C-os védelem. A gyakorlati felhasználás szempontjából lényeges további információ lenne a különböző ideig tartó, különböző mértékű lehülések károsító hatásának számszerűen kifejezett mértéke (hazai rizsfajták esetén). Ekkor jól becsülhető lenne a beavatkozás hozadéka.

- A hazai rizsföldeket reprezentáló vízhőmérsékleti modellünk (két különböző adatigényű verzió) július közepétől szeptember elejéig alkalmas az árasztóvíz napi minimum- és maximumhőmérsékletének standard meteorológiai adatokból történő meghatározására.

Bemenő adatok:

- Modell 1: léghőmérséklet napi minimuma és maximuma
- Modell 2: léghőmérséklet napi minimuma és maximuma, a globálsugárzás napi összege, napi átlagos relatív (lég)nedvesség, napi átlagos szélesség

A vízhőmérséklet napi szélsőértékeit az egyszerűbb modell 0,78-1,31°C, az összetettebb modell pedig 0,43-1,20°C hibával (RMSE) becsülte. Ez a pontosság gyakorlati szempontból megfelelő, különösen, ha figyelembe vesszük a lég- és vízhőmérséklet jelentős eltéréseit (10. ábra.).

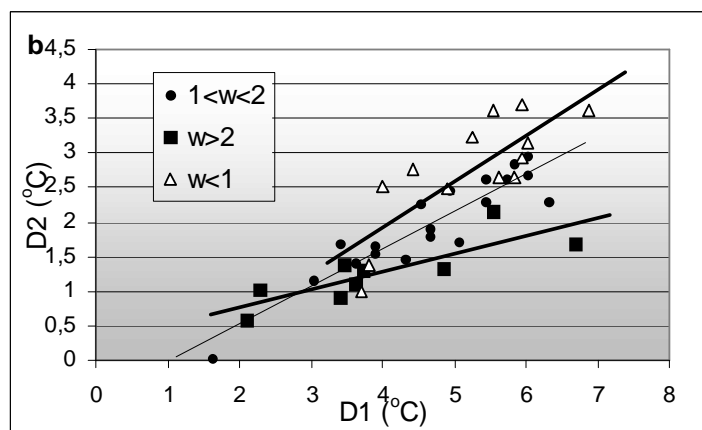


10. ábra. A víz hőmérséklet napi minimumának, maximumának és átlagának tényleges és a modellek által számított menete. M1 (szaggatott vonal), M2 (normál vonal), mért víz hőmérséklet (vastag vonal) és a léghőmérséklet (halvány vonal) 2006-ban (kalibráció) és 2005-ben (verifikáció)

Mindkét változat beépíthető időjárás-növény szimulációs modellekbe vagy hidegstresszt becsülő modellekbe is, de ez túlmutat a kutatás keretein. Gyakorlati szempontból jelenleg az egyszerűbb adatigényű modell-verzió fontosabb, mely alkalmas arra, hogy az időjárás előrejelzések alapján meghatározza a víz hőmérséklet alakulását akár 5-10 nappal előre. Ez olyan új információ, amelyet a termelők egy egyszerű táblázatkezelő segítségével megkaphatnak és ennek megfelelően szükség esetén módosíthatják a vízkezelést.

- Az árasztott és az árasztás nélküli rizsállomány légtere eltérő mértékben hűl le az éjszaka folyamán. A különbség az időjárástól, továbbá a lég- és víz hőmérséklet eltérésétől függően jellemzően 1-3(4) °C között alakul. A szélsőséget is figyelembe vevő empirikus modellünkkel 0,5 °C-nál kisebb hibával becsülhető a kétféle állomány légtérének hőmérsékletkülönbsége (11. ábra).





11. ábra. Összefüggés a vízhőmérséklet és a léghőmérséklet minimumának különbsége (D1) és az árasztott és száraz rizs állomány légtérének hőmérsékleti különbsége (D2) között, szélesség szerinti felbontásban

- Szintén a szárazrizsben fellépő erőteljesebb éjszakai lehűlésekről ad részletes kiegészítő információt a hőmérséklet éjszakai menetére és a vertikális profiljára irányuló vizsgálatunk. A szárazrizs állomány már az esti órákra lényegesen hidegebbé válhat, mint a 2 m-es szint. Derült, szélcsendes időjárás esetén a különbség elérheti a 6-9 °C-t. A különbség az éjszaka folyamán fokozatosan csökken, de mindvégig megmarad (6. táblázat).

