



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

**A HAZAI RIZSTERMESZTÉS
AGROMETEOROLÓGIAI VONATKOZÁSAI**

Készítette:

Gombos Béla

doktorjelölt

DEBRECEN

2008

A HAZAI RIZSTERMESZTÉS AGROMETEOROLÓGIAI VONATKOZÁSAI

*Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban*

Írta: Gombos Béla doktorjelölt

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. fokozat
Elnök:	Dr. Thyll Szilárd	CSc
Tagok:	Dr. Kiss Ibolya	DSc
	Dr. Dunkel Zoltán	PhD habil

A doktori szigorlat időpontja: 2007. április 27.

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
.....		
.....		
.....		

A bíráló bizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:			
Titkár:			
Tagok:			
			
			
			
			

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	4
2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI.....	6
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
3.1. Az időjárási elemek hatása a rizs fenológiai fejlődésére	8
3.1.1. Hőösszeg módszer	8
3.1.1.1. A hőösszeg módszer elméleti alapja, leírása	8
3.1.1.2. A hőösszeg módszer hibaforrásai	11
3.1.1.3. A hőösszegmódszer korlátai rizs esetén.....	12
3.1.2. A rizs csírázása és kelése	13
3.1.3. A rizs vegetatív fejlődési szakasza	15
3.1.4. A rizs fejlődésének reprodukív szakasza	17
3.1.5. A rizs érése.....	19
3.2. Hidegstressz	20
3.2.1. A tenyészidő káros megnyúlása.....	21
3.2.2. A steril-típusú hidegstressz	21
3.3. Az időjárás és a rizs termésének kapcsolata	25
3.3.1. Az időjárás és a termés kapcsolatának vizsgálati módszerei	26
3.3.1.1. Empirikus módszerek	26
3.3.1.2. Statisztikai módszerek	27
3.3.1.3. Növény-időjárás analízis modell	28
3.3.1.4. Szimulációs modellek.....	28
3.3.2. Az időjárás és a rizs termése közötti összefüggés Magyarországon	29
3.4. A rizsállomány mikroklímája	34
3.4.1. A növényállományok általános hőmérsékleti jellemzői	34
3.4.2. A rizsállomány hőmérsékleti viszonyai	35
3.4.3. A rizs állományklímájának modellezése (víz- és léghőmérséklet).....	38
3.4.4. Árasztott rizsállomány mechanisztikus vízhőmérséklet modelljének alapösszefüggései.....	40
4. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE.....	42
4.1. Kísérletek és mérési programok	42
4.1.1. Kelési kísérlet kontrollált hőmérsékleten	42
4.1.2. Szabadföldi kisparcellás kelési kísérlet	43
4.1.3. Mikroklíma mérések szárazrizs állományban.....	44

4.1.4. Mikroklíma mérések árasztott rizsállományban	46
4.1.5. Standard meteorológiai mérések és megfigyelések	46
4.2. Nem saját forrásból származó anyagok	47
4.2.1. Éghajlati és termésátlag adatsorok.....	47
4.2.2. Fenológiai adatsor	48
4.3. A vizsgálatok során használt módszerek	49
4.3.1. Fenológiai fejlődés.....	49
4.3.2. Az időjárás hatása a rizs termésére	52
4.3.3. Mikroklíma vizsgálatok	53
4.3.3.1. A vízhőmérséklet modell elméleti alapja és felépítése	53
5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉS	56
5.1. A hőmérséklet hatása a rizs fejlődésére	56
5.1.1. Csírázás – kelés.....	56
5.1.1.1. A kelési idő különböző hőmérsékleten	56
5.1.1.2. Lineáris modell	58
5.1.1.3. Modell verifikáció	60
5.1.1.4. A kelés dinamikája	62
5.1.2. Virágzás	64
5.2. A kritikus fejlődési szakaszok meteorológiai vizsgálata	69
5.2.1. Kelés	70
5.2.2. Reprodukív fejlődési szakasz a virágzásig	72
5.2.3. Érés	74
5.3. Az időjárási elemek hatása a rizs termésére	76
5.3.1. Termésstatistika	77
5.3.2. Trendvizsgálat.....	78
5.3.3. Termésbecslés meteorológiai elemek havi adatai alapján	79
5.3.3.1. Csapadék.....	79
5.3.3.2. Hőmérséklet	80
5.3.3.3. Napsugárzás.....	81
5.3.3.4. Az időjárási elemek együttes hatása	82
5.4. Különböző léghőmérsékleti paraméterek termésre gyakorolt hatása	84
5.4.1. A hőmérsékleti szélsőségek	84
5.4.2. Hidegösszegek	86
5.5. Hőmérsékleti tendenciák.....	87

5.6. A rizsállomány mikroklímája	89
5.6.1. Az árasztóvíz hőmérséklete és modellezése	90
5.6.1.1. Az árasztóvíz hőmérsékleti jellemzői	90
5.6.1.2. Az árasztóvíz hőmérsékletének modellezése	94
5.6.1.3. Modell verifikáció	96
5.6.2. Az árasztóvíz hatása az állomány légterének hőmérsékleti viszonyaira	99
5.6.3. A hőmérséklet éjszakai profilja a szárazrizs állományban	103
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	110
7. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI.....	113
8. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK	114
9. ÖSSZEFOGLALÁS	115
10. SUMMARY	119
11. IRODALOMJEGYZÉK	123

1. BEVEZETÉS

A rizs (*Oryza sativa* L.) a pázsitfűfélék családjába tartozó, trópusi eredetű, melegigényes növény. A több évezredes természetes kiválogatódás, valamint a fajtákat és a termesztési körülményeket tudatosan változtató emberi tevékenység együttes eredményeként a rizs igen változatos környezeti feltételekhez alkalmazkodott. Jelenleg az É.sz. 53° (Észak-Kína) és a D.sz. 35° (Ausztrália) között, 2600 m tengerszint feletti magasságig, sokféle talajtípuson folyik rizstermesztés. A világon a termőterülete 155 millió ha, a termésmennyisége 630 millió t körül alakul, ami a termesztett növények rangsorában a 2. helyet jelenti.

Az emberi táplálkozásban a búza után a rizsnek van legnagyobb jelentősége. Több ázsiai, afrikai és latin-amerikai országban alapvető ételmszer, a legsűrűbben lakott és legszegényebb világrészekben a népesség 9/10-ének a rizs jelenti a „mindennapi kenyeret”. A rizs a búzánál nagyobb energiaértékű, több szénhidrátot tartalmaz. Fehérjetartalma ugyan csak 7-8% körüli, de esszenciális aminosav-összetétele miatt biológiai értéke megközelíti az állati fehérjékét. Tápértékét növeli, hogy keményítője a legkönnyebben emészthető, ezért diétás ételként is fogyasztható. A búzalisztre érzékenyek diétájában a rizs, a rizsliszt és az abból készült termékek egyre fontosabb szerepet játszanak.

A történelmi Magyarország területén, a Temes folyó mentén már a XVIII. században elkezdődött a rizstermesztés. A rizs mai országhatáron belüli meghonosítása azonban csak az I. világháború után kezdődött. A honosítási kísérletek kedvező eredménye miatt a rizstermesztés felfutása igen látványos volt. Az 1950-es évek közepére – mintegy 15 év alatt – csaknem nulláról 50 000 ha-ra nőtt a vetésterület, és ezzel gyakorlatilag önellátóvá válhatott az ország, sőt egyes években még exportra is volt lehetőség. A rizs sikertörténetében az első jelentős törés 1955-ben következett be, amikor a kedvezőtlen időjárással összefüggésbe hozható járványos barnulásos betegség katasztrofális terméshez vezetett. A terméstragédia megismétlődött az 1970-es évek második felében (1976-80), de már nem a járványos betegség volt a fő okozója, hanem a negatív hőmérsékleti anomáliák. Ezzel bebizonyosodott, hogy hazánk éghajlata nem elhanyagolható kockázatot jelent a rizstermesztés szempontjából. A termőterület az 1950-es évektől a 90-es évek végéig fokozatosan lecsökkent a jelenleg is jellemző 2000-2500 ha-os szintre (átmeneti fellendülés a 70-es években volt).

A 2004-es EU csatlakozás részben új helyzetet teremtett a kvótás szabályozás révén. A magyarországi kvóta 3222 ha, ami jelenleg nincs kihasználva. A rizsre járó terü-

letalapú támogatás (mintegy 70 000 Ft) ugyan kisebb, mint az EU-s fő rizstermesztő országokban, de ezzel már rentábilissá vált a termelés egy átlagos 3-3,5 t ha⁻¹-os termés-szint mellett. A hazai rizstermesztés szempontjából további pozitív változások:

- az éghajlatváltozás következményeként hazánkban a rizstermesztés feltételei várhatóan inkább javulnak;
- az árasztott rizstelepek, mint vizes élőhelyek fokozatosan felértékelődnek és a jövőben akár növekvő támogatásban részesülhetnek;
- folyamatosan növekszik a vásárlói igény a megbízható eredetű, hazai termesztésű rizs, illetve feldolgozott rizstermékek iránt.

Látható, hogy a gazdaságpolitikai viszonyok jelentős hatással voltak, vannak és lesznek a rizstermesztésünkre. Kijelenthetjük azonban, hogy a legtöbb probléma visszavezethető a meglévő éghajlati kockázatra. A rizstermesztés jövőbeli lehetőségeit célszerű objektív agrometeorológiai vizsgálatokra alapozva értékelni.

A hazai termőterületek jelentik a rizstermesztés európai északi határát. A marginális helyzetből adódik, hogy az időjárás (elsősorban a hőmérséklet) a termés egyik fontos limitáló tényezője. Ezért a rizs esetében – a többi növényhez képest is – igen nagy jelentősége van az agrometeorológiai kutatásoknak. Az ökológiai minimum-törvény értelmében a hőmérséklet gyakran előlép elsőszámú termésmeghatározó tényezővé. 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. Továbbá, a várható éghajlatváltozás – éppen a marginalitás miatt – már a melegedés kezdeti stádiumában jelentős hatással lehet a rizstermesztésre.

A rizsnél az árasztóvíz szintjének szabályozása lehetőséget biztosít az állomány hőmérsékleti viszonyaiba történő aktív beavatkozásra, amely szintén előzetes agrometeorológiai/mikroklimatológiai vizsgálatokat feltételez.

A téma jelentőségét növeli, hogy Magyarországon rizsre vonatkozó, kifejezetten agrometeorológiai jellegű vizsgálatok az utóbbi néhány évtizedben nem voltak. A korábbi eredmények aktualizálása szükséges a teljes fajtaváltás miatt. A kutatási módszerek, eszközök fejlődésével és a külföldi tapasztalatok áttekintésével lehetőség nyílt olyan vizsgálatok elvégzésére, amelyek eddig rendelkezésre nem álló (új vagy újszerű) információkat szolgáltatnak. A kutatásom ezért fontos hiánypótló szerepet is betölt.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Céлом volt olyan különböző jellegű agrometeorológiai vizsgálatok folytatása, amelyek elsősorban a hazai rizstermesztés elméleti és gyakorlati problémáira keres megoldást. Döntően saját kísérleti eredményeimre, mérési programjaimra támaszkodva, kisebb részben más forrásból származó anyagok felhasználásával a következő kérdésekre kerestem a választ (az alpontok a cél eléréséhez szükséges konkrét részfeladatokat tartalmazzák).

1. Hogyan befolyásolja az időjárás (hőmérséklet) a rizs fejlődési ütemét, illetve az egyes fenofázisok hosszát?

Jelenleg köztermesztésben levő fajtákra a hőmérséklet-kelési idő kapcsolat, ebből a bázishőmérséklet és a keléshez szükséges hőmérsékleti összeg pontos meghatározása. A gyakorlati igényeknek megfelelő pontosságú, egyszerűsített, könnyen használható hőösszeg-modell megalkotása.

A kelés-virágzás fenofázisra vonatkozóan olyan hőösszeg-modell megalkotása, amely – túllépve az eddigi hazai eredményeken – figyelembe veszi, hogy bizonyos hőmérséklet felett a fejlődési ütem már nem növekszik tovább, illetve csökken.

2. Melyek a termést leginkább meghatározó meteorológiai elemek és időszakok?

Meteorológiai elemek havi adatai (átlag vagy összeg) és a termésátlag közötti összefüggés tanulmányozása és leírása lineáris regresszióval.

Különböző hőmérsékleti paraméterek (minimum-, maximum-, középhőmérséklet, „hidegösszegek”) szerepének vizsgálata korreláció-analízissel.

A vizsgálatok elvégzése dekád szinten, amellyel eddig nem feltárt részletekhez juthatunk.

3. Hogyan minimalizálható az időjárási kockázat az érzékeny fenológiai fázisok megfelelő időzítésével (vetésidő, fajta)?

Az egyes naptári időszakokban (pentádonként) a kedvezőtlen időjárás valószínűségének meghatározása sokévi hőmérsékleti adatsor alapján.

A különböző feltételezett vetésidők esetén a hőmérsékleti adatbázis és hőösszeg módszerek felhasználásával a kelési és virágzási idő meghatározása évenként.

Annak megállapítása, hogy mekkora eséllyel húzódik el túlságosan a kelés, mekkora a virágzás idején a bugasterilitáshoz vezető hidegstressz kockázata, időben beérik-e a rizs. A kockázat komplex értékelése.

4. Történtek-e olyan változások az utóbbi 3 évtizedben a rizs tenyészidőszakának hőmérsékleti viszonyaiban, amelyek módosíthatják a korábbi termesztési javaslatokat?

A hőmérséklet (minimum, maximum, közép) havi és dekádátlagainak trendvizsgálata az utóbbi 32 év adatai alapján.

5. Milyen hőmérsékleti sajátosságokat mutat az árasztóvíz, illetve az árasztott- és a szárazrizs állomány légtere, különös tekintettel az éjszakai lehűlésekre? Hogyan csökkenthető a hidegstressz kockázata?

Az árasztóvíz és a levegő hőmérsékleti sajátosságainak összehasonlítása az éjszakai lehűlés, a nappali felmelegedés és a napi átlaghőmérséklet tekintetében.

Vízhőmérsékleti modell kidolgozása, amely lehetőséget nyújt a napi minimum- és maximum értékek becslésére, akár a meteorológiai előrejelzések adatai alapján is.

Az árasztott és árasztás nélküli rizsállományban bekövetkező éjszakai lehűlés menetének és mértékének az összevetése, becslése időjárási paraméterek alapján. A kétféle termesztési mód hidegstressz szempontjából történő összehasonlítására.

Az árasztóvíz szintjének helyes szabályozása, a közvetlen és a közvetett védő hatásának kihasználása.

Az éjszakai lehűlések szempontjából kritikusabb szárazrizs állomány részletes hőmérsékleti leírása, a hőmérséklet menetének, vertikális profiljának elemzése.

A kutatás témaköreit a lehetőségek figyelembevételével úgy válogattam össze, hogy a résztémák egymással több ponton is kapcsolódjanak, egységet alkossanak. Azokra az egyszerű kérdésekre kerestem (és kaptam néha nem egyszerű) válaszokat, amelyek a termesztőkben is megfogalmazódnak. Ezzel próbáltam feloldani azt a problémát, ami az agrometeorológiai információszolgáltatás, vagy a kutatási eredmények gyakorlatba történő átültetése során gyakran tapasztalható. Úgy gondolom, hogy sürgősen minden részeredmény alapján konkrét javaslatokat megfogalmazni. Bizonyos esetekben elegendő a részben feldolgozott információt közölni a termelők felé, akik ez alapján a termelési tapasztalataikra támaszkodva, képesek lesznek meghozni a helyes döntést. Ha egy láncszem (akár az utolsó) hiányzik a kutatásból, akkor azt helytelen nem kellően megalapozva, leegyszerűsítve pótolni, mert még a helyes részeredmény is hitelét vesztheti.

Ennek megfelelően jártam el, bízva abban, hogy eredményeim hozzájárulnak a hazai rizstermesztés újbóli fellendüléséhez.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az időjárási elemek hatása a rizs fenológiai fejlődésére

A növényi egyedfejlődés vizuálisan, morfológiai jelenségek alapján jól elkülöníthető szakaszai a fenológiai fázisok. Új fenológiai fázis kezdetét új növényi szerv (pl. virág) megjelenése, vagy bizonyos szervek (pl. levél) számának változása jelenti. A fenológiai szakaszok összessége alkotja a növény vegetációs időszakát. A fenofázisok csak közelítően utalnak a növényi egyedfejlődés folyamatára, nem tekinthetők egyértelműen fejlődési szakaszoknak, a fejlődési szakaszok változása pedig nem kapcsolódik feltétlenül és minden esetben a külső megjelenési forma változásához (SZÁSZ, 1997a). A nem teljes ekvivalencia ellenére, az egyszerű gyakorlati alkalmazhatóság miatt a növények fejlődését csaknem kizárólag a fenológiai jelenségek segítségével írják le.

3.1.1. Hőösszeg módszer

3.1.1.1. A hőösszeg módszer elméleti alapja, leírása

Az egyes fenológiai fázisok hossza egyrészt genetikai (faj, fajta) tulajdonság, emellett a környezeti tényezők által is jelentős mértékben befolyásolt. Amíg azonban a növények növekedése, (tömeg)gyarapodása, termése több tényező által együttesen meghatározott (hőmérséklet, talajnedvesség, napsugárzás, tápanyagellátottság, talajtulajdonságok, agrotechnika, tenyésztésterület stb.), addig a fenológiai fejlődés ütemét – jellemzően – döntő mértékben csupán a hőmérséklet befolyásolja. A nappalok hosszúsága a fotoperiódusra érzékeny növényfajok, illetve fajták, bizonyos fejlődési szakaszában fő meghatározó tényezővé válhat. A többi környezeti tényező általában csak kis mértékű hatást gyakorol, tehát a rizs fenológiai fejlődését (virágzási idejét) döntően meghatározó tényezők a hőmérséklet és a fotoperiódus (FUKAI, 1999).

A hőmérséklet kiemelkedő szerepe következtében a növényi (fenológiai) fejlődés leírására széleskörűen elterjedt az ún. „hőösszeg módszer”. Mind a hazai, mind az angolszász terminológiában számos kifejezés található a módszer, illetve a mennyiség elnevezésére. Napjainkban az angolszász szakirodalomban leginkább elfogadott a „thermal time” (hőidő), „growing degree days” (növekedési foknap), illetve „degree days” (foknap) és „thermal unit” (hőegység), kevésbé elterjedt, de megtalálható a „heat unit” (hőegység) és „heat sum” (hőösszeg) kifejezés.

A hazai gyakorlatban a „hőösszeg” kifejezéssel találkozhatunk leggyakrabban, bár a napi összegzendő értékeket (ami még nem összeg) célszerű hőegységnek nevezni (DORKA, 2005).

A hőegység kiszámításának legegyszerűbb, hagyományos formája a következő:

$$HE = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b \quad (1)$$

ahol ha $\left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) < T_b$, akkor $\left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) = T_b$. Továbbá $T_{\max}$ (°C) és $T_{\min}$ (°C)

a léghőmérséklet napi maximuma, illetve minimuma, T_b (°C) pedig a bázishőmérséklet. T_b azt a hőmérsékletet jelenti, amely alatt a növény fejlődési sebessége nullának tekinthető (McMASTER és SMIKA, 1988; NARWAL et al., 1986; KIRBY, 1995).

A bázishőmérséklet növényfajonként és -fajtánként változik és a növény fejlődése során a különböző fenofázisok alatt más és más (MEDERSKI et al., 1973). A hőösszeg ($HÖ = \Sigma HE$) a naponkénti hőegységek meghatározott időszakra történő összegzésével számítható. A hőösszegmódszer alapján azt mondhatjuk, hogy a kérdéses fenológiai fázis bekövetkezése akkor várható, ha a hőösszeg értéke eléri az adott növény (faj, fajta), adott fázisához szükséges hőösszeg igényét (VARGA-HASZONITS, 1987a).

A módszer akkor alkalmazható fenológiai jelenségek bekövetkezési időpontjának becslésére, ha

- (1) az adott tartományban a fejlődési sebesség a hőmérséklet lineáris függvénye;
- (2) a hőmérséklet döntő mértékben (a nap nagy részében) ebben a lineáris tartományban van;
- (3) a léghőmérséklet és a növény növekedési pontjának hőmérséklete közel azonos;
- (4) más környezeti tényezők hatása nem jelentős (RITCHIE és NESMITH, 1991; BONHOMME, 2000).

A bázishőmérséklet pontos meghatározása kritikus a módszer alkalmazása szempontjából (WANG, 1960). Gyakran nem a „tényleges”, fiziológiai bázishőmérséklet (ami alatt nulla a fejlődési sebesség) szerepel az egyenletben, hanem egy ettől eltérő, valamilyen statisztikai módszerrel meghatározott paraméter. Kontrollált hőmérsékleti viszonyok között végzett kísérletek adataiból T_b -t többnyire a hőmérséklet és a fejlődési sebesség közötti feltételezett lineáris kapcsolat extrapolációjával határozzák meg (ARNOLD, 1959; WIESE és BINNING, 1987; SCOTT et al., 1984; WARRINGTON

és KANEMASU, 1983a, 1983b). Az x-tengely metszése – tehát ahol a fejlődési sebesség nulla – adja meg a bázishőmérsékletet. Fluktuáló (szabadföldi) hőmérséklet mellett a T_b meghatározása bonyolultabb, mivel nem állnak rendelkezésre konstant hőmérsékleti értékekhez tartozó fejlődési sebesség értékek. Ekkor a T_b értékek változtatásával meg kell keresni, hogy melyik az a T_b , amely alkalmazása minimalizálja a hőösszeg módszer hibáját. A hiba többféleképpen, a következő statisztikai paraméterek valamelyikével értelmezhető (YANG et al., 1995; STEINMAUS et al., 2000):

- az egyes kísérletek során kapott hőösszegek szórása;
- a napokban kifejezett szórás;
- a becsült és tényleges fenológiai időtartam különbségének variációs koefficiense;
- az egyes kísérletekhez tartozó középhőmérsékletek és hőösszegek regressziója.

A különböző módszerek, különböző bázishőmérsékletet eredményeznek, ezek egy része akár lényegesen eltérhet a fiziológiai értéktől, és valójában csupán egy „statisztikai számérték”, amellyel legjobban működik a modell. LIU et al. (1998) olyan módszert dolgozott ki, amely úgy becsli a fenológiai fejlődést jellemző hőmérsékleti paramétereket – köztük a bázishőmérsékletet –, hogy azok jól közelítik a fiziológiai értéket.

A hőösszeg módszer eddig bemutatott egyszerű változata a fejlődéshez optimális hőmérséklet felett nem alkalmazható, ugyanis abban a tartományban már másfajta összefüggések érvényesek. A probléma megoldását szolgálja egy felső hőmérsékleti küszöb (optimum/ T_{opt}) modellbe történő beépítése. T_{opt} felett a hőmérséklet-fejlődési sebesség (T-FS) kapcsolatot konstans, vagy lineárisan csökkenő függvény írhatja le, így bilineáris modellhez jutunk (GILMORE és ROGERS, 1958). Létezik egy olyan hőmérséklet (a bázishőmérséklet felső ekvivalense), amely felett a növény fejlődése teljesen leáll (T_{max}). Ennek közvetlen megadásával a modell kalibrációjánál már 3 paraméter megadása szükséges (BAKER és REDDY, 2001). A fog, illetve trapéz alakú függvény segítségével egy szélesebb optimum tartomány vihető be a modellbe, melytől lefelé és felfelé is lineárisan csökken a fejlődési sebesség (SOLTANI et al., 2006).

A T-FS kapcsolat nem-lineáris voltát számos szerző hangsúlyozza. A függvény aszimmetrikus haranggörbe alakú a vizsgált növények és fenofázisok többsége esetén úgy, hogy az optimum hőmérséklet feletti leszálló ág a meredekebb (TOLLENAAR et al., 1979; KEATING és EVENSON, 1979, ANGUS és ZANDSTRA, 1980; YOSHIDA, 1981; HANIU et al., 1983)

Az összefüggés leírására legalkalmasabbnak a 3 paraméterrel megadható béta-függvény bizonyult (GAO et al., 1992; YIN et al., 1995).

3.1.1.2. A hőösszeg módszer hibaforrásai

A hőösszeg módszer kisebb-nagyobb hibáját okozza, hogy a számításokban többnyire a napi középhőmérsékletek szerepelnek, ami nem képes a napi hőmérsékleti ingadozások valóságban meglévő hatását leírni. Amikor a napi középhőmérséklet az optimum közelében van, akkor a növekvő hőmérsékleti amplitudó a tényleges fejlődési sebesség csökkenését eredményezi, mivel ekkor a legmelegebb órák egyre kedvezőtlenebbé válnak. Ezzel szemben, ha a napi középhőmérséklet T_b közelében van, akkor nagy amplitudó esetén legalább a nap egy részében viszonylag gyors lehet a fejlődés. Az összefüggések nem-lineáris volta miatt a köztes tartományokban is hibaforrás az amplitudó (SHAYKEWICH, 1995).

A hőmérsékleti ingadozásnak ettől független, közvetlen hatása is kimutatható bizonyos esetekben. YIN et al. (1996) a vizsgált rizsfajták közül 1 esetében a virágzási idő rövidülését, míg 10 fajtánál a megnyúlását tapasztalta a hőmérséklet napi amplitudójának növekedése miatt (a nem-linearitás hatásán túl).

A csírázáshoz szükséges hőösszeg igényt GARCIA-HUIDOBRO et al. (1982) és HEGARTY (1973) vizsgálatai szerint csökkenti a növekvő hőmérsékleti ingadozás. Ezt a hatást megkérdőjelezi ELLIS ÉS BARRETT (1994) az előbbieknél jóval részletesebb méréseken alapuló tanulmánya.

A hőösszeg módszer nem egységes alkalmazásából, értelmezéséből fakadó hibákra hívta fel a figyelmet MCMASTER és WILHELM (1997). Megállapításuk szerint az (1) egyenletben bemutatott értelmezéstől eltérően sok szerző a $T_{min} < T_b$ esetén a $T_{min} = T_b$ értéket felhasználva számolja a napi hőegységet (BAKER et al., 1986; KETRING és WHELESS, 1989; RUSSELLE et al., 1984; SWANSON és WILHELM, 1996), ami nyilvánvaló eltéréseket jelenthet a fenológiai fázishossz becslésénél. A hőösszegmódszerek alkotásánál ezért mindig világossá kell tenni, hogy a bázishőmérsékletet a napi átlagos vagy a minimumhőmérséklettel vetjük össze. Hasonló jellegű problémák adódnak az optimum feletti értékek kezelésénél (ha a modell tartalmazza az optimumot). A modell alkalmazásakor is ügyelni kell az értelmezésre, azaz – lehetőség szerint – ugyanúgy kell eljárni a hőegység számításakor, mint ahogyan a modell parametrizációja során történt.

A különböző módokon meghatározott napi közepek többnyire nem térnek el jelentősen egymástól, azonban a bázishőmérséklet közelében, ahol kicsi a napi hőegység értéke (azaz nagy a relatív hiba), még így is jelentős különbségek figyelhetők meg. Ez a

hiba a napi középhőmérséklet standardizálásával jelentősen csökkenthető (DEGAETANO és KNAPP, 1993).

A hőösszeg módszerek alapértelmezés szerint tehát napi középhőmérséklettel számolnak. A napjainkban rendelkezésre álló nagyobb részletességű adatok azonban lehetővé teszik napi többszöri „rész-hőegység” számítását. Ezzel a napi átlag elfedő hatása kiküszöbölhető, és ha a nap egy részében a hőmérséklet a nemlineáris tartományon kívülre kerül, akkor a módszer függvényében akár jelentős eltérések is tapasztalhatók a hőösszegben, illetve a fenológiai szakasz becsült időtartamában (WEISS és HAYS, 2005).

A hőegység óránkénti adatok alapján történő kiszámításával pontosítható a hőösszeg módszer (GRIMM et al., 1993; SNYDER et al., 1999; CESARRACCIO et al., 2001). Elterjedését azonban akadályozza, hogy sok meteorológiai állomás éghajlati adatsora nem tartalmazza ezeket a részletes adatokat, továbbá az egynyári növényeknél (ahol a vetés többnyire Tb átlépése után történik) az órák adatok felhasználása nem jelent szignifikáns előrelépést (PURCELL, 2003).

3.1.1.3. A hőösszegmódszer korlátai rizs esetén

A hőösszeg módszer alkalmazhatóságát bizonyos esetekben korlátozzák a fejlődési sebességet befolyásoló egyéb tényezők. Ezek közé tartozik a **fotoperiódus**, amely rizs esetében akár döntő jelentőségű lehet, elsősorban azokon a területeken ahol a hőmérséklet a teljes tenyészidőszakban közel állandó (FUKAI, 1999). A hőmérséklet és a fotoperiódus együttes hatásának leírására a hőösszegen túlmutató, fejlettebb modellek is születtek (YIN et al., 1997a; YIN et al., 1997b). A hazai rizstermesztésben a változó nappalhosszúság kisebb jelentőségű, mivel többnyire a fotoperiódusra alig érzékeny japonica fajták termesztése folyik (SIMONNÉ, 1983), továbbá az igen szűk időintervallumban történő vetés miatt, a fotoperiódus a tenyészidőszakban mindig közel azonos módon változik, illetve hat a rizsre.

A **vízhiány** – a mértékétől, a növényfajtól és a fenofázistól függően – a növények fejlődését lassíthatja, vagy gyorsíthatja. A nem-árasztott körülmények között termesztett rizs esetén a bugafejlődés alatt esetlegesen kialakuló vízhiány a virágzás késését eredményezi (FUKAI et al., 1999; TSUDA és TAKAMI, 1991). LILLEY és FUKAI (1994) megállapítása szerint a szárazság mértékének növekedésével a virágzás egyre későbbre tolódik. Már a talaj kismértékű vízhiánya csökkenti a fejlődési sebességet, komoly szárazság esetén pedig teljesen leáll a fejlődés. Ha a (nem jelentős mértékű) szárazság a

vegetatív szakaszban lép fel, akkor a virágzás csak elhanyagolható mértékben késik (BOONJUNG és FUKAI, 1996).

A **tápanyaggal** általánosan gyengén ellátott területeken a rizs lassabban fejlődik. A tápanyagutánpótlás hatására nem csupán a növények növekedése, hanem az egyedfejlődés sebessége is fokozódik (WONPRASAI et al., 1996). Kisadagú istállótrágya hatására a virágzás 4-7 nappal korábban következett be. Az öntözés és trágyázás együttes hatására a rizs 13 nappal virágzott korábban.

FUKAI (1999) különböző tápanyagellátottság mellett 80 fajtával végzett kísérleteivel hasonló megállapításokra jutott az öntözés és trágyázás hatását illetően, azonban jelentős fajtakülönbségeket is kimutatott. A talaj jó nitrogénellátottsága esetén, a trágyázás, különösen a nitrogén trágyázás a virágzás késését eredményezi.

A növények fejlődését közvetlenül nem a léghőmérséklet, hanem bizonyos **növényi szervek (növekedési pont) hőmérséklete** határozza meg. A két érték közötti szoros korreláció miatt a hőösszeg módszer alkalmazhatósága általában nem csorbul, azonban az árasztott rizs esetében ez nem teljesen egyértelmű. Itt a vízhőmérséklet a fő meghatározó tényező, ami jelentősen eltérhet a léghőtől, főként a kisebb amplitudó, részben az eltérő középhőmérséklet miatt (PETRASOVITS, 1958; WAGNER, 1957). A fenológiai modell pontosítása a vízhőmérséklet modellezésével és annak a hőösszeg módszerbe történő beépítésével lehetséges (CONFALONIERI et al., 2007).

3.1.2. A rizs csírázása és kelése

A rizs fejlődésének vegetatív szakasza a csírázás-kelés fázissal kezdődik. A száraz rizsszem először vizet szív magába. A szem tömegének 25-30%-áig való vízfelvételt („A” fázis/vízfelvételi szakasz) az alacsony hőmérséklet (13-15 °C) nem korlátozza. A csíra növekedéséhez és a tartalék tápanyagok átalakulásához („B” fázis/aktivációs szakasz) további vízfelvételt (tömegének 50%-áig) és magasabb hőmérsékletet, optimális esetben 25-30 °C-ot igényel (SIMONNÉ, 1983). A vízfelvétel többnyire megtörténik az első 18 órában, az aktivációs szakasz időtartama viszont már jelentősen függ a hőmérséklettől. Szűkebb értelemben azt a jelenséget nevezzük csírázásnak, amikor a koleoptil fehér csúcsa kibújik a megnyílt terméshéjon keresztül (csírapattanás).

Bizonyos fajták esetében szárazabb, azaz oxigénben gazdag közegben a radikula előbb kibújhat, mint a koleoptil, de többnyire ennek ellenkezője a jellemző. Oxigénhiányos körülmények között az is előfordulhat, hogy a radikula csak az első levél teljes kifejlődése után jelenik meg (COUNCE et al., 2000).

A **csírázáshoz szükséges minimális hőmérséklet** (fiziológiai bázishőmérséklet) akár jelentős fajtakülönbséget mutat (NISHIYAMA, 1984). A japonica típusba tartozó fajták általában alacsonyabb hőmérsékleten is képesek csírázni, mint az indica fajták (ORMROD és BRUNTER, 1961a). A rövid tenyészidejű fajták többnyire jobban csíráznak alacsony hőmérsékleten, azonban a korreláció nem túl szoros és ennek ellenkezőjére is található példa (NISHIYAMA, 1976). A szakirodalomban fellelhető jellemző értékek: 10 °C alatt (CHAUDHARY és GHILDYAL, 1969), 8 és 13 °C között a fajta függvényében (LEE és TAGUCHI, 1969), 5 °C (HIMEDA, 1973), 8-12 °C (LIVINGSTON és HAASIS, 1933).

A csírázásra a túlságosan **magas hőmérsékletek** is kedvezőtlen hatást gyakorolnak. 40-45 °C felett a rizs már nem csírázik, azonban Magyarországon ez nem jelent reális gyakorlati problémát a vetési időszak éghajlati viszonyai miatt.

NISHIYAMA (1976) a csírázás **optimális tartományának** a 18-33 °C hőmérsékleti intervallumot jelölte meg. Természetesen a csírázási ütem növekszik a magasabb hőmérsékletek felé, azonban a végső csírázási állapotot tekintve nincs lényeges eltérés. Ezzel a megállapítással teljes összhangban ALI et al. (2003) pontosan a 18-33 °C között tapasztalt maximális (90% feletti) csírázási arányt 11 bangladeshi fajta esetében. A fejlődési sebesség maximuma 29,9 és 33,5 °C között, a fajták átlagában 32,1 °C-on volt.

Hazánkban először SZELÉNYI és FRANK (1940) vizsgálták a csírázáshoz szükséges minimális hőmérsékletet, melyet 10-12 °C-ban állapítottak meg.

É. KISS és HADNAGY (1965) 21 fajtaival végzett csírázási kísérletet állandó és változó hőmérsékletek mellett. 6 °C-on csupán megduzzadtak a magvak, de egy fajta esetében sem volt csírázás. 10 °C-on általában megindult a csírázás, de nem alakult ki normális csíra. A 12°C-os hőmérsékletet találták választóvonalnak, ugyanis egyes fajták már jól csíráznak, míg más fajták kevésbé.

SIMONNÉ (1979) a kritikus hőmérsékleti értéktartományt 11-13 °C-ban határozta meg a rizsszem aktivizációs szakaszától kezdődően. E kutatási eredmények hatására a hazai termesztoők, illetve kutatók jellemzően a 12 °C-ot tartják a rizs keléséhez szükséges minimális hőmérsékletnek. A termesztéstechnológiai útmutatás szerint a rizs vetésével meg kell várni azt az időpontot, amikor a talaj felső rétegének (5 cm) hőmérséklete tartósan átlépi a 12 °C-t. LAJTOS (1967) korábbi tanulmányában ennél 1 °C-kal magasabb, 13 °C-os határt javasolta.

A rizs **talajból történő kelése** a csírázáshoz hasonló hőmérsékleti kardinális pontokkal jellemezhető. Megfigyelhető azonban, hogy – ellentétben a csírázásnál tapasztaltakkal – a vizsgálati körülmények (állandó vagy változó hőmérséklet) és a meghatározási módok függvényében egymástól távol álló eredmények is születtek.

A vizsgált vetőmag fiziológiai kora (minősége) szoros összefüggést mutat az alacsony hőmérsékleten történő keléssel, illetve csírázással. ALI et al. (2006) kísérleteiben 21 és 11 °C-on is lényegesen nőtt a csírázáshoz szükséges idő a szemek fiziológiai öregedését kiváltó kezelések hatására, emellett a végső csírázási százalék csökkent. Mindez felhívja a figyelmet arra, hogy vetéshez mindig ellenőrzött, jó vigorral rendelkező vetőmagot érdemes felhasználni.

SIMONNÉ (1962) a vetőágy szerepére hívta fel a figyelmet. Megállapítása szerint őszi szántás esetén a rizs néhány nappal korábban, de főképp egyöntetűbben kel.

A hazai rizstermesztés szempontjából az egyik kritikus pont a **vetésidő helyes megválasztása**, hiszen éghajlati sajátosságainkból adódóan viszonylag rövid az optimális vetési időszak. A túl korai vetés, az alacsony talajhőmérséklet miatt a kelés nagymértékű elhúzódásához és heterogén, többnyire gyenge állomány kialakulásához vezet. A kissé megkésett vetés többnyire egyenletesebb és erőteljesebb állományt eredményezhet, azonban ebben az esetben a későbbre tolódó érzékeny reprodukív fázisok és érés jelent fokozott kockázatot. Ez azt jelenti, hogy a termelőnek a kétféle kockázat mérlegelésével kell kiválasztani a megfelelő vetési időpontot (CATON et al., 1998; SIMONNÉ 1979, 1983).

3.1.3. A rizs vegetatív fejlődési szakasza

A kelést a sziklevel, majd az ezt gyorsan követő első rövid lemezű lomblevél megjelenésével észleljük. Az ezt követő vegetatív fejlődési állapotot a főhajtáson sorra megjelenő levelek számával lehet objektív módon jellemezni (COUNCE et al., 2000). Az első lomblevél kivételével minden további levélnek van levélhüvelye, levéllemeze, nyelvcskéje és fülecskéje. YIN és KROPFF (1996) vizsgálata szerint a levélcsúcs és a nyelvcske megjelenése gyakorlatilag teljesen ekvivalens módon használható a fejlődési ütem jellemzésére.

Hazai vizsgálatok szerint a csírázástól a **3-4 leveles állapot** eléréséig szükséges időtartam optimális adottságok között 20-25 nap, viszont alacsony hőmérséklet esetén akár 40 napig is elhúzódhat (SIMONNÉ, 1983). A fejlődési sebességet leíró részlete-

sebb vizsgálatok hazánkban nem folytak, viszont számos külföldi forrás foglalkozik a kérdéssel.

A két egymást követő levél megjelenése közötti időtartam, a **fillokron** kezdetben rövidebb, később a levélszám növekedésével egyre hosszabb lesz. A növényállomány sűrítése is hatással van a fejlődési sebességre, sűrűbb állomány a fillokron megnyúlását eredményezi (RAISSAC et al., 2004).

SIE et al. (1998a, 1998b) eredményei szerint az első valódi levél megjelenési sebessége (a megjelenéshez szükséges időtartam reciproka) a 14 és 30 °C közötti tartományban lineárisan nő a hőmérséklet emelkedésével. A bázishőmérsékletre az extrapolációs módszer 9-12 °C-t adott. A 2-4. levelek megjelenése lassabb, az ehhez tartozó Tb jelentős fajtánkénti eltéréssel 9 és 14 °C között alakul.

A hőmérsékleti optimum 22-25 °C-os értéke alacsonynak tűnik, bár elképzelhető, hogy a kísérleti helyen (Szahel) ennél magasabb napi középhőmérsékletek esetén a nagy napi hőingadozások, és a délutáni forróság már depressziót okoz. YIN et al. (1996) ugyanerre a fenofázisra 29 °C-os optimumot állapított meg. Az eltérés adódhat az eltérő klimatikus sajátosságokból, mivel az utóbbi kísérletek helyszínén a hőmérséklet kiegyenlített, kis napi hőingadozású, nedvesebb klíma jellemző. ELLIS et al. (1993) négyzetes összefüggéssel írta le a levelek megjelenési ütemét, mellyel 26 °C-os optimum adódott.

Ezek a jelentős eltérések felhívják a figyelmet arra, hogy a kardinális hőmérsékletek csak hasonló környezeti feltételek mellett fogadhatók el, kiemelve ezzel a hazai vizsgálatok szükségességét.

A 3-4 leveles állapot végéig alakul ki a direktvetésű állományok egyik legfontosabb termést meghatározó tényezője, a növény-sűrűség, amelynek optima 250-300 tő/m². Ezután kezdődik a **bokrosodás**, a fajták többségénél a 4. levél kifejlődésével és az 5. levél megjelenésével párhuzamosan. A bokrosodás során a főhajtás levélhónaljaiból elsőrendű mellékajtások, majd azok levélhónaljaiból másod és harmadrendű hajtások is képződhetnek. A produktív (beérő termést hozó) hajtások növényenkénti száma fontos tényező a termés alakításában, az ideálisnál kisebb növény-sűrűséget a bokrosodás sok esetben képes kompenzálni (SIMONNÉ, 1983).

A hőmérséklet bokrosodásra gyakorolt hatását nagymértékben befolyásolja a nap-sugárzás intenzitása és időtartama, így a növény rendelkezésére álló fotoszintetikusan aktív sugárzás mennyisége. A magasabb hőmérséklet nagyobb számú bokrosodási cso-

mó létrejöttét eredményezi. Kedvezőtlen sugárzási viszonyok mellett azonban a csomók egy részéből nem fejlődik új hajtás. Ilyenkor alacsonyabb hőmérséklet mellett több hajtás nőhet. Megfelelő sugárzási ellátottság esetén magasabb hőmérsékleten alakul ki több hajtás (YOSHIDA, 1981).

A bokrosodás mértékének maximumát jelentősen korlátozza a sűrű növényállomány, idejét pedig előbbre hozhatja a megfelelő tápanyagellátottság (főleg N).

A bokrosodás hőmérsékleti optimuma 25 °C körül van. A 33 °C-nál magasabb és a 16 °C-nál alacsonyabb (víz)hőmérsékletek már kedvezőtlenek (CHAUDHARY és GHILDYAL, 1970), sőt már a 32-25 °C-os nappali-éjszakai hőmérséklet is késleltető hatású.

3.1.4. A rizs fejlődésének reprodukív szakasza

A reprodukív szakasz a szárba indulással kezdődik. A főhajtáson a 6-7. levél teljes kifejlődésekor a száralap hengeressé válik, és az első nódusz a száralapon tapintással érzékelhető. Ettől kezdve kialakul a szárcsomókkal tagolt szár.

A főhajtás 8. levelének kifejlődésével a tenyészökúpon megkezdődik a kalászkák differenciálódása, majd a virágok kialakulása. A reprodukív szakasz, sőt a teljes egyedfejlődés hőmérsékleti szempontból legkritikusabb fázisa a virágok redukciója, amely idején a buga még „hasban” van (lásd. 3.2. fejezet). A bugázás a zászlólevél teljes kifejlődése után kezdődik. Az egész állomány bugázása 7-14 napig elhúzódik (SIMONNÉ, 1983).

A **virágzás**, amely határozottan nem különül el a bugázástól, a buga csúcsán kezdődik és az oldalágak csúcsától lefelé halad. Egy buga virágzása 4-5 napig, egy növényé 5-7 napig tart, egy nagyobb állomány elvirágzása pedig 12-18 napig is elhúzódhat (YOSHIDA, 1981; SIMONNÉ, 1983).