6. táblázat. Jellemző eltérések (°C) a hőmérőházban (2 m) mért és a rizs állomány leghidegebb szintjének hőmérséklete között 1: erős kisugárzás, gyenge szél, 2: mérsékelt kisugárzás (nagy légnedvesség) esetén

	19 óra	20 óra	21 óra	22 óra	23 óra	0 óra	1 óra	2 óra	3 óra	4 óra	5 óra	min
<b>1.típus</b>	6-9	5-7	4-6	3,5-5,5	3-5,5	3-5	2,5-5	2,5-4,5	2-4	2-3,5	1-2,5	2-2,5
<b>2.típus</b>	3-7	3-5	2-4	2-3	2-3	2-3	1,5-2,5	1,5-2,5	1,5-2	1-2	0,5-1	1,5-2

Valamennyi mikroklíma vizsgálatban az eredményeink felhasználhatósága akkor válhat teljessé, ha a rizs különböző hőmérsékletekre adott reakciója is a mikroklíma adatokhoz hasonló részletességgel lesz feltárva. Addig csupán annyit jelenthetünk ki, hogy a szárazrizsben az erősebb éjszakai lehűlések miatt nagyobb az esélye a hidegstressz miatt kialakuló bugasterilitásnak, mint árasztott állományban. A magyar fajták hidegtoleranciája közvetett vizsgálatunk szerint olyan fokú, hogy a steril-típusú hidegstressz általában nem

válí a fő termést limitáló tényezővé (a „hidegösszegek” terméssel való korrelációja nem utalt rá). Ebben szerepe lehet a gyakran tapasztalható agrotechnikai hiányosságoknak (gyomosodás, növénybetegségek, rossz kelés, egyenetlen árasztóvíz, stb.), amelyek elfedhetik a káros hideghatást. Az agrotechnika színvonalának emelkedésével, viszont később előtérbe kerülhet a hidegstressz problémája.

## **5. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI**

1. A kelés hőmérsékletfüggésének részletes feltárása 5 hazai rizsfajtára (optimális vízellátottság, 2 cm-es vetésmélység). A kelési idő kiszámítására alkalmas hőösszeg modell paramétereinek (bázishőmérséklet, effektív hőösszeg igény) meghatározása.
2. Egy korai rizsfajta (Ringola) kelés-virágzás fenofázis hosszát leíró bilineáris hőösszeg modellek kidolgozása, parametrizálása, a paraméterek érzékenységvizsgálata grafikus módszerrel. A rizs bázishőmérsékletének a hazai gyakorlattól eltérő, statisztikai értelmezése és meghatározása.
3. Az időjárás-termés kapcsolat vizsgálata során az egyes elemeknek és időszakoknak a korábbi kutatásokhoz képest eltérő súlya adódott. A dekádonkénti analízis a szakirodalomban fellelhetőnél részletesebben feltárta a hőmérséklet terméshalakító szerepét. A „hidegösszegekkel” végzett vizsgálat nem mutatta ki a rövid ideig tartó lehülések irreverzibilis károsító hatását, de bizonyította, hogy a túlságosan meleg napok ( $\max > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kiszűrése javítja a termésbecslést.
4. A különböző vetésidők és fajták (tenyészidő) esetén a kedvezőtlenül elhúzódó kelés, a hidegstressz miatt kialakuló virágsterilitás és a nem megfelelő (túl kései) beérés komplex kockázatelemzése Szarvas 1976-2007-es napi hőmérsékleti adatsora alapján. A korábbi vetésidő ajánlások módosítása, finomítása.
5. A szárazrizs állományban történő éjszakai lehülés részletes vizsgálata időjárási típusok szerint (vertikális profil, hőmérsékleti menet). Az árasztóvíz hatására az árasztott állományok légterében kialakuló éjszakai hőtöbblet vizsgálata és modellezése standard meteorológiai adatok és a vízhőmérséklet felhasználásával.