A virágzás, illetve az azt megelőző érzékeny fázisok megfelelő időzítése igen fontos, hiszen ez az egyik (plusz anyagi ráfordítást nem igénylő) lehetőség a hidegstressz kórázatának csökkentésére. Ezért a virágzási idő, illetve a kelés (vetés) – virágzás fázishossz meghatározása régóta a fenológiai kutatások középpontjában áll. A virágzás helyett a bugahányás vizsgálata lényegi eltérést nem jelent.

A virágzási időt a növény korábbi fejlődési szakaszainak összideje adja meg. A hőmérséklet hatása viszonylag stabil a teljes periódusban, ugyanakkor a fotoperiódus szerepe jelentősen eltér a növényfejlődés egyes stádiumaiban.

A környezeti tényezőkre (elsősorban a fotoperiódusra) való reakció szempontjából 4 stádium különíthető el (NAKAGAWA és HORIE, 1997; ADAMS et al., 2001):

- (1) a vegetatív alapfázis,
- (2) a bugakezdemény kialakulása előtti fotoperiódusra érzékeny szakasz,
- (3) a bugafejlődés megvilágítás hosszára érzékeny, illetve
- (4) nem érzékeny szakasza.

YIN et al. (1997c) a (2) és (3) szakaszt nem választotta szét a bugakezdemény kialakulási időpontjával, hanem egy egységként kezelte a teljes fotoperiódusra érzékeny szakaszt.

A kelés utáni néhány dekád hosszúságú időszakban tehát a rizs nem érzékeny a megvilágítás hosszára. Az időszakot vegetatív alapfázisnak nevezik. Megjegyezzük, hogy a vegetatív alapfázis más értelmezésben a keléstől a virágdifferentiálódás kezdetéig tartó szakaszt jelöli (MAJOR és KINIRY, 1991). Tartamát döntő mértékben a hőmérsékleti viszonyok határozzák meg. COLLINSON et al. (1992) optimálisához közeli hőmérsékleten (32/26 °C és 28/20 °C) a fajták közötti jelentős eltérések mellett 14-42 napot mért.

A vegetatív alapfázist követően a hőmérséklet mellett már a fotoperiódus hatásával is számolni kell. A rizsfajták jelentős része érzékeny a megvilágítás hosszára. A reproduktív fázis kezdete, azaz a bugadifferentiálódás 9-11 órás napi megvilágítás mellett következik be a leggyorsabban. Hosszabb nappalok késleltető hatásúak olyannyira, hogy a fotoperiódusra legérzékenyebb fajták virágzása napi 14-15 órás megvilágítás hatására akár teljesen el is maradhat (még megfelelő hőmérséklet mellett is).

SUMMERFIELD et al. (1992) a hőmérsékleti és megvilágítási hatás függetlenségét mutatták ki, továbbá két lineáris függvény szorzatát alkalmasnak találták a fejlődési sebesség (virágzási idő) reciprokának leírására. Kísérleteik – összhangban más szerzők megállapításaival – megerősítették, hogy a japonica típusú fajták a hőmérsékletre érzékenyebben, a fotoperiódusra kevésbé érzékenyen reagálnak, mint az indica fajták.

A virágzás leggyorsabban 25-29 °C-os éjszakai és ennél 2-4 °C-kal magasabb nappali hőmérsékleten következik be (YIN et al., 1997c).

A léghőmérséklet mellett a víz hőmérséklet is fontos tényező. Konstans 28 °C-os léghőmérséklet mellett a víz 20 °C-ról 28 °C-ra történő melegítése eredményeképpen a virágzáshoz szükséges idő 17 nappal lerövidült (COLLINSON et al., 1995).

A vetéstől a bugahányásig TORIYAMA et al. (1969) adatai szerint 1000-3000 °Cnap hőösszeg szükséges. Ez természetesen az aktív hőösszeg, azaz a napi közepék 0 °C feletti értékeinek összege. Az igen széles intervallum egyrészt fajtakülönbségeket takar, másrészt eltérő éghajlati körülményeket. A mérsékelt övben tavasszal vetett növények esetén adódtak a magasabb értékek, mivel az alacsony hőmérsékletek kevésbé, vagy egyáltalán nem hatékonyak. Az effektív hőösszeg használata ezt az inhomogenitást kiküszöböli, a nagysága lényegesen kisebb ingadozásokat mutat: 600-1000 °Cnap (YOSHIDA, 1981).

Hazai vizsgálatok folytak Szarvason. IPSITS (1993) számításai szerint 9 rizsfajta átlagában a vetés-bugahányás időszak effektív hőösszege az 1986-1989 időszakban meglehetősen egységesen, 767 és 842 °Cnap között alakult.

3.1.5. A rizs érése

Az érés fázisa a szem méretének és tömegének növekedésével, nedvességtartalmának fokozatos csökkenésével, a pelyva színének változásával és a levelek előregeedésével jellemezhető. A szárban és a levelekben a bugázás előtt felhalmozódott szénhidrátok egyrésze a szembe szállítódik. Az érés korai fázisában a szemek zöldek, később sárgás, illetve barnás színűvé válnak. A konzisztenciájuk is változik, a kezdeti tejszerű, félfolyékony állapot után fokozatosan megkeményednek. Ezen változások alapján az érési időszakot három alfázisra bonthatjuk, úgymint tejes-, viasz- és teljes érés. A szemtelítődés kedvező feltétele a 20 °C feletti hőmérséklet és a sok napfény (SIMONNÉ, 1983).

Az egyes rizsszemek növekedési, telítődési ütemét a hőmérséklet jelentősen befolyásolja. Magas hőmérsékleten a növekedés és a vízveszteség üteme gyorsabb, így a szemtelítődési periódus (a maximális szemtömeg eléréséhez szükséges napok száma) rövidebb. Egy japonica típusú japán rizsfajta esetében 28 °C-os konstans hőmérsékleten 18 nap, 22 °C-on 27 nap, míg 16 °C-on már 43 nap volt az időszak hossza. A kialakult végleges szemtömeg viszont ezzel ellentétesen alakult, 16 °C-on (és közelítőleg 22 °C-on is) mintegy 15%-kal nagyobb lett a kifejtett szem tömege, mint 28 °C-on (YOSHIDA, 1981). Főként kevés napsütés esetén jelentkezik kifejezetten a túlságosan magas hőmérséklet káros hatása. Ez érthető, hiszen ekkor a fejlődési fázis lerövidülése miatt kevesebb idő áll rendelkezésre a szénhidrátok asszimilációjához és szemekbe történő beépülésükhöz.

A szemtelítődés optimális hőmérsékleti intervallumát a szerzők 16-22 °C-ban adták meg, viszont magyarországi körülmények között az évek egy részében az alacsonyabb hőmérsékleti határ már problémát okozhat az érés lassúsága miatt. Hűvösebb éghajlatú rizstermő területeken (pl. hazánk) az érés sebessége az évek egy részében fontosabb tényezővé válhat, mint a szemtömeg.

Hazánkban az érés hossza az időjárástól és a fajtától függően jellemzően 35-55 nap. A szem teljes kitelése az elvirágzás után 25-30 nappal befejeződik (viaszerés), ezután csak a víztartalom csökken a teljes érésig. A csíra a termékenyülés utáni 15-35 napra teljesen kifejlődik, azaz csírázóképesé válik.

Az éréshez szükséges (aktív) hőösszeg igény GYULAY és KÁLLAY (1948) szerint 2600-2700 °Cnap, SIMONNÉ (1983) szerint 2600-3000 °Cnap, a legkorábbi fajtáknál 2300 °Cnap. A jelenleg is termelt hazai fajtákra vonatkozóan nincsenek publikált adatok.

É. KISS (1980) a virágzástól érésig szükséges napok számát vizsgálta. Megállapítása szerint az aktív hőösszeg helyett az effektív hőösszeg segítségével kapunk pontosabb eredményeket. 8°C-os bázishőmérséklettel számolva 500-560 °Cnap-ra van szükség az éréshez, mely júliusi virágzásnál 36-39, augusztus 10-inél 44, augusztus 20-inál 54 napot jelent átlagosan. Ennél későbbi virágzás esetén az évek jelentős részében már nem érik be a rizs.

3.2. Hidegstressz

A rizs trópusi eredetű növény, azonban egyes altípusai jól alkalmazkodtak a mérsékelt övben jellemző hőmérsékleti és megvilágítási viszonyokhoz. Napjainkban egészen a D.sz. 35°-ig az É.sz. 53°-ig (IRRI, 2002) kitolódott a termesztés határa. A magasabb földrajzi szélességeken, a hőmérsékleti szempontból marginális rizstermő területeken (pl. É-Japán, É-Kína, É-Korea, É-Olaszország, D-Ausztrália és Magyarország) az alacsony hőmérséklet egy fontos kockázatot jelent és az évek egy részében termés kiesést eredményez. Ez a kockázati tényező természetes, hiszen ha nem volna, akkor a termesztés a még hűvösebb területeken is tért hódítana.

A hidegstressz két típusát különböztetjük meg (ISHIZUKA et al., 1973; SATAKE, 1976; SIMONNÉ, 1979):

- (1) a tenyészdő káros megnyúlását eredményező (delayed growth type) és
- (2) a virág-, illetve bugasterilitást okozó típust (sterile-type, destructive type).

3.2.1. A tenyészidő káros megnyúlása

Az 1. típusú hidegstressz, a tenyészidőszak megnyúlása hosszabb, az átlagosnál hűvösebb periódusok hatására következik be. A növényt irreverzibilis károsodás nem éri, azonban a fejlődése lelassul. Ez közvetett módon okoz kárt azáltal, hogy az érés ősszel későbbre, kedvezőtlen időjárású szakaszra tolódik. A szemtelítődés és így a termés a vártnál alacsonyabb, ami mellé általában nagyobb betakarítási veszteség és gyengébb minőség párosul. A hidegstressz ezen típusa főként a közepes és hosszú tenyészidejű fajtákra jellemző. Az egyes fenofázisok tartamának hőmérsékletfüggését az előző fejezetekben tárgyaltam részletesen.

A virágzási idő késése (1. típusú stressz) önmagában még nem okoz termés kiesést. Hazánk éghajlati viszonyai miatt azonban ekkor a nagyobb valószínűséggel bekövetkező lehűlések miatt megnő a steril típusú hidegstressz kockázata. A fajta- és vetésidő megválasztásával törekedni kell arra, hogy a virágzás lehetőleg a július 20- augusztus 5-ig terjedő időszakra essen. Sokévi átlagban ez a legmelegebb időszak Magyarországon (SIMONNÉ, 1979).

Pontosabb információk a hosszú éghajlati adatsorok statisztikai elemzésével nyerhetők. Először definiálni kell, hogy milyen hőmérsékleti viszonyokat tekintünk kedvezőtlennek, majd ezek bekövetkezési valószínűségét kell meghatározni az egyes napokon, pentádokban vagy dekádokban. Fenológiai modellel kiválasztható a legkedvezőbb vetési időpont (FARRELL et al, 2006b). Az átlagosan legmelegebb időszak nem feltétlenül a legkisebb kockázatú a rizs szempontjából.

Az alacsony hőmérséklet, illetve a viszonylag rövid rendelkezésre álló tenyészidő még közvetettebb módon is hat a termésátlagokra azáltal, hogy nem nyílik lehetőség bizonyos nagy (sőt, a legnagyobb) potenciális termőképességű, fajták termesztésére.

3.2.2. A steril-típusú hidegstressz

Az irreverzibilis károsodást jelentő – többnyire csak részleges – virág-, illetve buga-sterilitást az érzékeny időszakokban fellépő, akár csak rövid ideig (néhány nap – egy hét) tartó alacsony hőmérsékleti értékek okozhatják. A károsodás utáni esetleges kedvező időjárás a termés kiesést csupán részben képes kompenzálni.

A hőmérsékleti hatás rendkívül összetett módon alakítja a sterilitás mértékét. Intenzív kutatás folyik az érintett országokban (főleg Japán és Ausztrália), ahol jelenleg – az egyes részjelenségek feltárását követően – a hidegstressz komplex modellezése került a kutatások középpontjába. Célirányos hazai vizsgálatok nincsenek, pedig az eltérő

éghajlati feltételek, fajták és agrotechnika ezt szükségessé tenné. A továbbiakban a téma ökológiai vonatkozásait tekintem át, ugyanis a morfológiai változások, a fiziológiai, illetve sejtszintű folyamatok (NISHIYAMA, 1997; MAMUN et al., 2006; SATAKE, 1976) tárgyalása túlmutat a dolgozatom témáján.

A **virág-, illetve bugasterilitást** okozó hőmérsékleti hatásról a következők állapíthatók meg (komplex értékelésük meglehetősen bonyolult feladat):

- a növény érzékenysége változik az egyedfejlődése során (több szélsőértéke is van);
- az adott fázis alatti érzékenységet befolyásolhatja egy korábbi hatás;
- a növény különböző szervei eltérő hőmérsékleti viszonyok között vannak (talaj, víz, levegő, ez utóbbiban a sugárzási hatás is inhomogén);
- nem egyértelmű, hogy a változó hőmérséklet mellett, milyen hőmérsékleti paraméterrel (átlag, minimum, index) jellemezzük a hideghatás mértékét;
- állandó hőmérsékleten a reakció eltérő lehet, mint a természetes körülmények között;
- a hideghatás tartama is rendkívül fontos befolyásoló tényező.

SIMONNÉ (1979) külföldi kísérleti eredményekre alapozva és a hazai tapasztalatok által megerősítve megállapította, hogy a virágszervek képződésének kezdeti stádiumában (termő és pollen sejtosztódása), 15-17 °C-ra csökkenő és 5-6 napig tartó léghőmérséklet a buga teljes sterilitását okozza. A reprodukív szervek sejteinek drasztikus károsodása miatt lehetetlenné válik a megtermékenyülés. E fázis ideje a bugázást megelőző 10-11. napra tehető és fajtánkénti pontos meghatározása a két legfelső levél fülecskéjének egymáshoz való távolsága alapján lehetséges.

A részleges, de nagyarányú bugasterilitás (30-40%) a pollenfejlődés későbbi fázisában, vagy a virágzás idején 5-6 napig tartó 18-20 °C-ra csökkenő hőmérséklet következménye. Mivel az egyes növények és így az állomány virágzási ideje is elhúzódik, a rövidebb idejű lehűlés mérsékeltebb sterilitást (20-25%) idéz elő.

Ezzel összhangban SASAKI és WADA (1973) szabadföldi kísérletei szerint a rizs legkritikusabb fejlődési állapota fajtától függően a bugázást megelőző 7-14 nap, amely gyakorlatilag a „buga hasban” állapotot foglalja magába. A második legérzékenyebb fejlődési fázis a bugahányás-virágzás időszaka.

HAYASE et al. (1969) némileg eltérően az eddig leírtakkal a második legérzékenyebb szakasznak a bugadifferenciálódás időszakát (mintegy 24 nappal a virágzás előtt)

találta. Kutatásaik azt is alátámasztották, hogy a sterilitás főleg a pollen rendellenességéből származik.

SHIBATA et al. (1970) kontrollált körülmények között, különböző nappali/éjszakai hőmérséklet kombinációk esetén vizsgálta a bugasterilitás mértékét. A bugahányás idején 3 napig tartó 20/8 °C-os kezelés 16%-os, míg a virágzás idején csak 8%-os sterilitást okozott. Ugyanez a hőmérsékleti hatás 9 napon keresztül alkalmazva 53, illetve 73%-os sterilitáshoz vezetett, tehát a virágzási stádium vált érzékenyebbé. Az ezzel azonos középhőmérsékletű 14/14 °C-os kezelés mellett 11 és 8%, illetve 41 és 56% volt a steril virágok aránya, azaz a hűvös éjszakák hatása hangsúlyosabban nyilvánult meg.

Hasonlóan az éjszakai hőmérséklet meghatározó szerepét emelte ki FARRELL et al. (2006a). Vizsgálataik szerint az érzékenyebb fajták esetében akár 15 °C feletti éjszakai hőmérséklet is kiválthat bugasterilitást, míg a toleráns fajtáknál kevéssel 13 °C alatt van a kritikus érték.

Azonos éjszakai és különböző nappali hőmérsékletek mellett végzett kísérletek azt bizonyítják, hogy a melegebb nappalok némileg képesek enyhíteni az éjszakai hideghatást (YOSHIDA, 1981; SHIBATA et al., 1970).

A hideghatásra érzékeny szerv maga a fejlődő buga. A fejlődő bugakezdemény a szár belsejében felfelé halad. A hőmérsékletét kezdetben a víz, majd a levegő hőmérséklete határozza meg döntő mértékben, bár a két közeg hőmérséklete természetes körülmények között szorosan összefügg. SHIMONO et al. (2005) a bugakezdemény hőmérsékletét az elhelyezkedése és a vízmagasság viszonya alapján a víz- vagy a léghőmérséklet értékével becsülték (azonosították) és így a hidegstressz pontosabb modelljéhez jutottak. A kísérleteikben a napi középhőmérséklet a napi minimumnál jobb prediktornak bizonyult. Ez nincs ellentmondásban a korábbi megállapításokkal, miszerint az éjszakai hőmérséklet nagyobb hatású, mint a nappali hőmérséklet.

Az árasztóvíz a levegőnél lényegesen kisebb hőingadozásokat mutat. A víz nappal jellemzően hűvösebb, viszont éjszaka melegebb mint a levegő, sőt napi átlagban is többnyire a víz rendelkezik némi hőtöbblettel. Ebből a tényből adódik, hogy az árasztóvíz alkalmas arra, hogy megvédje az érzékeny bugakezdeményt a hideg károsító hatásától, legalábbis a generatív szakasz első időszakában. Tartós lehűlések végén, illetve az azt követő felmelegedés elején ezzel szemben a víz a hűvösebb, potenciális veszélyt jelentve a benne elhelyezkedő érzékeny növényi résznek. Mindebből következik,

hogy az árasztóvíz fontos eszköz lehet a hidegstressz kockázatának csökkentésében. A nem megfelelő vízkezelés azonban akár növekvő bugasterilitást is okozhat (WAGNER, 1966; POLGÁR, 1961; SIMONNÉ, 1983; SHIMONO et al., 2005).

A Föld néhány rizstermő területén külön gondot jelent a túl hideg árasztóvíz. Magas hegyvidékek lábánál a folyók vize, különösen a mélyebb tározókban, lényegesen alacsonyabb hőmérsékletű lehet, mint a levegő. Emiatt a kedvező klimatikus viszonyok ellenére is kialakulhat hidegstressz nem megfelelő vízkezelés esetén (ROEL et al., 2005).

A bugasterilitás becslésének egyszerű módja, ha egy bizonyos fenofázis (pl. „buga hasban” állapot) középhőmérsékletét használjuk fel a regressziós összefüggés meghatározására (DINGKUN et al., 1995). Ez a módszer azonban nem képes figyelembe venni a növényi érzékenység időbeli változását. Ennél is nagyobb problémát jelent, hogy a rövidebb, károsítóan alacsony hőmérsékletű időszakokat az átlagolás teljesen elfedheti.

Ezt a gyengeséget kiküszöböli és emellett a hideghatás idejét és mértékét is képes jellemezni a lehülési fok-napok v. hidegösszeg koncepciója (cooling degree-day). A hőösszeg módszerrel ellentétben itt egy bizonyos hőmérsékleti küszöbtől lefelé irányuló eltéréseket kell összegezni (GODWIN et al., 1994). SHIMONO et al. (2005) az adott fejlődési időszak érzékenységét is figyelembe véve a következő módon határozta meg a hidegösszeget (CDD):

$$CDD = \sum CD \cdot W(DVI) \quad (2)$$

$$CD = T_b - T, \quad \text{ha } T < T_b \quad \text{és } CD = 0, \quad \text{ha } T > T_b \quad (3)$$

ahol T a napi hőmérséklet (minimum vagy átlag), T_b az a hőmérséklet, ami alatt a károsodás megindul, $W(DVI)$ a fejlődési állapot (DVI) függvényében adja meg a növény hidegstresszre való érzékenységét.

A napi hőmérséklet jelentheti a levegő-, a víz-, illetve a bugakezdemény hőmérsékletét. Az érzékenységet leíró függvény pontossága fontos a modell szempontjából. Ha jól adjuk meg, akkor javítja a modellt. Ellenben, ha az adott fajtára nem ismerjük pontosan W -t, illetve a fejlődési állapotot a hőösszeg függvényében, akkor jelentősen nőhet a modell bizonytalansága. Ekkor javasolható $W=1$ konstans értékkel számolni (azaz az érzékenység változását figyelmen kívül hagyni), mert így is megfelelő eredményekhez juthatunk.

A hidegösszeg (CDD) és a kialakuló bugasterilitás közötti kapcsolat regresszió számítással feltárható. Legjobb illeszkedést a logisztikus függvény mutat. Kis CDD

esetén csak lassan, aztán fokozott ütemben nő a károsodás. Bizonyos CDD felett pedig már csaknem teljes a bugasterilitás, ekkor a kapcsolat telítési- függvény szerint alakul.

A bugasterilitás mértéke nem magyarázható teljesen a bugakezdeményt érő hideghatással (pl. CDD). SHIMONO et al. (2007b) vizsgálatai szerint a bugakezdemény kialakulását megelőző vegetatív fejlődési szakasz hőmérsékleti viszonyai is hatással vannak a reprodukzív fázisban mutakozó hidegérzékenységre. Kísérleteik szerint, ha a rizs vegetatív fejlődési szakaszában alacsonyabb a levegő, illetve különösen a víz átlaghőmérséklete, akkor a növény a későbbiekben érzékenyebben reagál a lehűlésekre. A vegetatív szakaszban fellépő hűvös időjárás önmagában viszont nem okoz bugasterilitást.

GUNAWARDENA et al. (2003a) szerint a gyökérzóna alacsony hőmérséklete fokozza a bugasterilitást abban az esetben is, ha a bugakezdemények ugyanannak a lehűlésnek vannak kitéve.

ZHANG et al. (2001) a gyökér/föld feletti rész arányának szerepét vizsgálták. Kimutatták, hogy a relatívan kisebb gyökérrésszel rendelkező növényegyedek nagyobb érzékenységet mutatnak a hidegstresszre. A korlátozott gyökérnövekedés tehát e közvetett módon is hozzájárulhat a termésdepresszióhoz.

Számos – köztük több hazai – kutatás bizonyítja, hogy a bugák teljes vagy nagyarányú sterilizálásában megnyilvánuló „hidegkár” a bőséges nitrogén ellátottsággal szoros kapcsolatban van. A N műtrágya mennyiségének megválasztásakor célszerű erre a jelenségre is figyelemmel lenni azokon a termőterületeken, ahol reális esélye van a hidegstressznek (SIMONNÉ, 1979; ISHIZUKA et al. 1973; GUNAWARDENA et al., 2003b; GUNAWARDENA és FUKAI, 2005). Különösen fontos ez a szárazrizsnél, ahol az árasztóvíz kedvező hatásával nem számolhatunk (WILLIAMS és ANGUS, 1994).

3.3. Az időjárás és a rizs termésének kapcsolata

A fejezetben először röviden áttekintem azokat a módszereket, amelyek alkalmasak a növény termésének (termésátlagának) az időjárási tényezők függvényében történő becslésére. Ezután a rizsre vonatkozó konkrét összefüggéseket, korábbi eredményeket mutatom be. A vizsgálataim során alkalmazott statisztikai módszerek eredménye – a módszer jellegéből adódóan – csak a magyarországihoz hasonló éghajlati viszonyok és termesztéstechnológia esetén alkalmazható. Emiatt az irodalmi áttekintésnél zömében a hazai forrásokra támaszkodtam, ellentétben más fejezetekkel, ahol az összefüggések jóval általánosabb érvényűek.

3.3.1. Az időjárás és a termés kapcsolatának vizsgálati módszerei

Az időjárásnak a termésre kifejtett hatása az évenkénti termésingadozásokban nyilvánul meg. A mezőgazdasági szakemberek ezt a jelenséget egyszerűen „évjáráthatásnak” nevezik, ami nem utal – az egyébként ismert – kiváltó tényezőre. A kapcsolat sajátosságainak jellemzésére, számszerű alakulásának a megállapítására sokféle módszer ismeretes. A módszerek „fejlettsége”, bonyolultsága és pontossága eltérő, de megállapítható, hogy mindegyiknek van elméleti vagy gyakorlati használati értéke és természetesen egyik sem tökéletes.

A várható termés(átlag) becslésére használható módszerek csoportosításában és elnevezésben igen sokféle változattal találkozhatunk. BAIER (1977) és ezt követve DUNKEL (1984) a következő felosztást javasolta:

- empirikus-statisztikus módszerek;
- növény-időjárás analitikus modellek;
- szimulációs modellek.

VARGA-HASZONITS és TÓTH (1990) értelmezésében – az előbbiektől kissé eltérően – statisztikus és dinamikus modellek különíthetők el. A statisztikus modellek tovább feloszthatók empirikus-statisztikai és fizikai-statisztikai modellekre, valamint kombinálhatók a dinamikus modellekkel dinamikus-statisztikus modellekké. A szerzők utaltak rá, hogy a fogalomrendszer egységesítése nehézkes, mivel a modelleket különböző szakterületek kutatói dolgozzák ki.

SZÁSZ (1988) az agrometeorológiai modelleket felépítési elvük alapján csoportosítva három típust: a statisztikai, a fizikai és a dinamikus modelleket különbözteti meg, és bizonyos egyszerű empirikus és statisztikai vizsgálatokat nem sorol a modell kategóriába.

3.3.1.1. Empirikus módszerek

Az empirikus módszerek közös jellemzője, hogy az időjárási elemek és a termésátlag kapcsolatának feltárása egyszerűen az adatok összevetésével, többnyire valamilyen statisztikai módszer segítségével történik.

Igen egyszerű a **grafikus eljárás**, amely vizuális információt nyújt egy-egy meteorológiai paraméter és a termésátlag kapcsolatáról. Lehetőséget biztosít az optimális feltételek vagy a szélsőségesen káros helyzetek felismerésére. Objektív, számszerű összefüggést önmagában alig szolgáltat, azonban hasznos segítséget nyújt a továbblépéshez. Jó kiindulási pont lehet minden fejlettebb vizsgálati módszer esetén is.

Az empirikus módszerek közé tartozik a **Baumann-féle eljárás** is. Alkalmazásakor a terméssor alapján ki kell választani néhány (3-4) nagy termésű és ugyanannyi minimális termésű évet. Ezután mind az alacsony, mind a magas termésű évjáratokra külön-külön meghatározzuk a meteorológiai elemek egyes havi értékeinek átlagát. Így elemenként két adatsorhoz jutunk: a kis és nagy termésátlagú évek elemeinek a tenyészidőszak alatti havi idősoraihoz. Ha e két sor között valamely időszakban szignifikáns különbség áll fenn, akkor a terméseltéréseknek időjárási hatás az okozója. A legnagyobb eltéréseket mutató időszakok a kritikus időszakok. Az egyes meteorológiai elemek kritikus időszakai természetesen eltérő naptári időszakra eshetnek. A Baumann-elv eredményes alkalmazásának feltétele, hogy az egyes elemek hiánya és többlete ne okozzon egyszerre termés kiesést, mert ekkor a rossz évek átlagában az adott elem átlaga közel lehet az optimális évekbeli átlaghoz (SZÁSZ, 1988).

3.3.1.2. Statisztikai módszerek

A statisztikai módszer napjainkban is gyakran használt eljárás a termésátlag becslésére. Közös jellemzőjük, hogy az időjárási paraméterek és a termés (és más növényi jellemzők) kapcsolatát csak a matematikai statisztika eszközeivel vizsgálják. Ez leggyakrabban egy regressziós összefüggés kiszámítását jelenti, amely lehet egy- vagy többváltozós, a meteorológiai paraméterek számának megfelelően. Legegyszerűbb a lineáris összefüggés keresése, azonban ha egy elemnek a hatásfüggvénye ettől eltérő (grafikus módszer jelentősége), akkor egy megfelelően megválasztott nem-lineáris függvénnyel jobb eredmény érhető el.

Az alkalmazást korlátozza, hogy kellően **hosszú, homogén**, statisztikai feldolgozásra alkalmas **adatsort** nehéz előállítani. Ennek fő oka az agrotechnikában és a fajta-használásban bekövetkező változás, amely a termésátlagokban is megnyilvánul. A probléma feloldása érdekében ez utóbbi említett nem meteorológiai hatásokat el kell különíteni az időjárás termésre gyakorolt hatásától. Megfelelő megoldást jelent a termésátlag trendjének meghatározása, valamilyen analitikus (lineáris vagy nem-lineáris) függvény, illetve mozgó átlagok (pl. harmonikus súlyozású) segítségével (VARGA-HASZONITS, 1986; VARGA-HASZONITS, 1987b; DUNKEL, 1997). A trend az agrotechnika és a fajta hatását kifejezi. A trendtől való eltérés pedig az adott év időjárásával magyarázható.

Az **additív időjárás-termés modellek**nél (Iowa-index módszer) az időjárás hatását a tényleges termés és az adott év trendértéke közti különbség fejezi ki, és ezt hozzák regressziós összefüggésbe a meteorológiai elemekkel:

$$M(t) = Y(t) - Y_{tr}(t) = f(m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (4)$$

ahol $M(t)$ a meteorológiai hatás, $Y(t)$ a tényleges terméshozam, $Y_{tr}(t)$ a terméshozam trendértéke, az $m_1, m_2, \dots, m_k$ pedig a meteorológiai hatótényezők.

Sok esetben megfigyelhető, hogy magasabb termésszinten az időjárasi hatások nagyobb termésingadozásokat okoznak. Ez esetben **multiplikatív modell**, azaz trendarány módszer alkalmazása indokolt, melynek formája:

$$M(t) = \frac{Y(t)}{Y_{tr}(t)} = f(m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (5)$$

ahol $M(t)$ a meteorológiai hatás, $Y(t)$ a tényleges terméshozam, $Y_{tr}(t)$ a terméshozam trendértéke, az $m_1, m_2, \dots, m_k$ pedig a meteorológiai hatótényezők (VARGA-HASZONITS et al., 2006).

A statisztikai módszer további hibaforrása, hogy a hosszú adatsor mindig ismeretlen veszteségi tényezőkkel terhelt szántóföldi termésmennyiséget jelent. A függő változó (termés) pontossága elmarad a független változó (időjárasi adat) pontosságától.

3.3.1.3. Növény-időjárás analízis modell

Az analízismodellek átmenetet képeznek a statisztikus és a szimulációs modellek között (DUNKEL, 1997). A módszer a termés adatsorok kvantitatív és kvalitatív elemzésén alapul. A termésátlag-időjárás kapcsolatot előzetes elemzésnek veti alá, s meghatározzák a jó, illetve rossz termést adó időjárásokat, az azokat leíró meteorológiai adatkombinációkat (faktorokat). Ezen a módon a modellbe beépíthetők a korábbi tapasztalatok adta információk, még olyan szubjektív információk is (pl. termelői tapasztalatok), amelyeket a statisztika természeténél fogva nem tud kezelni.

A modell erőssége, hogy a statisztikai módszerek számára túlságosan rövid és nem teljesen inhomogén adatsor esetén is jól működik.

3.3.1.4. Szimulációs modellek

Jellemzően számítógépes program formájában realizálódó, összetett felépítésű növény-talaj-időjárás modellek tartoznak ebbe a kategóriába. Az elnevezés abból származik, hogy a modell végigkíséri a növényt szinte egész életén keresztül, napi felbontásban követi a növény tömegében és egyéb paramétereiben (pl. LAI) bekövetkező változások-

kat. A termésátlag a megfelelő növényi szerv v. szervek, adott időpontra (pl. biológiai érés, gazdasági érés, betakarítás) elért tömegével azonosítható, természetesen megfelelő nedvességi állapotra és területegységre vonatkoztatva.

A modell központi része a növényi tömeggyarapodás leírása. Ez két elemből tevődik össze: a fotoszintézis során keletkező produktum és a légzés során eltávozó anyagmennyiség különbségéből. A modell mindig a szárazanyag változását adja meg úgy, hogy a fotoszintézis helyén lejátszódó eseményeket követi nyomon, a környezeti (talaj, légkör), valamint a növény saját belső (minőségi, mennyiségi) változásai függvényeként. Az aktuális növényi állapot a megelőző időszak tömeggyarapodásainak összegként áll elő (DUNKEL et. al., 1987). A szimulációs modell felépítése tehát annyi, mint megadni a

$$\frac{dP}{dT} = f(P, S, A) \quad (6)$$

összefüggést, ahol P a növény, S a talaj és A a légkör állapotát jellemzi. Egy működőképes modell több önmagában is rendszerint igen bonyolult al-modellből áll. Az egyes al-modellek

- a meteorológiai almodell (hőmérséklet, nedvesség, sugárzás);
- a talajban lejátszódó folyamatok (talajnedvesség változása, eloszlása);
- a levélen, levélben lejátszódó folyamatok (fotoszintézis, légzés);
- a növényállományban lejátszódó folyamatok (levélfelület index alakulása, sugárzás stb. eloszlása az állományban);

együttesen alakítják ki a növényzet fejlődését (DUNKEL és ZÁRBOCH, 1980).

3.3.2. Az időjárás és a rizs termése közötti összefüggés Magyarországon

A rizstermesztési kísérletek hazánk jelenlegi területén az 1900-as évek első évtizedeiben kezdődtek el. Ekkor a fajták és a termesztéstechnológia vizsgálata volt az elsődleges szempont. Ugyanakkor felismerésre került az időjárás igen fontos szerepe. Az akkori fajtaválasztéknál az időjárás, illetve a fajták fő értékelési szempontja az volt, hogy a fajta megfelelő időben érjen be. A jó és rossz termést az egyes években a rizs számára kedvező, illetve kedvezőtlen időjárással indokolták. Az időjárás hatását többnyire leíró jelleggel értékelték és nem állapítottak meg statisztikára alapuló összefüggéseket (a korreláció és regresszióanalízis csak az 1950-es évektől kezdett elterjedni).

SZABÓ (1924) szerint a rizs ott termeszthető eredményesen, ahol a hosszú tenyészidejű kukorica beéri.

ZAHORÁN (1929) Békéscsabán végzett kísérletei alapján lényeges eltéréseket talált hazai, bolgár és olasz rizsfajták tenyészidejében és magyarországi termesztetőségében.

KRASZNAY és REICHENBACH (1935) a Sarkadkeresztúr melletti Varsányhelyi rizstelepen folyt kísérletek évenként jelentősen változó ($7-28 \text{ q ha}^{-1}$) termésátlagát és a tenyészidőszak hosszának változatos alakulását az időjárási hatással indokolták.

OBERMAYER és SOMORJAI (1937), illetve OBERMAYER (1940) a rizs éghajlati igényét a hazai éghajlati adottságokkal összevetve a rizstermesztés északi határát a Barcs-Szigetvár-Szekszárd-Kalocsa-Kecskemét-Szolnok-Debrecen vonalban jelölte meg. Azt is megállapították, hogy „hűvös, szeles és borult nyarú évjáratban”, mint pl. 1933 volt, még a legrövidebb tenyészidejű fajták termesztése is kockázatos.

A termesztés javasolt északi határát BACSÓ (1973) lényegében ugyanezen Barcs-Szigetvár- Székesfehérvár- Szolnok- Debrecen vonalban, a 21 °C -os hőmérsékleti izotermának és a 3100 °C -os aktív hőösszegnek megfelelően adta meg.

A rizs járványos barnulósos betegsége (***Piricularia oryzae* Cav.**) a „**bruzóne**” 1955-ben rendkívül nagy károkat okozott. Kiderült, hogy a betegség kialakulása szoros összefüggésben van az időjárással, így az ezt követő években a rizs agrometeorológiai vizsgálatának a középpontjába ez a téma került.

ANDÓ és VÁMOS (1959) a napfénytartamnak a bruzóne betegség kialakulásában betöltött irányító szerepét állapította meg. A napfény bősége az alacsony hőmérséklet káros, míg hiánya a meleg időjárás kedvező hatásait képes ellensúlyozni.

A rizs barnulósos betegségét a csapadékos, hűvös időjárással is kapcsolatba hozható. A nagyobb esőzések után az árasztóvíz hirtelen lehül, és hűti az alatta levő talajt, valamint a felette levő légréteget is. Ha ez a szokatlan hőmérsékleti eloszlás több napon át tart, a rizs betegsége bekövetkezhet (KISS, 1959).

WAGNER (1958) ennek bizonyítására mesterséges hűtési kísérletet állított be szabadföldi viszonyok között. A hűtést naponta két alkalommal 12 °C -os kútvízzel és jéggel végezték. A megbetegedés a hűtött parcellán 30%-os, a kontroll területen csupán 5%-os volt (borongós időjárás esetén).

SZÁSZ (1961) – hazánkban elsőként – az időjárási elemek rizs termésére gyakorolt hatását **statisztikai módszerekkel** részletesen elemezte. A vizsgálatok négy megyére (Szolnok, Békés, Csongrád és Hajdú-Bihar) külön-külön készültek. Ezek a közigaz-

gatási egységek lényegében az akkori négy legfontosabb hazai rizs-termőtájt - Közép-Tisza-vidék, Körösök-vidéke, Alsó-Tisza-vidék és Hortobágy - foglalták magukban.

A termésátlagok statisztikája szerint Csongrád és Békés megye területe bizonyult legkedvezőbbnek a rizs termesztésére, mivel e két megyében legmagasabb a termésátlag, s évek közötti szóródása is legcsekélyebb: mindössze 20-25%-ot tesz ki. Szolnok megyében az országos viszonylatban magas termésátlag viszont erősen szóródik. A vizsgált termőtájak közül Hajdú-Biharban találták a legkedvezőtlenebb viszonyokat, mivel ezen a tájon az alacsony termésátlag nagy szóródással párosul. Ezen viszonyok kialakulásában a környezeti, sőt technikai tényezők komplex hatása nyilvánul meg, de az időjárás mindenképpen meghatározó. A szerző a statisztikai vizsgálat eredményeit 8 pontban foglalta össze.

- (1) Az egyes időjárási elemek döntő módon hatnak a termés nagyságára, különösen a három nyári hónapban (június, július, augusztus).
- (2) A termésre legnagyobb mértékben ható elemek: átlagos havi hőmérséklet, havi átlagos maximum, a csapadék összege, a napfényes órák száma. Az átlagos napi ingás, de különösen az átlagos napi minimum szerepe nem jelentős a termés kialakításában.
- (3) Az egyes elemek kritikus hónapjai nem azonosak a fontosabb rizstermő tájakon. A hőmérséklet szerepe a nyár elején, különösen a déli termőtájakon dombozódik ki, míg a napfénytartam hatása csekély, tehát délen a hőmérséklet túlkompenzálja a napfényes órák számának hatását. Északon ellentétes helyzet alakul ki: nyár elején a napfénytartam fontossága az elsődleges, a hőmérsékleté pedig másodlagos lesz. Nyár közepén és végén nincs lényeges különbség az említett elemek hatásának nagyságában.
- (4) A csapadék a velejáró lehűléssel, valamint az árasztóvíz hűtésével hat károsan. A csapadék e vizsgált négy termőtájon egyaránt júliusban a legdöntőbb. A júliusi csapadék növekedésével a termés csökken.
- (5) A havi átlagos hőmérséklet, a havi csapadékösszeg, és a havi napfényes órák száma legnagyobb együttes hatásának ideje tájanként változik. Az Alsó- és Közép-Tisza-vidéken az augusztus, a Körösök-vidéken és a Közép-Tiszántúlon a július a legmeghatározóbb hónap.
- (6) Az ország déli részén az időjárásnak lényegesen kisebb szerep jut a termés kialakításában (kb. 65%), mint az északabbi tájakon (kb. 89%).

(7) A déli termőtájakon kedvezőbb a nagy termés kialakulásának időjárási feltétele, mivel a kritikus hónapok sokéves átlagértékei közelebb állnak a nagy termés időjárási küszöbértékeihez. Így itt a termésingadozás jellemzően kisebb, a termésátlag pedig valamivel nagyobb, mint az északabbi területeken.

(8) A Tiszántúlon, kb. a Körösök folyása mentén egy termésbiztonsági határ húzódik, amely éghajlati különbségekből ered. A déli területek éghajlati viszonyai a rizs termésére gyakorolt hatásán át lemérve egységesnek minősíthetők, ezért az Alsó-Tisza vidéke és a Körösök tája rizstermesztésre egyaránt alkalmas. Az északabbi területek éghajlati hatásai szintén azonosak, de jelentékenyen eltérnek a déli részek adottságaitól.

BÁRÁNY (1971) a rizs Csongrád megyei termésátlagait a szegedi klímaadatok függvényében elemezte. Megállapítása lényegét tekintve egyezik más szerzők korábbi eredményeivel, mely szerint a rizs termését csökkenti a vegetációs periódusban jellemző hűvös, napfényben szegény, csapadékos időjárás. A legmelegebb években magasak a termésátlagok. A rizs napfény- és hőigénye júliusban és augusztusban a legnagyobb, ami a szárbaindulás, bugafejlődés, bugahányás és virágzás időszakát jelenti. A túlságosan magas légnedvesség káros, mivel kedvező feltételeket jelent a különböző rizsbetegségek számára.

DUNAY (1974) az időjárás és a termésmennyiség közötti kapcsolatkeresésre a rizs kelés-bugahányás közötti fenológiai fázisát vette alapul. A későbbi fenofázisok vizsgálatba történő bevonása ugyan pontosíthatná a becslést, viszont az így nyert információ már nem szolgálhatna termés-előrejelzésként.

A vizsgálatok szerint a termés a következő időjárási elemekkel, illetve komplex mennyiségekkel vannak a legszorosabb összefüggésben:

- a fázis alatti napi átlagos napfénytartam (sá);
- a relatív napfénytartam (s/N);
- a levegő napi átlagos párolgatóképessége (eá).

A szerző az összefüggéseket a trend százalékában kifejezett termésátlag-értékekre határozta meg. A regressziós egyenletek független változói a fent megnevezett időjárási paraméterek kelés-bugahányás időszakra vonatkozó értékei, az egyenletek pedig a következők:

$$Y = 0,12 \cdot sá - 0,14 \quad r = 0,62$$

$$Y = 2,28 \cdot \log(eá) - 0,78 \quad r = 0,63$$

$$Y = 3,71 \cdot \log(s/N) - 5,58 \quad r = 0,80$$

A napi átlagos napfénytartam és a levegő párologtató képességének napi átlaga valamint a termés között viszonylag lazább a kapcsolat. A termést a leginkább meghatározó tényező a relatív napfénytartam, azaz a tényleges és a csillagászati lehetséges napfénytartam aránya. Mivel a számláló és a nevező is ugyanarra az időtartamra vonatkozik, értéke nem függ a tartam hosszától, hanem csak az időjárástól és a fázistartam időbeli elhelyezkedésétől (napállástól). Ez az index lényegében kiküszöböli a földrajzi szélesség szerinti napfénytartam különbözőségeket is, és így az adott helyen csupán az időjárás következtében előálló napfényviszonyokat tükrözi.

Mivel a terméseredmény és a relatív napfénytartam között szoros összefüggést sikerült kimutatniuk, kijelölték a kelés-bugahányás időszak átlagos idejére vonatkoztatott relatív napfénytartam-index területi eloszlása alapján Magyarország rizstermesztésre legalkalmasabb vidékeit. Éghajlati szempontból alkalmasnak találták az Alföldön a Nyíregyháza-Jászberény-Dunaújváros vonaltól délre eső területeket, a Mezőföld déli részét és Dél-Baranyát, ahol a relatív napfénytartam átlagos értéke meghaladja a 100%-os termést meghaladó regressziós értéket (0,59). A következő, még kedvezőbb kategóriába tartozik Szeged-Makó vidéke 110%, illetve 0,63 feletti értékkel.