6. Az árasztóvíz- és a léghőmérséklet összehasonlító elemzése a napi minimumok, maximumok és átlagok vonatkozásában. Két különböző adatigényű dinamikus-empirikus vízhőmérsékleti modell létrehozása az árasztóvíz napi minimum- és maximumhőmérsékletének standard meteorológiai adatokból történő meghatározására.
7. Az állandó vízborítás kedvezőtlen, viszonylag rövid tartamú (néhány napos) káros meteorológiai hatások következményeit jelentősen csökkentheti.

## **6. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

A hazai rizstermesztés korlátait és lehetőségeit döntő mértékben meghatározza az éghajlat, ezen belül elsősorban a hőmérsékleti adottságok. A Magyarország földrajzi helyzetéből adódó hőmérsékleti marginalitás miatt a rizs esetében különösen nagy jelentősége van az agrometeorológiai vizsgálatoknak. Természetesen nem tudjuk kedvezőbbé tenni az időjárást (legfeljebb a mikroklimatikus viszonyokat tudjuk befolyásolni), de a vizsgálati eredmények alapján hatékonyabban ki tudjuk használni az éghajlat nyújtotta lehetőségeket, illetve mérsékelni tudjuk az időjárás esetleges káros hatásait.

A vetésidő megválasztása egy többletköltség nélküli, hatékony eszköz a termelők kezében. A kutatásunk eredményeképpen számszerű adatokat közlünk a különböző érzékeny fenofázisok alatti időjárási kockázatról, mindezt különböző feltételezett vetésidők esetére. Az információ lehetőséget ad a kockázat minimalizálására, illetve annak objektív értékelésére. Gyakorlati jelentőségét főleg az optimálistól korábbi és későbbi vetések értékelésében látjuk.

A különböző fajtatípusokhoz konkrétan javasolt vetési időintervallumok irányadóak. A vizsgálatok során kidolgozott és az értekezésben bemutatott hőösszeg modellek ezen felül lehetőséget nyújtanak az ajánlások pontosításához (pl. korai vetés), figyelembe véve az aktuális időjárási helyzetet és az előrejelzéseket (1 hetes).

A rizs az egyetlen szántóföldi növényünk, ahol hatékony és folyamatos mikroklimát befolyásoló eszköz - az árasztóvíz - áll rendelkezésre. Az árasztást a jelentős költségvonzata miatt hazánkban nem használják kifejezetten a hőmérsékletmódosítás céljából, azonban a vízkezelésnél (árasztás, lecsapolás időzítése, árasztóvíz szintje) érdemes figyelembe venni a

mikroklimatikus hatást. Többletköltség nélkül, vagy csekély többlet ráfordítással bizonyos esetekben jelentősen csökkenthető az időjárási kockázat. Mindehhez nélkülözhetetlen információt szolgáltatnak a mikroklíma-vizsgálataink, amelyek számszerűen (°C-ban kifejezve) bemutatják az árasztóvíz közvetlen és közvetett hőmérsékleti hatását.

Az általános hőmérsékleti jellemzők ismerete is hasznos, de a megalkotott modellek (vízhőmérséklet, állomány légterének lehülése) az aktuális időjárási helyzetben a rövidtávú előrejelzések alapján még pontosabb információt nyújtanak. Mindez viszonylag egyszerű számításokkal megoldható. Az eredmények gyakorlati felhasználását nagyban segítené, ha a hazai fajtákra a mikroklimatikus hatás termésmennyiségben való megnyilvánulását is pontosan ismernénk.

A termés szempontjából fontos és kevésbé fontos időszakok közvetett módon utalnak rá, hogy mikor kell különösen körültekintőnek lenni a rizstermesztés során. Szintén ez alapján értékelhetjük a valószínűsíthető éghajlatváltozás rizstermesztésre gyakorolt hatását (főként, ha majd pontosabb információk állnak rendelkezésre az éghajlatváltozás magyarországi megnyilvánulásáról).

A kutatási eredményeink fontos felhasználási területe a fajtanemesítés. Megállapítottuk, hogy a kelés szempontjából mely hőmérsékleti értékek a kritikusak, azaz mi alapján érdemes a szelekciót elvégezni. A bemutatott részletes éghajlati statisztika szintén támpont a nemesítéshez. Nagyon jelentős gyakorlati eredmény lenne, ha a fajták (fajtajelöltek) jellemzésénél nem csak a hagyományos hőösszeg-igényt adnák meg, hanem ennél fejlettebb hőösszeg módszereket is alkalmaznának (pl. az általunk használt bilineáris modellek, paraméter optimalizálás).