É. KISS (1980) országos rizs termésátlag adatokat és a tiszai meteorológiai állomás adatait felhasználva végzett regresszió-analízist. Az időjárási elemek átlagos értékeit havi bontás helyett fenofázisokra határozta meg. A fajtaváltások miatt a számításokat elvégezte különböző 10, 11 éves és a teljes 24 éves idősorra is. Eredményei közelebb állnak SZÁSZ (1961), mint DUNAY (1974) megállapításaihoz.

Az éghajlati elemek közül a legmegbízhatóbb és legstabilabb tényezőnek a hőmérsékletet találta. A korrelációs koefficiens értékei 0,6 körül (0,53-0,65) alakultak mind a bugahányás előtti, mind az azt követő fenofázis esetén, alig befolyásolva a vizsgált idősor megválasztásától.

A napsütéses órák száma nem volt következetes összefüggésben a termésátlaggal. A bugahányás előtt ugyan pozitív a korreláció, de az „r” értéke jelentősen eltér az egyes idősoroknál. A bugahányás után 0-hoz közeli, sőt negatív együtthatók is előfordultak.

A termésátlagok kapcsolata a globálsugárzással szorosabb volt, mint a napsütéses órák számával. A teljes tenyészidőre vonatkoztatva $r = 0,36-0,65$ között változott az idősorok függvényében.

A csapadék és a termésátlag közötti „r” érték nem érte el a szignifikancia határát, de a következetes jelentkező negatív előjel azt mutatta, hogy inkább csökkentőleg hat a termésre.

Az utóbbi két-három évtizedben – azaz a legutóbbi vizsgálatok óta – rizs termőterülete jelentősen lecsökkent, a termelői kör leszűkült, a fajtahasználat a korábbiakhoz képest teljesen átalakult. Mindez indokoltá teszi a rizs termésére vonatkozó agrometeorológiai vizsgálatok megújítását.

3.4. A rizsállomány mikroklímája

3.4.1. A növényállományok általános hőmérsékleti jellemzői

A rizs állomány hőmérsékleti viszonyaira elsődleges hatással van az egyes szintek nettó sugárzási mérlege. A felmelegedés, illetve a lehűlés jelentősen függ a vertikális hőfluxus nagyságától is, melynek két komponense a szenzibilis és a látens hőáramlás. A növény fotoszintézisének „energiafogyasztása” az előbbi komponensekhez képest hőmérsékleti szempontból elhanyagolható. Adott meteorológiai körülmények között a növényállományok belső légterében kialakuló hőmérsékleti elosztást elsősorban az állományszerkezet határozza meg. Az állományszerkezet lényegében a növényi szárazanyag és levélzet térbeli eloszlását jelenti.

Kiemelt jelentőséggel bír az ún. aktív felszín. Ezen a felületen, illetve ebben a rétegben nyelődik el a beérkező rövidhullámú sugárzás döntő része és a hosszuhullámú kisugárzás is zömében innen történik. Az aktív felszín maga a talajfelszín, amennyiben az állomány még a fejlődés kezdeti szakaszában van. A kifejlett növényállományban az aktív felszín az állományzóna magasabb rétegeibe emelkedik. Az aktív felület magassága szerint az állomány hőmérsékleti sajátossága különböző típusokba sorolható (SZÁSZ, 1997b).

A fiatal, **nyílt növényállományokra** jellemző a környezethez viszonyított nappali hőmérsékleti többlet ($0 - +2\text{ }^{\circ}\text{C}$) és az éjszakai hőmérsékleti hiány ($0 - -2\text{ }^{\circ}\text{C}$). A lehűlés és a felmelegedés egyaránt a talajfelszínről indul ki, ennek megfelelően ott alakul ki a legmagasabb nappali és a legalacsonyabb éjszakai hőmérséklet.

A növényállományok fejlődésével a levélfelület-index növekszik, így egyre kisebb sugárzási energia-mennyiség érkezik a talajfelszínre és egyre több energiát nyel el a növényzet. Amikor a növényi abszorpció meghaladja a talaj energiaelnyelését, a felmelegedés a legsűrűbb levélzónából indul ki. Ez általában az állomány középső zónája, ahol éjszaka a legalacsonyabb, nappal a legmagasabb hőmérsékleti értékek alakulnak ki. A hőmérsékleti többlet jó vízellátás esetén $2-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ha a vízellátás csökken akár $3-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ is lehet a déli órákban. A párolgás mellett a szél is igen nagy hatással van a hőmérsékleti

különbségek mértékére. Nagyobb szélsőségek mellett az állomány szellőzése fokozódik, az inhomogenitások csökkennek.

Az ún. **zárt növényállományokban** – ahol a levélfelület-index 3 vagy annál nagyobb – a sugárzáselnyelés, illetve kisugárzás az állomány felső zónájában a legerőteljesebb. Emiatt ott nappal jelentős hőtöbblet (akár 4-8 °C), éjszaka pedig nagyfokú hőmérsékleti hiány alakul ki. Ezzel szemben az állomány belső (középső és alsó) légtere a környezeténél hűvösebb. Rendkívül éles hőmérsékleti különbségek alakulhatnak ki igen kis távolságon belül, ami nemritkán hőstresszállapotot vált ki a növényben.

A rizs az egyedfejlődés első szakaszában nyílt állományt alkot, később átlép az átmeneti típusba. Az állomány teljes záródása a bugahányást követően következhet be, megfelelő növény-sűrűség, tápanyagellátottság és időjárási feltételek mellett. A túlságosan nagy LAI kialakulása nem kedvező.

3.4.2. A rizsállomány hőmérsékleti viszonyai

Az első részletes hazai vizsgálatok 1949 nyarán a Hortobágyon (árasztott rizs) és Debrecen-Pallagon (szárazrizs) folytak (BERÉNYI, 1951). A szárazrizs fejlődésének kezdeti szakaszában a gabonafélékre jellemző állománybeli hőtöbblet és pozitív hőmérsékleti gradiens alakult ki a nappali órákban (8-17 óra). A nap többi részében viszont az állomány lényegesen hűvösebb lett környezeténél. A rizs növekedésével (28 cm-es magasság) a környezethez képest mért hőmérsékleti különbségek fokozódtak. A virágzó 50 cm magasságú, 10×10 cm-es tenyészterületű rizs állományban a nappali hőtöbblet mintegy 2 °C. A ritkább 20×20 cm-es növényállomány ennél magasabb és egyben melegebb volt.

A virágzás előtt álló árasztott rizsállomány belseje nappal hűvösebb maradt a szabad területnél, a délutáni órákban a különbség elérte a 4 °C-ot. Éjszaka kis (0,8 °C) hőtöbblet alakult ki, de az állomány felett még kevésbé hűlt le a levegő. Ekkor a leghidegebb zóna jellemzően az állomány teteje. Az éjszaka második felében fordulat következik be, ekkortól már jellemzően a vízközeli szint a legmelegebb egészen a reggeli órákig.

Az árasztott és szárazrizs összehasonlításánál még nagyobb különbségeket figyeltek meg. A legmelegebb órákban 6-8 °C-os hőtöbblettel rendelkezik a szárazrizs állomány belső légtere az árasztottéhoz képest.

WAGNER (1957) Kopáncson folytatott kutatásának fő célja a „bruzóne” betegség klimatikus okainak felderítése volt. Emellett a mérések akkor újszerű információt szolgáltatottak a rizsállomány hőmérsékleti viszonyairól is.

Júniusban a magas napállás és a növényzet viszonylag kis árnyékoló hatása miatt a 7 és 10 óra közötti időtartamot kivéve mindenkor melegebb az árasztóvíz, mint a felette lévő légréteg. Éjjel 4-5 °C, a déli órákban 2-3 °C lehet az eltérés. Ez a növény kezdeti fejlődése szempontjából nem elhanyagolható tényező.

Kifejlett növényzetnél is (augusztus) a vízréteg felmelegedése két irányból: felülről lefelé és a talaj felől alulról felfelé történik. A lehűlésre szintén jellemző ez a kettősség. Ellentétben más vizsgálatokkal az árasztóvíz az éjszaka folyamán nem vált izotermmé. A legmelegebb réteg éjfél előtt a vízréteg belseje, majd ezután a vízfenék.

Éjjel a vízfelszín közeli légrétegre jellemző az izopléták közel vízszintes futása, azaz a víz közelében folyamatosan melegebb van, mint kevéssel felette. Nappal is 3-4 °C-os hőmérsékleti különbséget találunk egy 10-20 cm-es rétegben, természetesen ellentétes előjellel.

1956-ban árasztott rizsben a Hortobágyon, száraz rizsben Pallagon végeztek mikroklimatológiai méréseket (BERÉNYI, 1958). A száraz rizs állományéghajlatát virágzás és érés idején szakálás (sűrűbb) és szakál nélküli (ritkább) fajtáknál vizsgálták. A léghőmérsékletben a virágzás idején még nem mutatható ki jelentős különbség. Az éréskor az állományban hőtöbblet van, ami a ritkább állományban nagyobb, mint a sűrűbb állományban. A hőtöbblettel együtt azonban a hőmérsékleti ingadozás is növekszik.

Árasztott rizsállományban napi átlagban hőhiány mutatkozik. Ez a hőhiány kisebb vízborításnál nagyobb. Az állományban mindig az alsó réteg a leghűvösebb.

PETRASOVITS (1958) a rizs különböző mélységű árasztóvizének hőmérsékleti hatását tanulmányozta szarvasi és kisújszállási mérései alapján. Megfigyelte, hogy magának a vízrétegnek a hőingadozása egyrészt a tenyészidő előrehaladtával (növekvő levélfelület), másrészt magasságának növekedésével fokozatosan csökkent. Június-júliusban az ingadozás nagyobb volt, mint a levegőé 50 cm-en. WAGNER (1957) adatai ennek ellenkezőjére utalnak. Véleményem szerint az eltérés a vizsgált időszakok különböző időjárási viszonyaiból adódhatott. Kis vízmélység, a rizs kezdeti fejlődési állapota és derült időjárás esetén a víz hőingadozása mindenképpen meghaladhatja a léghőmérsékleti amplitúdót.

Az árasztóvíz középhőmérséklete (ellentétben az amplitudóval) csak alig függött a vízréteg vastagságától, ugyanakkor a víz a tenyészidőszak átlagában egyértelműen melegebb volt, mint a levegő 50 cm-es magasságban.

Jellemző, hogy a napi hőmérsékleti maximum ideje a vízréteg emelésével egyre későbbre tolódik, értéke pedig egyre csökken. Ez igaz a víz- és a felette levő levegő hőmérsékletére is. A hőmérsékleti minimum beállta viszont közel azonos időben történik (a vízben 6-7 óra között). Igen fontos, hogy a bugahányás idején a mélyebb (25 cm) víz 2-3 °C-kal kevésbé hűl le, mint a sekély (5 cm) víz.

WAGNER (1966) az 1956-59 között Kopáncson végzett kutatások alapján vizsgálta a rizsállomány mikroklimatikus jellemzőit. Megállapítása szerint a nappali hőmérséklet a levélzónában a legnagyobb, ettől felfelé és lefelé is mérsékeltebb a felmelegedés. A levélzónában mérhető maximum meghaladja a csupasz, szikes talaj feletti értéket is. Ez a sajátos hőmérsékleteloszlás azt jelenti, hogy a növényállományban alul stabilis, felül labilis a hőmérsékleti rétegződés. A környezethez képest mérhető hőtöbblet főleg a délelőtti órákban kifejezett, délután a sugárzási többlet már csak kisebb kisebb különbséget okoz. Éjszaka a vízfelszín közeli légréteg a legmelegebb és felfelé csökken a hőmérséklet egészen az állomány felső zónájáig.

A rizs árasztóvíze a levélzet miatt nappal kevésbé melegszik fel, mint a nyílt vízréteg, a lehűlés viszont közelítőleg azonos. Az árasztóvíz alatti talaj felszínén – azaz a víz legalján – a hőmérséklet napi amplitudója összefügg a növény fejlődési szakaszaival. A fokozódó árnyékoló hatás miatt az amplitudó csökkenése a bokrosodás idején 15%-os, szárbainduláskor 15-25%-os, a bugahányás kezdetén 25-35%-os, a bugahányás és a virágzás szakaszában 40-50%-os, sőt sűrűbb állományok esetén a mértéke meghaladhatja az 50%-ot is.

Japánban a hazaitól némiképpen eltérő feltételek (éghajlat, talaj, agrotechnika, fajta) mellett számos kutató vizsgálta a rizs állományklímáját. Eredményeik jelentős része közelítőleg elfogadható magyarországi körülmények között is, melyek közül néhány fontosabbat bemutatok.

Az árasztóvíz T_w és a léghőmérséklet T_a napi átlagának eltérését UCHIJIMA (1959) szerint a következő formula jól leírja:

$$\Delta T = T_w - T_a = \left(\frac{R_n - G}{\rho_a C_p D_a} - 2\Delta e \right) \left(\frac{1}{1 + 2\Delta} \right) \quad (7)$$

ahol R_n az árasztóvíz feletti nettó sugárzás és G a talajhőáram napi átlaga, ρ_a a levegő sűrűsége, C_p az állandó nyomáson vett hőkapacitás, D_a a kicserélődési együttható a vízfelszín felett, Δe a vízgőz telítettségi hiány, Δ pedig a telítettségi gőznyomás görbe meredeksége.

Nyáron, erős besugárzás mellett a víz napi átlagban általában melegebb a levegőnél. Magasabb földrajzi szélességeken (hűvösebb időjárás) Δ kisebb értéke miatt a víz hőtöbblete nagyobb. Megjegyezzük, hogy Magyarországon számolni kell azzal, hogy a szárazabb levegő éppen a víz hőmérséklet csökkentése irányába hat (nagy Δe értékek az egyenletben).

Az árasztóvíz turbiditása (zavarossága) is hatással van a benne kialakuló hőmérsékleti viszonyokra. Tiszta víz esetén a nap bármely szakában közel izoterm a vízréteg. Ennek oka, hogy a sugárzás elnyelődése jelentős részben a víz alatti talajfelszínen történik, az ottani felmelegedő víz instabilitást és ezzel együtt rögtön meginduló átkeveredést okoz. Zavaros vízben a sugárzás jelentős része a felső rétegben nyelődik el, így ott alakul ki a legmelegebb zóna. Ez stabil rétegződést jelent, ami tartósan jellemzi a nappali órákat. Éjszaka a felülről történő lehűlés miatt itt is kialakul az izotermia (UCHIJIMA, 1976; CHAPMAN, 1969). Növényborítottság nélküli sekény vízrétegekre hasonló megállapítások érvényesek (SZÁSZ, 1997c).

A rizs árasztóvizének napi hőmérsékleti amplitudója szoros összefüggést mutat az állomány fejlettségével, illetve a levélfelület-indexszel az alábbiak szerint:

$$\frac{\Delta T_L}{\Delta T_0} = \exp(-\alpha L) \quad (8)$$

ahol ΔT_L és ΔT_0 a vízhőmérséklet napi amplitudója növényborítottság esetén és anélkül, L a levélfelület-index, α pedig az extinkciós tényező, amely jellemző értékei: 0,15-0,19.

Az amplitudó csökkenése a nappali felmelegedés gyengüléséből adódik. Az éjszakai-reggeli órákra közel azonos mértékig hűl le az árasztóvíz, csaknem függetlenül a növényzettől (ICHIMURA et al., 1965).

3.4.3. A rizs állományklímájának modellezése (víz- és léghőmérséklet)

Az árasztott rizs mikroklímájának modellezése egyesíti az árasztás nélküli növényállományok és a kis víztömegek mikrometeorológiai modellezésének feladatait. Különösen az utóbbi tekintetében azonban meglehetősen szűk a szakirodalom. Nagyobb víztömegek vertikális hőmérsékleti rétegződését leíró modellek ugyan léteznek, de az eltérő

térbeli és időbeli skálák miatt adaptációjuk nem lehetséges a csupán néhány dm mélységű vizekre (JACOBS et al., 1997; GAL et al., 2003).

BURBA et al. (1999) náddal részben fedett vízfelszín energiamérlegét vizsgálta. Kutatásának célja elsősorban az evapotranszspiráció modellezése volt. A módszere azonban alkalmazható akár az árasztott rizsállományok hőmérsékleti modellezéséhez is, természetesen figyelembe véve a növények eltérő morfo-fiziológiai jellemzőit és a valamelyest eltérő vízmélységet.

DINGKUHN et al. (1995) a rizs árasztóvizének hőmérsékletét egyszerű statisztikai összefüggések segítségével becsülte a léghőmérséklet, a potenciális párolgás, a napi hőmérsékleti amplitudó és a levélfelület-index segítségével, expedíciós jellegű mérései alapján.

A meteorológiai elemek és a vízhőmérséklet összefüggésének empirikus-statisztikai vizsgálata (pl. regresszió) – ha az hosszabb, megbízható adatsoron alapul – igen jó eredményeket szolgáltathat. Az **empirikus modellek** adott körülmények között általában pontosabban becsülik a vízhőmérséklet, mint a jóval bonyolultabb mechanisztikus modellek. Hátrányuk viszont a rugalmatlanságuk. A modellalkotástól eltérő viszonyok esetén (pl. más földrajzi terület, éghajlat, növénytulajdonságok) alkalmazhatóságuk korlátolt, célszerű a statisztikai paraméterek újbóli meghatározása. CONFALONIERI et al. (2005) a vízhőmérséklet napi minimumát a léghőmérséklet adott napi, előző-, és következő napi minimumaiból határozták meg megfelelő súlyozással és konstans érték hozzáadásával (Gauss szűrő):

$$Tvmin_n = 0,2 Tlmin_{n-1} + 0,6 Tlmin_n + 0,2 Tlmin_{n+1} + 3 \quad (9)$$

ahol $Tvmin_n$ a vízhőmérséklet minimuma az n . napon, $Tlmin_{n-1}$, $Tlmin_n$ és $Tlmin_{n+1}$ a léghőmérséklet minimumai az $n-1$., az n . és az $n+1$. napon.

A vízhőmérséklet maximumát hasonló módon, természetesen más súlyfaktorok és konstans segítségével írták le. A növényzet árnyékoló hatásának változása miatt a tenyészidőszakot négy részre osztották, mindegyikben más-más összefüggéssel.

A **mechanisztikus modellek** fizikai összefüggéseken, illetve egyenleteken alapulnak (energiamérleg), így jóval általánosabb érvényűek. Pontosságuk a modell komplexebbé tételével növelhető. Ekkor azonban egyre több paraméter megadása szükséges, ami a gyakorlatban történő felhasználást egyre nehezebbé teszi.

Jelenleg már operatíván is működő mikroklima modellt – amely nem csak a víz, hanem a felette levő légréteg hőmérsékleti profilját is leírja – olasz kutatók hoztak létre

(CONFALONIERI et al., 2002; CONFALONIERI et al., 2005; CONFALONIERI et al., 2007; COLA et al., 2007; MARIANI et al., 2007). Ez a mikroklima modell beépítésre került egy, a rizs fejlődését, hidegstressz miatt kialakuló bugasterilitását, termését leíró komplex rizs-modellbe.

3.4.4. Árasztott rizsállomány mechanisztikus vízhőmérséklet modelljének alapösszefüggései

A mechanisztikus modellek alapja az **energiamérleg** (OKE, 1978), amelyet árasztott rizs esetén célszerű a vízfelszínre vonatkoztatni:

$$R_n + G + H + LE = 0 \quad (\text{J m}^{-2} \text{ h}^{-1}) \quad (10)$$

ahol a fluxusok a nettó sugárzás (R_n), a vízben tárolódó hőenergia (G), a szenzibilis (H) és látens (LE) hőfluxus. Az egyes tagok előjele a nap folyamán változhat. A G az egyedi hőforrás az éjszaka során, ugyanakkor a víz jelentős energiát nyel el a nappali órákban (GEIGER, 1961).

A **szenzibilis hőáram** becsülhető a vízfelszín-hőmérséklet (T_s) és a léghőmérséklet (T_a) különbségével:

$$H = h_u (T_s - T_a) \quad (\text{J m}^{-2} \text{ h}^{-1}) \quad (11)$$

ahol h_u a szenzibilis hő szállítási koefficiense, ami a szélesebb empirikus függvényeként megadható.

A **sugárzási egyenleg** a rövid- és hosszúhullámú egyenleg (RL) különbségeként áll elő, ahol az előbbi a globálisugárzásból (R_g) és az albedóból számítható:

$$R_n = R_g (1 - \text{albedó}) - RL \quad (\text{J m}^{-2} \text{ h}^{-1}) \quad (12)$$

A nettó hosszúhullámú kisugárzás (RL) a Stefan-Boltzmann törvény páratartalmát és felhőzetet is figyelembe vevő bővített változatával fél-empirikus módon leírható.

A **vízben tárolódó hőmennyiség** (G) R_n értékéből becsülhető a következő egyenlet segítségével (BURBA, 1999):

$$G = -51 + 0,41 R_n \quad (\text{J m}^{-2} \text{ h}^{-1}) \quad (13)$$

Az **evaporáció** Penman formulájával, illetve annak valamelyik változatával számolható (SZÁSZ, 1997d; YOSHIDA, 1981).

A (10) és (11) egyenletből a vízfelszín hőmérséklete (T_s) kifejezhető a következőképpen:

$$T_s = T_a - \left(\frac{R_n + G + LE}{h_u} \right) \quad (^\circ\text{C}) \quad (14)$$

A **növényzet hatását** 10 cm-es állománymagasságtól célszerű figyelembe venni (CONFALONIERI et al., 2005). A modellben feltételezhető a rizs naptári napok szerinti lineáris növekedése, illetve a levélfelület-index magasságtól való lineáris függése.