## **7. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN**

### **Lektorált tudományos folyóiratban megjelent cikk:**

1. **GOMBOS B. – SIMON-KISS I.** (2005): Bilinear thermal time models for predicting flowering time of rice. Cereal Research Communications. 33. 2-3. 569-576.
2. **GOMBOS B.** (2006): Az éjszakai hőmérséklet és annak vertikális profilja az árasztás nélküli rizs állományban. Tessedik Sámuel Főiskola Tudományos Közlemények. Szerk.

IZSÁKI Z. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Tom. 6. No. 1. 11-20.

3. **GOMBOS B.** (2007): Hazai rizsfajták kelése különböző hőmérsékleti viszonyok között. Tessedik Sámuel Főiskola Tudományos Közlemények. Szerk. IZSÁKI Z. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Tom. 7. No. 411-417.
4. **GOMBOS B.** (2007): Árasztott és árasztás nélküli rizs állományok eltérő hőmérsékleti viszonyai Magyarországon. Tessedik Sámuel Főiskola Tudományos Közlemények. Szerk. IZSÁKI Z. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Tom. 7. No. 571-576.
5. **GOMBOS B.** (2008): Modeling water temperature of Hungarian rice fields. Időjárás. 112. 1. 33-43.
6. **GOMBOS B. - SIMON-KISS I.** (2008): Study and modelling the emergence of five Hungarian rice cultivars. Cereal Research Communications. (lektorálás alatt)

#### **Tudományos konferenciák kiadványaiban megjelent publikációk (előadás):**

1. **GOMBOS B.** (2002): Az időjárás és a rizs termése közötti összefüggés Békés megyében. „JUTEKO 2002” Tessedik Sámuel Jubileumi Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Tudományos Napok. 2002. augusztus 29-30. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas, 224-226.
2. **GOMBOS, B.-MATSUOKA, N.** (2003): Effect of topography on temperature distribution in Akiyama-mura. Agricultural Meteorology of Kanto Area. Japan. No. 29. 42.
3. **GOMBOS B.- SIMONNÉ K. I.** (2006): Különböző hőösszeg-számítási módszerek a rizs virágzási idejének meghatározására. V. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, 2006. október 26-27. Mezőtúr, Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, CD kiadvány, 5 p.
4. **GOMBOS B.** (2007): Study of water temperature in flooded rice. XIII. Ifjúsági Tudományos Fórum. 2007. március 22. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely, CD kiadvány
5. **GOMBOS B.** (2007): A rizs tenyészidőszakának hőmérsékleti szempontból kritikus szakaszai Magyarországon. XIII. Ifjúsági Tudományos Fórum. 2007. március 22. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely, CD kiadvány

6. **GOMBOS B.** (2007): Differences in night-time thermal characteristics of flooded and non-flooded rice canopy. 6th International Conference of PhD Students. Agriculture. 12-18 August 2007, University of Miskolc, Miskolc, 9-14.

**Tudományos konferenciák kiadványaiban megjelent publikációk (poszter):**

1. **GOMBOS B.- SIMONNÉ K. I.** (2001): A magyar rizstermesztés agrometeorológiai vonatkozásai. In: XLIII. Georgikon Napok. 2001. szeptember 20-21. Keszthely. Vidékfejlesztés-Környezetgazdálkodás-Mezőgazdaság. Szerk. PALKOVICS M. Veszprémi Egyetem, Keszthely, II. 1018-1022.
2. **GOMBOS B.** (2002): A rizs termésbecslése meteorológiai paraméterek alapján Békés megyére vonatkozóan. III. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. 2002. október 17-18. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Mezőtúr, II. 188-193.

**Egyéb publikáció:**

1. **GOMBOS B.** (2000): Az időjárás és a rizstermesztés kapcsolata. Szakdolgozat. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas, 50 p.
2. **GOMBOS B. – MARJAI GY. – MONTVAJSZKI M.** (2006): Meteorológiai és Földmérési Praktikum, Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas, 7-78.