Az állomány albedóját jó közelítéssel leírja a következő egyszerű formula (UCHIJIMA, 1976):

$$\text{albedó} = 0,32 - 0,0027 b \quad (\%) \quad (15)$$

ahol b a napmagasság fokokban kifejezve. Az állomány által elnyelt sugárzás aránya kifejezhető a következő egyenlettel (BURBA et al., 1999):

$$\text{absorb} = 1 - \exp(-k_e \text{LAI}) \quad (\%) \quad (16)$$

ahol k_e az extinkciós tényező, LAI a levélfelület index. Az extinkciós tényező változik a napmagasság függvényében, szférikus levélirány eloszlást feltételezve elfogadható becslést ad a következő összefüggés:

$$k_e = 0,5 \sin(b) \quad (17)$$

A (12) egyenlet a (15-16) egyenletek figyelembevételével módosul tehát a növényállomány hatására.

A hosszúhullámú kisugárzás leírható a Stefan-Boltzmann törvény fél-empirikus formulájával, de figyelembe kell venni az egyes rétegek elnyelését is. Erre alkalmas a MONSI és SAEKI (1953) által módosított Beer-törvény, a rizs esetében $k_e = 0,65$ extinkciós tényező alkalmazásával.

Az állományon belüli szenzibilis és a látens hőáram szoros összefüggésben van a szélesebesség vertikális változásával, illetve az ehhez kapcsolódó turbulencia jelenségével. A mérések szerint a szélesebesség a rizsállományban a magasság függvényében megközelítően exponenciálisan növekszik (UCHIJIMA, 1976), a növényállományokra jellemző általános szélesebességi profiloknak megfelelően (GOUDRIAAN, 1977):

$$U_z = U_h \exp\left(-a\left(1 - \frac{z}{h}\right)\right) \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (18)$$

ahol h a növénymagasság, $z \leq h$, a az extinkciós tényező, és jellemző értéke rizs állományban 2,1 és 2,4 közötti.

A potenciális evapotranszpiráció referencia értéke a Penman-Monteith (SZÁSZ, 1997d) formulával becsülhető, amely egy sugárzási és egy aerodinamikai tagból tevődik össze. A párologtatás növényi tényezője (K_c) a levélfelület-indexszel hozható (lineáris) összefüggésbe. A FAO (1998) és TYAGI et al. (2000) ajánlása alapján a rizsnél megfelelő a $K_c = \frac{\text{LAI}}{6}$ egyszerű közelítés.

4. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE

A rizsre vonatkozó agrometeorológiai kutatásunk számos különböző jellegű vizsgálatot foglal magába. A végzett kísérletek, mérések, illetve a felhasznált, más forrásból származó adatok jellemzően több vizsgálathoz is kapcsolódnak. Az elemzéshez használt módszerekben részben szintén fellelhetők azonosságok. Az ismétlések elkerülése és a jobb áttekinthetőség érdekében ezért a fejezetet a következő – szokásostól kissé eltérő – formában tárgyalom:

- az egyes elkülöníthető kísérletek, mérési programok, illetve adatbázisok bemutatása;
- az egyes vizsgálatokhoz alkalmazott módszerek ismertetése az **Eredmények** fejezet sorrendjének megfelelően;
- a több területen is használt módszereket egyszer mutatom be, a továbbiakban csak utalok rá;
- azok a részvizsgálatok, illetve módszerek, amelyek szorosan kapcsolódnak egy-egy konkrét eredményhez, az érthetőség miatt az **Eredmények** fejezet adott részében kerülnek ismertetésre.

4.1. Kísérletek és mérési programok

4.1.1. Kelési kísérlet kontrollált hőmérsékleten

A kísérlet (K1) célja a kelési idő hőmérséklettől való függésének feltárása volt, ezért minden egyéb befolyásoló tényező módosító hatásának minimalizálására törekedtem. A kísérlet 5 hazai köztermesztésben lévő fajtával (Augusta, Bioryza, Dáma, Ringola, Risabell) 2006. december – 2007. június időszakban folyt a Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Karának WTW gyártmányú TS 606 CZ/2-var típusú klímasekrényében.

Fajtánként 25 magot vetettem a tenyészedénybe 2 cm mélységbe, a sorok véletlenszerű elrendezése mellett, mindezt két ismétlésben. A rizsföldekre jellemző kötött talajok e kísérletben történő felhasználása nehézségekbe ütközött a homogén nedvesség, illetve tömörségi állapot reprodukálásában. A kísérleti célt figyelembe véve így a kelés szempontjából ideálisnak tekinthető, vízkapacitásig telített homokba vetettem.

A vetésmélység pontos beállítása céljából újszerűen jártam el. Az 5×30×40 cm-es (mélység×szélesség×hosszúság) tenyészedényt feltöltöttem homokkal, majd egy lécsel segítségével enyhe tömörítés mellett a felszínt elsimítva, egy síkba hoztam az edény

peremével. A magok felszínre, sorban történő helyezését követően egy 2 cm magasságú fakeretet helyeztem a magok köré, melyet homokkal feltöltve a magok a kívánt mélységbe kerültek (simítás, enyhe tömörítés).

A klímaszekrényben 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 és 34 °C-os állandó hőmérsékleti értékek mellett vizsgáltam a kelés idejét. Minden hőmérsékleten 2 bevett, műanyagfóliával lazán bevont tálcát helyeztem el a szekrénybe. A fólia a párolgást akadályozta. Így lehetett folyamatosan biztosítani az optimális nedvességi szintet anélkül, hogy felülöntözés inhomogenitást idézett volna elő. Másrészt, párolgás esetén jelentős eltérés alakulhatott volna ki a homok és a klímakamra levegőjének hőmérséklete között, jelentős hibaforrást okozva ezzel.

A kikelt növénykéket naponta 3 alkalommal (7-8 óra, 13-14 óra, 19-20 óra) számoltam meg. Az éjszaka folyamán nem végeztem megfigyeléseket, de a reggelre újonnan kikelt növények magassága lehetőséget adott az éjjel 1-2 órás állapot becslésére. Így 6 órás (0,25 napos) felbontásban jutottam a kumulatív kelési adatokhoz. A második tenyészedénybe 6 órás időeltolással történt a vetés annak érdekében, hogy a napi egyszeri becslő adat a kelés más fázisára essen. A csupán 2 valódi ismételtes a növénykísérletekben szokásosnál kevesebb. Mivel azonban a kísérlet fő célja „hatásgörbe” meghatározása volt, ezért a nagyszámú kezelésfokozat (11 féle konstans hőmérséklet) alkalmazása megengedi az egyébként alacsony ismétlésszámot (2 valódi ismételtes) (Sváb, 1981).

4.1.2. Szabadföldi kisparcellás kelési kísérlet

A kísérletben (K2) 8 hazai fajta (Augusta, Bioryza, Dáma, Ringola, Risabell, Ábel, Sandora, Janka) kelését vizsgáltam szabadföldi körülmények között, árasztás nélkül. Jellemzően a hagyományos, árasztásos termesztéstechnológia esetén sincs még vízborítás ebben a kezdeti szakaszban. A keléshez szükséges nedvességet a vetést követő futóárasztás biztosítja, amelyet természetesen lecsapolás követ. A „szárazrizs” kísérletben esőztető öntözésre került sor, amennyiben a természetes vízellátottság nem volt kielégítő.

A kísérlet helyszínéül egy, a Hármaskörös északi oldalán, attól mintegy 200 m-re kialakított tenyészkert szolgált, amely Mezőtúr és Szarvas között az árasztott rizstelepek szomszédságában helyezkedik el (É.sz. 46°55', K.h. 20°33', 85 mBf) („A” pont az 1. mellékleten). A terület talaja (tápanyagellátottsága) jól reprezentálja a hazai rizstermőterületeket:

- Talajtípus: szolonyeces réti talaj

- K_A : 55
- pH (H_2O): 6,1
- Humusz: 2,74%, AL- P_2O_5 : 104 ppm, AL- K_2O : 317 ppm
- Összsó: 0,08 %

Az őszi mélyszántás, tavaszi ammónium-nitrát műtrágyázás (60 kg ha^{-1} hatóanyag), tavaszi talajelmunkálás után szakaszos vetést végeztünk. A kései vetésekhez a kedvező talajállapot rendszeres talajápolással (gyomtalanítás, kapálás, szükség esetén öntözés) volt biztosítható. A vetésre (kézi) 2005 és 2006 tenyészidőszakában került sor összesen 9 alkalommal (2005. jún. 29., júl. 6., júl. 14., aug. 6., szept. 17., 2006. máj. 9., júl. 3., júl. 21., aug. 6.). A vetésidők megválasztásánál figyelembe vettem, hogy változatos hőmérsékleti feltételek között menjen végbe a kelés. Ennek megfelelően hűvös és kifejezetten meleg időszakokban is vetettünk (kora ősz, illetve nyár).

A kéttényezős kísérletnél olyan osztott parcellás elrendezést alkalmaztam, ahol a vetésidők alkotják a fő parcellákat, és ezeken belül a fajták az alparcellákat. Az ismétlések száma 2. Több ismétlés nem volt szükséges az egyes tényezők változatainak nagy száma, illetve az egyes parcellákon végzett több növényegyed megfigyelése miatt (SVÁB, 1981). Minden alparcella 60 cm szélességű és 1 m hosszúságú volt. Ez a 20 cm-es sortávolság mellett fajtánként 3 sort jelentett. Soronként 40-50 rizsszemet helyeztünk a talajba, 2 cm-es mélységbe.

A kelési folyamat ellenőrzése a kritikus időszakokban a reggeli és az esti órákban, napi két alkalommal történt. Ez lehetővé tette az 50 %-os kelés időpontjának megfelelő pontosságú becslését.

Egy vetésmélységben (2 cm) elhelyezett HOB0 Pendant U-002 típusú mini hőmérsékleti adatgyűjtő 20 perces mérési gyakorisággal regisztrálta a talajhőmérsékletet (részletek a következő fejezetben).

4.1.3. Mikroklíma mérések szárazrizs állományban

Az előző kísérlet leírásánál bemutatott tenyészkerthben, a nagyüzemi rizsföldektől kb. 1 km távolságban levő szárazrizs állomány („A” pont az 1. mellékleten) biztosított színteret a 2006 nyarán folyó mikroklíma vizsgálatokhoz (K3).

Tápanyaggal jól ellátott talajon, őszi szántás és tavaszi magágyelőkészítés után a vetésre május 13-án került sor. A kísérleti területen 4 fajta két ismétlésben alakítottuk ki az összefüggő 24 m×12 m-es állományt. A Sandora, a Janka és a Karmina fajták növekedési habitusa, magassága és állományszerkezete nem mutatott lényeges eltérést, ezzel

szemben az Ábel a koraisága mellett, felállóbb levelekkel és ennek megfelelően nyílabb állománnyal volt jellemezhető. A hőmérséklet mérését a legegységesebb Sandora állományban, a szegélyhatás minimálisra csökkentése miatt a parcella középső részén végeztem. A mérések első szakaszában, július 17-től augusztus 2-ig, a bugahányás időszakában az **éjszakai hőmérsékleti profilok** meghatározása volt az elsődleges szempont. A rizs ebben a fenológiai stádiumában legérzékenyebb a lehülésre. Az állomány magassága a kezdeti 60-70 cm-ről 80-90 cm-re nőtt, elsősorban a kiemelkedő bugák miatt.

2 db 4 csatornás HOBO U-012 típusú hőmérséklet-adatgyűjtővel, 6 külső érzékelővel 2 percenként történtek a mérések 5 cm, 15 cm, 30 cm, 50 cm, 75 cm és 100 cm, illetve később ez utóbbi helyett 120 cm magasságban. A műszer felbontása 0,03 °C, maximális hibája 0,25 °C, de az előzetes tesztek még ennél is nagyobb pontosságról tettek tanúbizonyságot: stabilan 0,1 °C alatt maradtak az eltérések az egyes érzékelőkkel mért adatok között. Az éjszakai hőmérséklet mérésénél is szükséges a sugárzásvédelem, ezért az érzékelőket azonos módon fa lapocskák alá erősítettem, a közvetlen kisugárzás okozta hiba kiküszöbölésére. A talajban 5 cm-es mélységben HOBO Pendant UA-001 típusú műszerrel gyűjtöttem az adatokat. Megjegyzem, hogy 2006-tól 16 db UA-001 és UA-002 típusú adatgyűjtő állt a rendelkezésemre. A két típus a hőmérsékletmérés szempontjából teljesen egyforma, különbség csak egyéb funkcióikban van (fényjelzés beállított hőmérsékleti intervallum felett és alatt, illetve fénymérő funkció). A műszer felbontása 0,1 °C, a mérési hiba a tesztjeim alapján <0,3 °C a 10-30 °C-os tartományban.

A kis hőtehetetlenségű érzékelők (főleg a HOBO U-012 külső érzékelői) követik a léghőmérséklet gyors fluktuációit is, ezért a profilok vizsgálatát órás átlaghőmérsékleti értékek alapján végeztem (19 óra és 05 óra között), illetve külön elemeztem a hőmérsékleti minimumok vertikális eloszlását, ami természetesen nem egyidőben mért értékek összehasonlítását jelentette.

A jellegzetes hőmérsékleti profilok megismerését követően 2006. augusztus 3-tól kissé módosítottam a mérési szintek magasságát (15, 30, 55 és 80 cm), illetve az egyik 4 csatornás adatgyűjtőt árasztott állományba helyeztem át. A vizsgálati célban elsődlegessé vált az **árasztott és árasztás nélküli állományok**, valamint a standard hőmérőházban mért adatok összehasonlítása. A kétféle állományban a középszinten levő egy-egy érzékelőt fehér színű, lamellás árnyékolóval védtem, így ezek nappali mérésekre is alkalmassá váltak.

4.1.4. Mikroklíma mérések árasztott rizsállományban

A mérések (K4) helyszínéül egy nagyüzemi 200 ha-os rizstelep szolgált (É.sz. 46°55', K.h. 20°32') („B” pont az 1. mellékleten). A terület 4 ha-os (200 m×200 m), egyedi vízkezelési lehetőséget nyújtó kalitkákból áll. A hőmérők egy olyan kalitka középső részén kerültek elhelyezésre, amelyben viszonylag magas (25-30 cm-es) vízszint és jól fejlett, gyommentes állomány volt található (Bioryza fajta). A vízszint változásait a rizstábla szélén elhelyezett alkalmi vízmérce segítségével követtük nyomon. Naponta, esetenként olvastuk le a vízállást. Jelentős ingadozások nem történtek, mivel a kiválasztott tábla esetében egy túlfolyó rendszer is szabályozta a vízszintet.

A mérések 2005-ben és 2006-ban, július közepétől szeptember elejéig, a rizs reprodukív és érési szakaszában folytak.

2005-ben HOBO Pendant UA-002 típusú mini hőmérsékleti adatgyűjtők regisztrálták a talajhőmérsékletet 5 cm mélységben, továbbá a vízhőmérsékletet a talajfelszín felett 5 és 15 cm-es magasságban. 2006-ban több lépésben – augusztus 5-től vált teljesé – kibővítettem a mérési apparátust a víz felső rétegében, illetve a vízfelszín felett az állomány különböző szintjeiben elhelyezett érzékelőkkel. A hőmérséklet regisztrálása a következő szinteken történt: 5, 15 és 25 cm-rel a talajfelszín felett a vízben, 5 cm mélyen a talajban és 35, 60, illetve 85 cm magasságban az állomány légterében. A HOBO Pendant UA-002 és HOBO U12-006 adatgyűjtők mintavételi gyakoriságát a talajban 20 perces, a vízben 10 perces, a levegőben pedig 5 perces értékre állítottam be a közegek eltérő hőtani sajátosságai miatt.

Ezen mérések adatait a következő vizsgálatokban használtam fel:

- az árasztóvíz hőmérsékleti jellemzőinek vizsgálata;
- az árasztóvíz hőmérsékletének modellezése;
- az árasztott és árasztás nélküli rizsállomány légterének hőmérsékleti összehasonlítása.

4.1.5. Standard meteorológiai mérések és megfigyelések

Az eredményeim gyakorlatban történő felhasználhatósága érdekében lényegében minden vizsgálatomhoz szükséges volt standard körülmények között, hőmérőházban, 2 m magasságban mért hőmérsékleti értékek bevonása (2. melléklet). A léghőmérséklet értékét a tenyészkertben elhelyezett hagyományos Stevenson-féle hőmérőházban lévő HOBO Pendant UA-001 típusú hőmérséklet-adatgyűjtő 10 percenként rögzítette.

Bizonyos vizsgálatok további meteorológiai adatokat igényeltek. Ezeket a Tessedik Sámuel Főiskola által működtetett – Szarvas külterületén, a kísérleti terektől mintegy 4 km-re lévő, Vaisala MAWK-301 típusú – automata meteorológiai állomás szolgáltatta („C” pont az 1. mellékleten). A sokféle mért elem közül a 10 m-es szinten mért szélsősebesség éjszakai és egész napi átlaga, a globálsugárzás napi összege, illetve a levegő relatív nedvességtartalmának napi átlaga került ténylegesen felhasználásra.

Az időjárási helyzet tipizálásához felhasználtam a kísérlet helyén mért csapadék-adatokat és vizuális felhőzet megfigyeléseimet is.

4.2. Nem saját forrásból származó anyagok

Bizonyos agrometeorológiai vizsgálatok esetében a statisztikailag megalapozott elemzésekhez hosszabb adatsorok szükségesek, néhány év adata nem elegendő. Ezért itt eltekintettem a saját mérési programok, illetve kísérletek kivitelezésétől. A kutatás alapját nem saját forrásból származó anyagok biztosították.

4.2.1. Éghajlati és termésátlag adatsorok

A rizs termésére vonatkozó vizsgálatok a **Békés megyei termésátlagok** és az Országos Meteorológiai Szolgálat **Szarvasi Agrometeorológiai Obszervatórium időjárási adatai** alapján történtek, az 1975-2000 időszakra vonatkozóan. Ezen választások mellett a következő érvek szóltak.

- Békés megyében a rizstermesztés időjárási feltételei országos viszonylatban kedvezőek. A termesztés hosszú idő óta lényegében ugyanazokban a termesztési tapasztalatokkal rendelkező mezőgazdasági nagyüzemekben folyik. Ezen gazdaságok együttes termésátlaga stabilabb, mint egy kisebb területé. A helyenként fellépő agrotechnikai problémák csak kis mértékben és kiegyenlítetten jelentkeznek (pl. gyomosodás, műtrágyahiány, kései vetés, betakarítási problémák).
- Békés megyében a rizstermő területek a Körös-vidék egy részére koncentrálódnak (Hármas-Körös, Kettős-Körös mente), ami egyetlen jól megválasztott meteorológiai állomás adataival is jellemezhető (kivéve csapadék).
- A kiválasztott Szarvasi Agrometeorológiai Obszervatórium a város északnyugati külterületén, folyó- és állóvizektől, rizsföldektől nem túl távol, olyan helyen működik (működött), amely éghajlati szempontból rendkívül jól jellemzi a környező rizstermő területeket.

- 1975 előtt a szarvasi megfigyelések más helyen történtek. Célszerűnek tűnt ezért a vizsgálatokat csak 1975-től indítani a meteorológiai adatsor teljes homogenitásának megőrzése érdekében. Másik érv egy nem hosszabb időszak kiválasztása mellett, hogy így az agrotechnikával, fajtaváltással összefüggésben levő természetrenddel sem kellett számolnom, mint ahogyan az elemzések során kiderült.

A Békés megyei és az országos rizs termésátlag adatok a Központi Statisztikai Hivatal megyei, illetve mezőgazdasági évkönyveiből származnak.

Napi hőmérsékleti adatok (minimum, maximum, átlag) az 1976-2007-es időszakból állnak rendelkezésre (3. melléklet). A mérések az OMSZ Szarvasi Agrometeorológiai Observatóriumban (1976-2000), illetve a Tessedik Sámuel Főiskola adatgyűjtőjével folytak (2001-2007). Az adatok felhasználásával nyílt lehetőség:

- a pentád és dekádszintű számításokra;
- a különböző hőösszegek és hidegösszegek meghatározására;
- a kritikus időszakok statisztikai vizsgálatára;
- a fenológiai fejlődés statisztikai vizsgálatára, a különböző vetési időpontok kockázatelemzésére;
- éghajlati trendek kimutatására.

4.2.2. Fenológiai adatsor

Célom volt egy olyan modell megalkotása, amely a meteorológiai állomásokon 2 m-es szinten mért napi hőmérsékleti adatok alapján becsli a keléstől a virágzásig szükséges időtartam hosszát. A vizsgálataim alapját az Öntözési Kutatási Intézet (Szarvas) rizs fajtakísérletei során 1991 és 1999 között végzett, a Ringola fajtára vonatkozó fenológiai megfigyelései képezték („D” pont az 1. mellékleten). Rizs-zab vetésváltás és jó tápanyag-ellátottság mellett a szokásos árasztásos termesztési technológiát alkalmazták a kísérletek során. A földbevetés időpontja évről-évre április 25. és május 10. között változott az időjárás függvényében. A rizs kelése után minden évben azonos volt a vízkezelés. Az árasztóvíz magassága a növény fejlettségéhez igazodott, virágzás idejére elérte a 20-25 cm-t.

Feldolgozásom szempontjából kiemelt fontosságú a kelés és a virágzás időpontjának pontos ismerete. A fenológiai állapot megfigyelése a kritikus időszakban naponta megtörtént, így a kelés időpontjának (50%-os kelési állapot) megállapítása vélhetően kellő pontosságú. Az 50%-os virágzási időpont megadásánál kissé nagyobb a bizonyta-

lanság. Egy buga virágzása ugyanis 4-5 napig, egy növényé 5-7 napig tart, egy nagyobb állomány elvirágzása pedig akár 12-18 napig is elhúzódhat (SIMONNÉ, 1983).

A vizsgálatokhoz szükséges meteorológiai adatokat a kísérleti teleptől mindössze 400 m-re levő Szarvasi Agrometeorológiai Observatórium mérései biztosították. A különböző hőösszeg módszerek konstruálásához a hagyományos hőmérőházban 2 m-es magasságban mért óránkénti hőmérsékletek napi átlagát, a valódi napi középhőmérsékletet használtam fel.

4.3. A vizsgálatok során használt módszerek

Vizsgálatonként, a fejezetek sorrendjében mutatom be a vizsgálati módszereket, kerülve a felesleges ismétléseket.

4.3.1. Fenológiai fejlődés

A **kelési kísérlet** (K1) 6 óránkénti megfigyelési adataiból (kumulatív kelés) két, a kelést jól jellemző paraméter került kiszámításra. Az 50%-os keléshez szükséges időtartam v. medián kelési idő (E_{50}) meghatározása – a kikelt növények végső számához viszonyítva – lineáris interpolációval történt. A kelési sebesség (R_{50}) definíciószerűen a kelési idő reciproka, azaz $R_{50} = \frac{1}{E_{50}}$.

A kéttényezős (hőmérséklet és fajta), kétismétléses kísérlet **varianciaanalízisét** a Systat 9 számítógépes statisztikai programmal végeztem el. Az egyes kezelések közötti $P=5\%$ -os szinten szignifikáns kelési idő különbségek meghatározása a Tukey-teszt felhasználásával történt.

A kelési sebesség a teljes vizsgálati tartományban közel lineárisan változott a hőmérséklet függvényeként, így lineáris regresszió segítségével alkottam meg a **hőösszeg modellt**.

A regressziós egyenlet:

$$R_{50} = a + b T$$

ahol a a tengelymetszés értéke (y-tengely), b pedig a regressziós egyenes meredeksége.

A bázishőmérséklet (T_b) és a vetéstől kelésig szükséges effektív hőösszegigény (EHI) nagysága a következő képletekkel számítható:

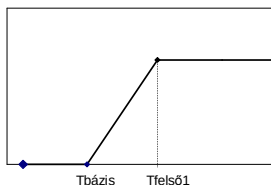
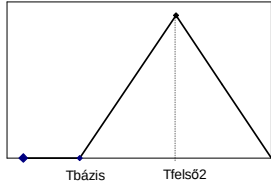
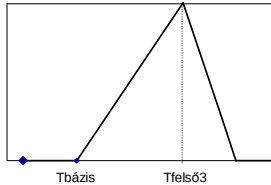
$$T_b = -\frac{a}{b} \quad EHI = \frac{1}{b}$$

A modell **verifikációját** a K2 szabadföldi kelési kísérlet (9 vetési idő) és tenyészedényes kísérletek (három különböző konstans hőmérsékleten) független adatai-

nak felhasználásával végeztem el. A modell által becsült és a megfigyelt kelési idő és kelési ütem összehasonlítása grafikusán, illetve a RMSE és a CRM paraméterekkel történt (lásd. 4.3.3.).

A **kelés-virágzás fenofázis** hosszát háromféle bilineáris hőösszeg módszerrel modelleztem. Ezek a modellek már képesek leírni, hogy bizonyos hőmérséklet (T_{opt}) felett a rizs fejlődési üteme már nem nő tovább, illetve csökken. Az egyes módszerekben a napi hőegységek kiszámítása csak T_{opt} felett tér el egymástól, az alatt megegyezik a szokásos lineáris módszerek számításával. Az 1. táblázat bemutatja a hőegység kiszámítási módját és az ennek megfelelő hatásfüggvényeket.

1. táblázat. A három bilineáris modell bemutatása

Módszer	Napi hőegység kiszámítása	Intervallum	Hatásgörbe
1.	0	$T \leq T_{bázis}$	
	$T - T_{bázis}$	$T_{bázis} < T \leq T_{opt}$	
	$T_{opt} - T_{bázis}$	$T > T_{opt}$	
2.	0	$T \leq T_{bázis}$	
	$T - T_{bázis}$	$T_{bázis} < T \leq T_{opt}$	
	$2 \cdot T_{opt} - T_{bázis} - T$	$T > T_{opt}$ és $T < 2 \cdot T_{opt} - T_{bázis}$	
	0	$T \geq 2 \cdot T_{opt} - T_{bázis}$	
3.	0	$T \leq T_{bázis}$	
	$T - T_{bázis}$	$T_{bázis} < T \leq T_{opt}$	
	$3 \cdot T_{opt} - T_{bázis} - 2 \cdot T$	$T > T_{opt}$ és $T < 1,5 \cdot T_{opt} - 0,5 \cdot T_{bázis}$	
	0	$T \geq 1,5 \cdot T_{opt} - 0,5 \cdot T_{bázis}$	

A napi hőegységek számítását Microsoft Excel táblázatkezelő program segítségével végeztem el. Mindhárom módszernél a bázishőmérsékletet 0 és 15 °C között, a T_{opt} értékét a legkedvezőbb értéke körüli 8 °C-os intervallumban léptettem 1 °C-onként, majd 0,1 °C-onként, közeledve az ideális paraméter-kombinációkhoz.. Minden ilyen $T_{bázis}$ és T_{opt} párra kiszámoltam évenként a virágzásig szükséges hőösszegeket és ezek variációs koefficiensét (CV). A CV – ellentétben a szórással – a különböző nagyságrendű adatok változékonyságának összehasonlítására is alkalmas.

A paraméter-kombinációkhoz tartozó CV-k felületdiagrammon történő – újszerű – ábrázolása lehetőséget adott a hőösszeg modellek érzékenység-vizsgálatára.

A rizs fejlődésének **kritikus szakaszait** az 1976-2007 időszak napi hőmérsékleti adatai alapján vizsgáltam. Mivel egy-egy nap időjárása önmagában nincs számottevő hatással a rizsre, a havi átlagok pedig teljesen elfedhetik a szélsőségeket, ezért a statisztikai vizsgálatot pentádátlagokra végeztem el. Kiszámoltam a „káros” hőmérsékleti értékek relatív gyakoriságát, amely a jövőre vetítve megmutatja, hogy az adott pentád mekkora valószínűséggel alakul kedvezőtlenül a rizs számára.

Az egyes fenofázisokhoz kapcsolódóan – igazodva a szakirodalmi ajánlásokhoz – a következő paraméterek képezték az elemzés tárgyát:

- *csírázás-kelés* (április-május): napi minimum-, maximum- és középhőmérséklet pentád átlagai – kritikus érték a 12 °C-os középhőmérséklet;
- *„buga hasban”-virágzás* (július-augusztus): napi minimumhőmérséklet pentád átlagai, ennek sokévi átlaga, alsó kvartilise, alsó decilise, minimuma – kritikus érték a 14 °C-os minimum hőmérséklet;
- *érés* (szeptember-október): napi maximumhőmérséklet pentád átlagai; kritikus érték a 20 °C-os maximum hőmérséklet.

Az időjárást természetesen nem lehet módosítani, de az egyes fenofázisok megfelelő időzítésével a hideghatás által okozott terméskiesés minimalizálható (több év átlagában). A fenofázisok időzítése a vetési idő és a fajta megfelelő megválasztásával lehetséges. Az operatív döntéseket megalapozó kockázatelemzés nagy körültekintést igényel, hiszen a tenyészidőszakot komplex módon kell értékelni. Gyakran jellemző, hogy egy beavatkozás (pl. korábbi vetés) a tenyészidőszak egyes szakaszaiban kedvező, a többi szakaszban kedvezőtlen hatást gyakorol.

A vetés legkorábbi, ideális és legkésőbbi időpontjának meghatározása a következő többlépcsős vizsgálat alapján történt:

- napi középhőmérsékleti adatok alapján az 1976-2007 időszak minden egyes évre modelleztem a rizs fenológiai fejlődését, feltételeztem 5 naponkénti (április elejétől május végéig) vetésekre;
- a kelési idő és a virágzási idő meghatározása a saját kutatásom eredményeképpen született hőösszeg-módszerek segítségével történt;
- a virágzás-érés időszak hosszát az É. KISS (1980) által meghatározott effektív hőösszeg-igények alapján becsültem;

- a korai vetéseknél a károsan elhúzódó (3 hét, 1 hónap) kelés kockázatát elemeztem, az érés általában problémamentes;
- a kései vetéseknél azt vizsgáltam, hogy időben beérik-e a rizs, illetve a túlságosan kitolódó virágzás mennyivel növeli a bugasterilitást okozó hidegstressz kockázatát.

4.3.2. Az időjárás hatása a rizs termésére

Az ehhez kapcsolódó vizsgálatok trendanalízisre, illetve korreláció- és regresszióanalízisre épültek (SVÁB, 1981).

Első lépésként megvizsgáltam, hogy az 1975-2000 közötti időszakban volt-e olyan hatás, ami a termésátlagok trendszerű növekedését eredményezte. Az időszak döntő részén nem mutatkozott szignifikáns trend, ezért közvetlenül a termésátlag és a havi középhőmérsékleti, napfénytartam- és csapadékadatok közötti korrelációt számoltam ki, illetve vizsgáltam annak szignifikanciáját.

A regresszióanalízist elvégeztem a középhőmérséklet és a napfénytartam vonatkozásában külön-külön, majd a paraméterek együttesére is. Ezután eltávolítottam a regressziós összefüggést szignifikánsan nem javító független változókat a Systat 9 statisztikai program interaktív módon, lépésenként számított (stepwise) regressziójának segítségével (sorra elhagyva (backward) a kis t -értéket mutató változókat).

Megjegyzem, hogy a Systat 9 programban a regressziószámítás gyakorlati módja nem tér el a szokásostól. Az adatbázisban az egyes változók értékeit oszlopokban kell elhelyezni. A függő változó (termésátlag) adatai egy oszlopban, mellette a független változók adatai (havi középhőmérséklet, illetve napfénytartam) több oszlopban szerepelnek. A sorok az egyes évek adatait tartalmazzák.

A hőmérsékleti maximum és minimumértékekkel (havi és dekád átlagban), a középhőmérséklet dekádátlagával, illetve a különböző hidegösszegekkel nem kerestem termésátlagot leíró regressziós összefüggést a rendkívül sokféle lehetséges kombináció miatt. A vizsgálat ezen részében a céloom „csupán” a termést meghatározó hőmérsékleti paraméterek és időszakok részletes feltárása volt.

Az 1976-2007 évek április-október időszakára vonatkozó éghajlati trendek vizsgálatát lineáris regresszió segítségével végeztem (Microsoft Excel). A statisztikailag megalapozott értékeléshez meghatároztam a determinációs koefficiens (R^2) , az egyenes meredekségét (b) és a szignifikanciaszintet (P) . A meredekség megadja a hőmérséklet trend szerinti éves növekményét, amelyet a szemléletesség kedvéért °C/10 év egységbe

számoltam át. A szignifikanciaszint azt mutatja meg, hogy mekkora annak a valószínűsége, hogy a hőmérsékletnek nincs lineáris trend szerinti változása.

4.3.3. Mikroklíma vizsgálatok

4.3.3.1. A vízhőmérséklet modell elméleti alapja és felépítése

Egy olyan empirikus-dinamikus vízhőmérsékleti modellt konstruáltam, amely napi bontásban képes nyomon követni az árasztóvíz minimum és maximum hőmérsékletét. A modell dinamikusnak nevezhető, mert részben fizikai összefüggésekből vezethető le, napon belüli hőmérséklet változásokat számít és ezen változások kumulációja szolgáltatja a hőmérsékleti adatsort. A változások meghatározása – a klasszikus dinamikus modellektől eltérően – a mérési eredményeinkből számolt empirikus összefüggések alapján történik.

A modell elméleti hátterét leíró gondolatsor visszavezethető egészen a víz felszínére felírt energiamérlegig:

$$R_n + G + H + LE = 0 \quad (19)$$

ahol R_n a nettó sugárzási bevétel, G az árasztóvízben tárolt hőmennyiség, LE és H a felfelé (levegőbe) irányuló látens, illetve szenzibilis hőfluxus (OKE, 1978).

A vízben tárolt hőmennyiség (G) kifejezhető a víz középhőmérsékletének megváltozásából a következő formulával:

$$G = \frac{c_w \cdot d \cdot \Delta T_w}{\Delta t} \quad (20)$$

ahol $(\Delta T_w / \Delta t)$ a víz középhőmérsékletének időegység alatti megváltozása, c_w a víz hőkapacitása és d a vízmélység.

A vízhőmérséklet a minimumát ($T_{w_{min}}$) a reggeli (t_{min}), a maximumát ($T_{w_{max}}$) a kora esti (t_{max}) órákban éri el (WAGNER, 1966; UCHIJIMA, 1976; BURBA et al., 1999). Ez azt jelenti, hogy t_{min} és t_{max} időpontok között $G > 0$, továbbá t_{max} és a másnap reggeli t_{min} időpontok között $G < 0$, jellemzően.

A modellem időlépcsőjeként ezek az eltérő hosszúságú, de természetes módon előálló időintervallumok szolgáltak.

A vízben tárolt hőmennyiség növekménye a nappali órákban ($G \uparrow$) egyenlő a G -t leíró (20) egyenlet t_{min} és t_{max} közötti időbeli integráljával. Az éjszakai csökkenés ($G \downarrow$) G -nek t_{max} és a következő nap t_{min} közötti integráljaként áll elő:

$$G \uparrow = c_w d \Delta T_1 \quad (21)$$

$$G \downarrow = c_w d \Delta T_2 \quad (22)$$

ahol $\Delta T1 = Tw_{max} - Tw_{min}$ és $\Delta T2 = Tw_{min,+1} - Tw_{max}$, a +1 index pedig a következő napra utal.

A modell lényege, hogy a melegedési és a lehülési szakaszokat külön-külön kezeli, a víz nappali melegedését ($\Delta T1$) és éjszakai lehülését ($\Delta T2$) naponként, empirikus összefüggések alapján határozza meg.

A modellt egy összetett Excel táblázat formájában készítettem el a következő szerkezetben, illetve számítási lépésekkel:

- a vízhőmérséklet minimumának becslése az 1. napra vonatkozóan: kezdeti érték megadása ($Tw_{min,1}$);
- a vízhőmérséklet nappali növekedésének meghatározása meteorológiai adatok (és vízhőmérséklet) alapján empirikus formulával ($\rightarrow \Delta T1_n$);
- a vízhőmérséklet maximumának kiszámítása: $Tw_{max,n} = Tw_{min,n} + \Delta T1_n$;
- a vízhőmérséklet éjszakai csökkenésének kiszámítása empirikus képlettel: ($\rightarrow \Delta T2_n$);
- a következő napi vízhőmérsékleti minimum kiszámítása:

$$Tw_{min,n+1} = Tw_{max,n} + \Delta T2_n$$

Az indexekben szereplő n a szimuláció napját jelenti ($n = 1$: 1. nap, $n = N$: az N napból álló vizsgált periódus utolsó napja).

A 2-5. lépések N alkalommal ismétlődve futnak le, kiszámolva ezzel a vizsgált időszak valamennyi napjára a vízhőmérséklet minimumát és maximumát.

A $\Delta T1$ és $\Delta T2$ értékét becslő empirikus formulák meghatározása korrelációanalízis és regresszióanalízis segítségével történt a 4.6.1.2. fejezetben részletesen bemutatott módon.

A **modell verifikációja** a modellépítéshez használt 2006-os és a független 2005-ös adatokkal történt. A becsült (P_i) és a tényleges (O_i) napi vízhőmérsékleti minimum, maximum- és középhőmérsékleti értékek összehasonlítása először grafikusán történt. Ezután a modell „jóságának” objektív értékeléséhez a következő statisztikai koefficienteket/indexeket alkalmaztam (n : a napok száma):

- a determinációs koefficiens (CD) megmutatja, hogy a modell által becsült adatok mennyire követik a mért értékek trendjét. Az 1-hez közeli értékek azt jelzik, hogy a modell optimális ebből a szempontból;
- az átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke ($RMSE$)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (23)$$

A számítás megadja a mért és becsült értékek különbségének egyfajta átlagát (a nagyobb eltérések hangsúlyozottan szerepelnek). Minél kisebb a paraméter értéke, annál jobb a becslés;

- a modell hatékonysági tényezője (EF)

$$\text{EF} = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (24)$$

- a koefficiens optimuma 1, pozitív értéke pedig azt jelenti, hogy a modell jobb becslést ad, mint a mért értékek átlaga;

- a szisztematikus hiba relatív nagyságát kifejező koefficiens (coefficient of residual mass, CRM)

$$\text{CRM} = \frac{\sum O_i - \sum P_i}{\sum O_i} \quad (25)$$

A pozitív koefficiens azt jelzi, hogy a modell szisztematikusan alábecsli a tényleges értékeket, negatív koefficiens felülbecslésre utal, optimális esetben: CRM=0.

A többi mikroklimatikus vizsgálat egyszerű matematikai, illetve statisztikai módszerek segítségével történt (szélsőértékek, átlagok, napi menetek, függőleges gradiensek kiszámítása, korreláció- és regresszióanalízis). A többféle mérésből származó, igen terjedelmes adatbázis feldolgozása táblázatkezelő program (Microsoft Excel) és megfelelő adatstruktúra használatát igényelte.

5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1. A hőmérséklet hatása a rizs fejlődésére

A különböző növények fenológiai fejlődését döntő mértékben a hőmérséklet határozza meg. Bizonyos fajok (fajták), bizonyos fenofázisokban a megvilágítás hosszára is érzékenyen reagálnak, akár elsődleges tényezővé téve a nappal hosszúságát a hőmérséklettel szemben. A tápanyag- és vízellátottság a termés mennyiségét, illetve minőségét nagy mértékben meghatározza, ugyanakkor a szélsőséges ellátottságtól eltekintve a fejlődési ütemet alig módosítja. A vizsgálataimat a hazánkban termesztett japonica rizsfajtákra végeztem, amelyek a megvilágítás hosszára alig érzékenyek (SIMONNÉ, 1983). Megfelelő termesztéstechnológia mellett a rizs vízellátottsága a teljes tenyészidőszakban optimálisnak tekinthető, a tápanyagellátottság pedig jellemzően eléri azt a szintet, hogy a fejlődési ütemet lényegében ne befolyásolja. Mindezekből következik, hogy a fenológiai jelenségek leírása megtehető az egyetlen kiemelkedően fontos meghatározó tényező, a hőmérséklet függvényében.

5.1.1. Csírázás – kelés

A kelés vizsgálatához a magvak vetése vízkapacitásig telített homokba, 2 cm mélységbe történt, megteremtve ezzel a gyakorlatban jellemzően előálló ideális feltételeket. A szántóföldi körülmények között esetenként előforduló oxigénhiányos állapot (tartós vízborítás), kedvezőtlen talajszerkezet, illetve nagyobb vetésmélység a kelést lassítja, azonban vizsgálataim erre nem, csak a hőmérséklet szerepére irányultak.

5.1.1.1. A kelési idő különböző hőmérsékleten

Az 50%-os (medián) kelési állapot eléréséhez szükséges időt (E_{50}) klímasekrényben, állandó hőmérsékleti értékek mellett 5 köztermesztésben lévő hazai fajta esetében vizsgáltam (4. melléklet). A varianciaanalízis szignifikáns eltéréseket mutat a fajták átlagában az egyes hőmérsékleti „kezelésekhez” tartozó E_{50} értékek között (2. táblázat). A hőmérséklet növekedésével a kelési idő csökken az egész vizsgált intervallumban (14 °C-34 °C). A csökkenés üteme azonban az alacsonyabb hőmérsékleti tartománytól a magasabb felé haladva fokozatosan egyre kisebb. Az átlagos kelési idő 14 °C-on még 23,9 nap, 16 °C-on már „csupán” 13,4 nap. Ez azt jelenti, hogy itt 2 °C-os hőmérséklet növekedés mintegy 10 nappal gyorsította a kelést. 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.

2. 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 E₅₀ értékek szignifikáns különbséget nem mutatnak (Tukey-teszt, P = 0,05).

A fajtakülönbségek vizsgálata első lépésként az összes hőmérsékleti kezelés átlagában kapott E₅₀ alapján történt (3. táblázat). Látható, hogy 3 fajta (Dáma, Ringola, Risabell) lényegében azonos idő alatt kel ki. Az Augusta ennél szignifikánsan kevesebb, a Bioryza szignifikánsan több időt igényel az 50%-os kelési állapot eléréséhez.

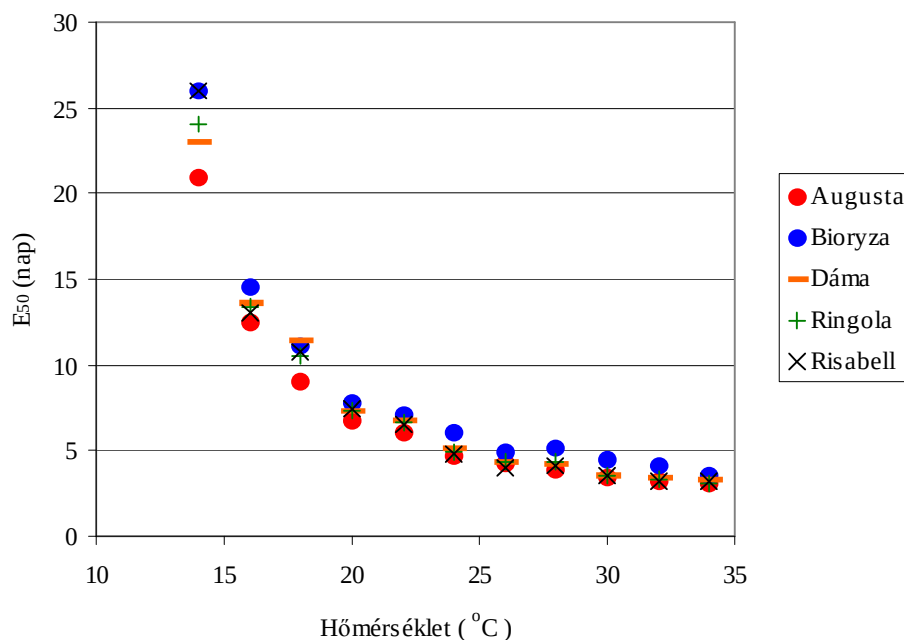
3. táblázat. A vetéstől az 50%-os kelési állapot eléréséig szükséges idő az összes hőmérsékleti kezelés átlagában

Fajta	E ₅₀ (nap)
Augusta	7,1 A
Bioryza	8,6 C
Dáma	7,8 B
Ringola	7,8 B
Risabell	7,9 B

Az azonos betűvel jelölt E₅₀ értékek szignifikáns különbséget nem mutatnak (Tukey-teszt, P = 0,05).

A varianciaanalízis szignifikáns hőmérséklet×fajta kölcsönhatást mutatott, ezért szükséges volt a különböző hőmérséklet×fajta kombinációk esetén összehasonlítani az E₅₀ értékeket. A Bioryza jellemzően valamennyi hőmérsékleten lassabb kelést mutat a

többi fajtánál. Az Augusta, Dáma, Ringola, Risabell hasonlóan viselkednek a kedvező hőmérsékleti értékek mellett, de 20 °C alatt, és különösen 14 °C-on szembetűnővé válnak a különbségek (1. ábra).



1. ábra. A rizs kelési ideje (E_{50}) különböző állandó hőmérsékleti értékek mellett, 2 cm-es vetésmélység esetén.

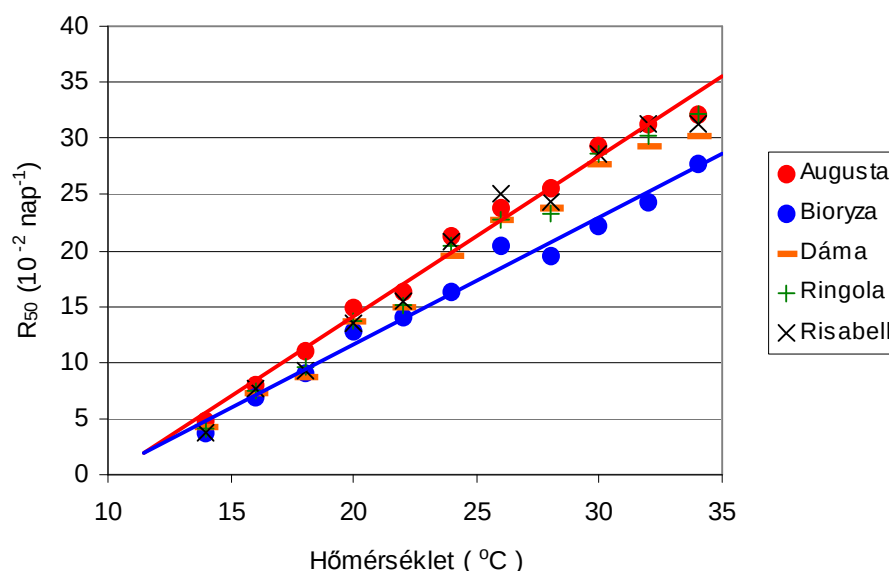
Az Augusta – mely egyébként a vizsgált fajták között a legrövidebb tenészsídejű – kelési ideje a legrövidebb alacsony hőmérsékleten. Megjegyzendő azonban, hogy ilyen hűvös körülmények között a kelés lassúságának szükségszerű következménye, hogy a kelési idők eltérései (fajták közötti vagy az egyes ismétlések közötti) napokban kifejezve megnövekednek.

5.1.1.2. Lineáris modell

Az 50%-os kelés idejének reciprokaként definiált kelési sebesség v. ütem ($R_{50} = \frac{1}{E_{50}}$) a szakirodalmi adatok alapján jó közelítéssel a hőmérséklet lineáris függvényeként változik, legalábbis egy bizonyos hőmérsékleti intervallumban. Ez a lineáris összefüggés jelenti az alapot a hőösszeg módszer alkalmazására, illetve a bázishőmérséklet és a keléshez szükséges hőösszeg meghatározásához.

Az R_{50} értékek minden vizsgált fajta esetében igen jól megfelelnek az elvárásaimnak. (A 2. ábrán az egyenest csak a két leginkább eltérő Augusta és Bioryza fajták ese-

tében tüntettem fel.) Szembetűnő, hogy a fajták, illetve hőmérsékleti kezelések közti különbségek a magas hőmérsékleti értékeknél markánsan jelentkeznek az R_{50} értékekben, míg alacsony hőmérsékleten alig. A reciprok összefüggés miatt éppen fordítva, mint az E_{50} esetében. A magas hőmérsékleten határozottabban megfigyelhető különbségeknek azonban kicsi a gyakorlati jelentősége az egyébként gyors kelés miatt.



2. ábra. A rizs kelési üteme (R_{50}) különböző állandó hőmérsékleti értékek mellett, 2 cm-es vetésmélység esetén.

A lineáris regresszió egyenese az Augusta és Bioryza fajták esetén

A hőmérséklet és a kelési sebesség közötti lineáris regressziós összefüggés paraméterei (a : y tengelymetszés, b : meredekség, R^2 : regressziós koefficiens) fajtánként kerültek meghatározásra. A bázishőmérséklet és a keléshez szükséges hőösszeg-igény kiszámítása az a és b értékéből a 4.3. fejezetben leírtak alapján történt (4. táblázat).

A bázishőmérséklet ($T_{\text{bázis}}$) értéke 9,8 °C (Bioryza) és 10,9 °C (Risabell) között alakul. Az egyes fajták közötti különbség jellemzően kisebb, mint 1 °C, azaz nincs szignifikáns eltérés a $T_{\text{bázis}}$ esetében. Ezek az értékek kissé alacsonyabbak, mint a hazai szakirodalomban a fajtákra és a fenofázisokra egységesen elfogadott 12 °C (SIMONNÉ, 1983; LAJTOS, 1967). A $T_{\text{bázis}}$ meghatározására szolgáló (statisztikai) módszerek eltérő számítási módjai azonban önmagukban is ennél jóval nagyobb eltéréseket okozhatnak (BONHOMME, 2000).

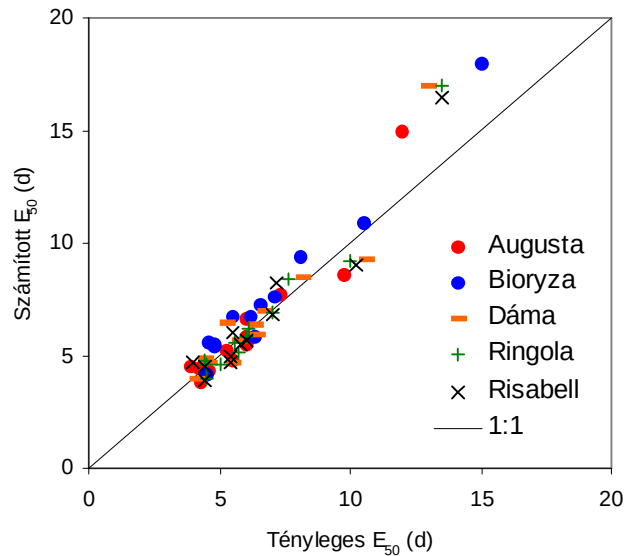
4. táblázat. A hőmérséklet és a kelési sebesség (R_{50}) közötti lineáris regressziós összefüggés paraméterei (a: tengelymetszés, b: meredekség, R^2 : regressziós koefficiens), valamint az ebből származtatott bázishőmérséklet ($T_{\text{bázis}}$) és effektív hőösszeg-igény (EHI)

Fajta	a	b	R^2	$T_{\text{bázis}}$	EHI
Augusta	-0,144	0,0143	0,98	10,1	70
Bioryza	-0,111	0,0113	0,98	9,8	88
Dáma	-0,147	0,0137	0,99	10,6	73
Ringola	-0,156	0,0145	0,99	10,9	70
Risabell	-0,158	0,0146	0,98	10,8	69

Négy fajta keléshez szükséges hőösszeg igénye megközelítőleg azonos, 69 és 73 °Cnap közötti, ugyanakkor a Bioryza esetén lényegesen magasabb érték (88 °Cnap) adódott. Természetesen az EHI értékek nagysága a $T_{\text{bázis}}$ -tól is függ, így egy nagyobb EHI érték nem jelent feltétlenül hosszabb kelési időt, illetve megegyező EHI értékek reprezentálhatnak eltérő kelési habitust. Például a Ringola és Augusta azonos hőösszeg igénye (70 °Cnap) ellenére az utóbbi fajta rövidebb idő alatt kel ki (a modell szerint) az alacsonyabb bázishőmérséklete miatt.

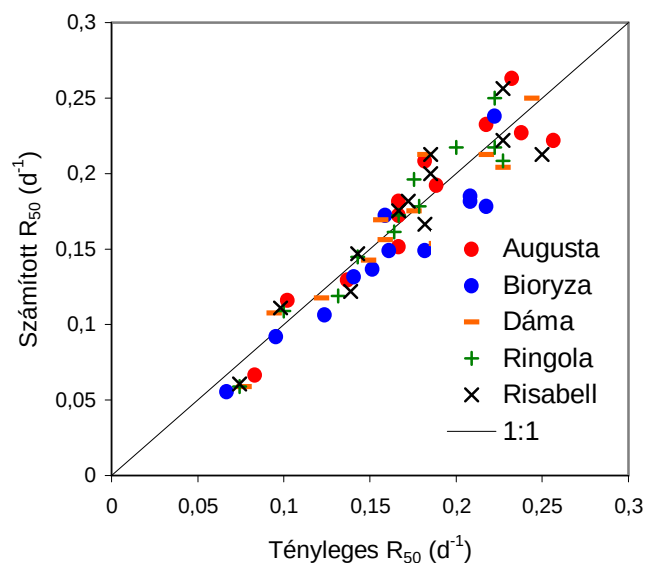
5.1.1.3. Modell verifikáció

A lineáris hőösszeg modell megbízhatóságát szabadföldi kisparcellás és tenyészedényes kísérleteink független adataival ellenőriztem (5. melléklet). A megfigyelt és a modell által becsült E_{50} értékek egyszerű grafikus összehasonlítása a lineáris modell pontosságát bizonyítja (3. ábra). A tesztelés főleg magasabb hőmérsékleteken volt részletes, és egyben itt volt a becslés hibája a legkisebb. A 10 napnál rövidebb kelési idők esetében $RMSE = 0,61$ nap, ami a gyakorlati igényeket tökéletesen kielégíti. A becslési hiba napokban kifejezett értéke határozottan növekszik az alacsonyabb hőmérsékletek felé haladva, a naponkénti hőmérsékleti akkumuláció kisebb mértéke miatt. A bázishőmérséklethez közeli hőmérsékleti tartományban néhány °C-os hőösszeg akár több napot is jelenthet, és ez kiküszöbölhetetlen hibalehetőséget rejt magában. A szabadföldi körülmények között fellépő vetésmélyiségbeli és talajhőmérsékleti heterogenitás, illetve mérési pontatlanság hasonló hatással bír, azaz $T_{\text{bázis}}$ -hoz közelítve jelentősen nehezíti a kelési idő becslését.



3. ábra. A lineáris hőösszeg modell által számított és a tényleges kelési idő (E_{50}) összehasonlítása a vizsgált 5 rizsfajta esetén

A modell pontossága elemezhető a kelési sebesség becslésén keresztül is. Ekkor az R_{50} és E_{50} közötti inverz kapcsolat következtében éppen az előbb leírtak ellentettje tapasztalható, azaz nagy pontosságot alacsony hőmérsékleten (abszolút értékben R_{50} becslési hibája kicsi), és növekvő abszolút hiba a hőmérséklet növekedésével (4. ábra). Összességében megállapítható, hogy a modell a teljes tesztelt hőmérsékleti tartományban, a fajták összességét tekintve jól leírja a kelés idejét, illetve sebességét.



4. ábra. A lineáris hőösszeg modell által számított és a tényleges kelési ütem (R_{50}) összehasonlítása a vizsgált 5 rizsfajta esetén

A fajtánkénti tesztelés eredményeként az adódott, hogy a Bioryza esetében a kelési időre vonatkozó CRM értéke $-0,11$, azaz a modell túlbecsli a szabadföldi körülmények között megfigyelt E_{50} -t. Ennek az egyik lehetséges oka a klímakamrás kísérletben felhasznált vetőmag némiképp csökkent biológiai értéke, amely a kelési százalékban nem, csupán a kelési erélyben nyilvánult meg. A másik 4 vizsgált fajta esetében szignifikáns szisztematikus hibák nem fedezhetők fel.

Összességképpen megállapítható, hogy a hőösszeg-modell gyakorlati alkalmazásra megfelelő. A kelési idő becslése (napokban kifejezve) alacsony hőmérsékleten mutat nagyobb pontatlanságot, az optimális, illetve az ahhoz közeli hőmérsékleti tartományokban a hiba lényegesen kisebb. A fajták közti különbségek is fokozottan jelentkeznek alacsony hőmérsékleten, ezért szükségesnek tartom további csírázási és kelési kísérletek végzését a $10-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ tartományban. Gyakorlati szempontból kiemelten fontos a fajták összehasonlítása az egyfajta „választóvonalként” működő $14-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os intertervallumban, hiszen egy hűvös kelési periódusban a tényleges kelési időt döntő mértékben ez határozza meg. A $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tapasztalt több, mint 3 hetes kelési idő már kifejezetten kedvezőtlen, míg a $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ -n jellemző mintegy 2 hetes időtartam már elfogadható gyakorlati szempontból. Véleményem szerint a rizsfajták e két hőmérsékleten történő összehasonlítása nyújtaná a leghasznosabb információt az alacsony hőmérsékleten mutatott kelési erélyre vonatkozólag. A kis hőmérsékletváltozások jelentős hatása miatt, viszont csak igen pontosan szabályzott klímaszekrényekben lehetséges ezen vizsgálatok elvégzése. A $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett végzett további vizsgálatoknak gyakorlati jelentőségük csekély (legalábbis Magyarországon), hiszen a rizs kelési időszakában a talaj ritkán és rövid időre melegszik fel ilyen mértékben, és ha igen, akkor a kelés gyorsan végbe megy. Ugyanakkor a linearitás felső határának, illetve a meleg által okozott depressziónak a tanulmányozása a rizs fiziológiájának minél teljesebb megismerése miatt fontos.

A modell megbízhatósága, gyakorlati alkalmazhatósága fokozható az időjárás és az agrotechnika talajhőmérsékletre gyakorolt hatásának minél részletesebb feltárásával.

5.1.1.4. A kelés dinamikája

Az egyes magvak csírázási erélye szükségszerűen mutat kisebb-nagyobb szórást, amely jó minőségű vetőmag választásával és frakcionálással csökkenthető, de meg nem szüntethető. A szemek magágyban való elhelyezkedése (még azonos vetésmélység esetén is) és a szemek mikrokörnyezetében lehetséges eltérések további olyan tényezők, amelyek a kelést időben széthúzzhatják. Törekedve az ideális feltételek megteremtésére, a rendel-

kezésre álló legjobb csírázási erélyű és homogenitású szaporítóanyag (Augusta) felhasználásával vizsgáltam a kelés dinamikáját. Jó szerkezetű, nedves talajba, 2 cm mélységbe 200 rizsszemet vetettem. A kelést 6 óránként ellenőriztem állandó 20 °C-os hőmérséklet mellett. Ezen a hőmérsékleten a keléshez szükséges idő 7 nap körüli, illetve kevéssel az alatti, azaz a 6 órás észlelési intervallum már kellően informatív.

Az egyes időpontokig – azaz hőmérsékleti összegig – kikelt növények számát az összes kikelt növény %-ában határoztam meg. Az 5. ábra a 10 °C feletti hőmérsékleti összeg függvényében mutatja a kumulatív kelést (%). Megvizsgáltam, hogy milyen függvény írja le legpontosabban az összefüggést. A vizsgálatba csak azokat az elnyújtott S-alakú függvényeket vontam be, amelyek értékkészlete pontosan 0 és 100 közötti (százalékban megadott érték) és így a teljes értéktartományában elméletileg helyes értéket adhat. A nem-lineáris regressziószámítást a Sigmaplot 2000 statisztikai programmal végeztem a következő függvényekre:

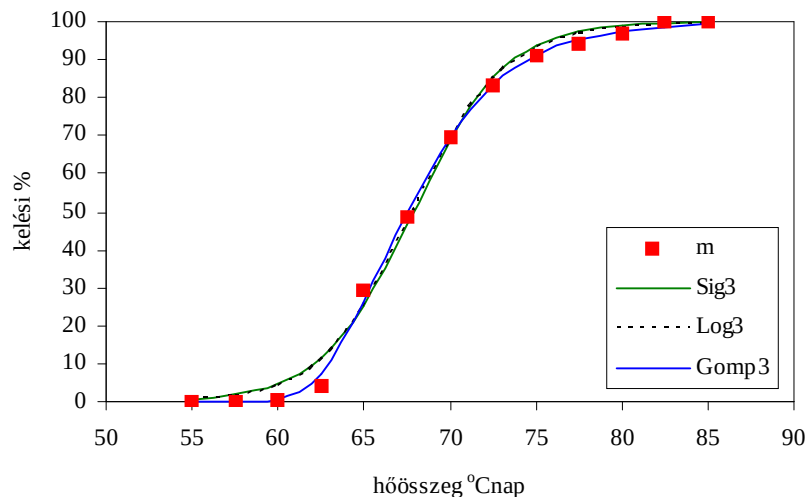
$$\text{Sigmoid: } y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \quad (26)$$

$$\text{Logisztikus: } y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b} \quad (27)$$

$$\text{Gompertz: } y = a \cdot e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \quad (28)$$

ahol y a kumulatív kelési %, $a=100$, amely megadja a függvények maximális értékét, x_0 paraméter az első két függvénynél az 50%-os, a Gompertz függvénynél az $1/e$ %-os függvényértékhez (kelési állapothoz) tartozó hőösszeg és b a görbék középső szakaszának meredekségére utaló paraméter.

Megállapítható, hogy a görbe középső szakasza csaknem lineáris és itt mindhárom függvény kellő pontosságú. A populáció kelésének kezdeti hirtelen megindulását és a végső szakaszban történő fokozatos lecsengését a Gompertz függvény igen jól leírja. A másik két függvény a kezdeti szakaszban enyhe túlbecslést, a kelési folyamat végén a valóságosnál későbbi és hirtelenebb leállást mutat. Igen magas variációs koefficiens és igen alacsony standard hiba jellemzi mindhárom függvényillesztést, azonban egyértelműen a Gompertz függvény bizonyult legalkalmasabbnak a kelési folyamat leírására. (5. táblázat).



5. ábra. A kumulatív kelés megfigyelt értékei (m) és a pontokra legjobban illeszkedő szigmoid (sig), logisztikus (log) és Gompertz (Gomp) függvény

5. táblázat. Az Augusta rizsfajta kelését legjobban leíró szigmoid (sig), logisztikus (log) és Gompertz (Gomp) függvény paraméterei, illetve a becslés pontosságát jellemző standard hiba (SE) és determinációs koeficiens (R^2) értékei

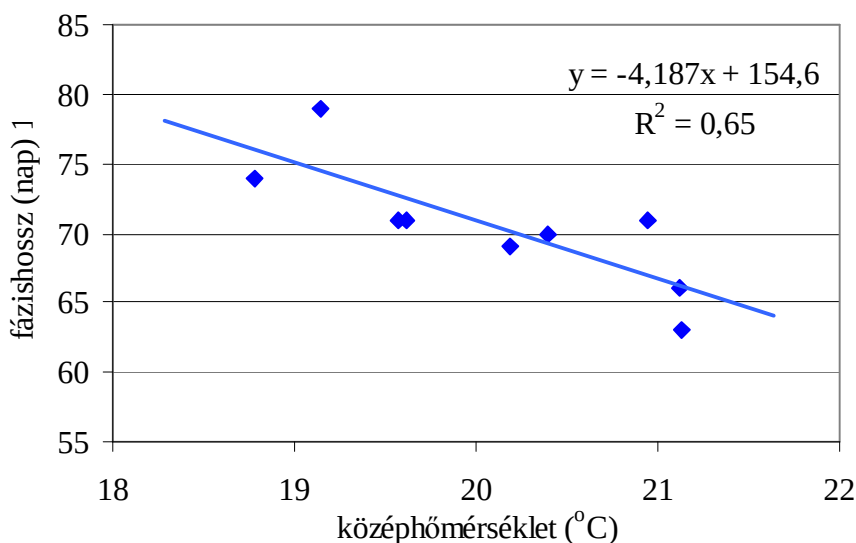
Függvény	R^2	SE	b	x_0
Szigmoid	0,994	3,54	2,62	67,9
Logisztikus	0,996	3,11	-24,75	67,8
Gompertz	0,999	1,63	3,79	66,1

5.1.2. Virágzás

A kísérlet 9 éve során, az alkalmazott április vége - május eleje vetésidő esetén a kelés-virágzás fenofázis hossza 63 és 79 nap között változott. A megszokottól eltérő vetés-, illetve kelésidő esetén a fotoperiódus hatására némiképp változhat a fejlődési sebesség és a hőösszeg-igény, de ennek vizsgálatára nem került sor. Hazánkban ennek egyébként sincs gyakorlati jelentősége, hiszen a vetés ideje nagyon behatárolt, a vegetációs periódusok évről évre megegyeznek fotoperiódus szempontjából, valamint a hazánkban is termesztett japonica rizsfajták általában kevésbé érzékenyek a megvilágítás hosszára (SIMONNÉ, 1983).

A fázishossz szórása alacsony (4,5 nap), ami arra utal, hogy a hőmérséklet hatása a fejlődési sebességre kisebb, mint ahogyan egy melegigényes, trópusi eredetű növény esetén várható lenne. A 6. ábrán látható, hogy a fenofázis jellemzően hosszabb, ha ala-

csenyebb a középhőmérséklete és viszont, de az $r^2=0,65$ értéke és a pontok elhelyezkedése azt mutatja, hogy az összefüggés nem túl szoros.



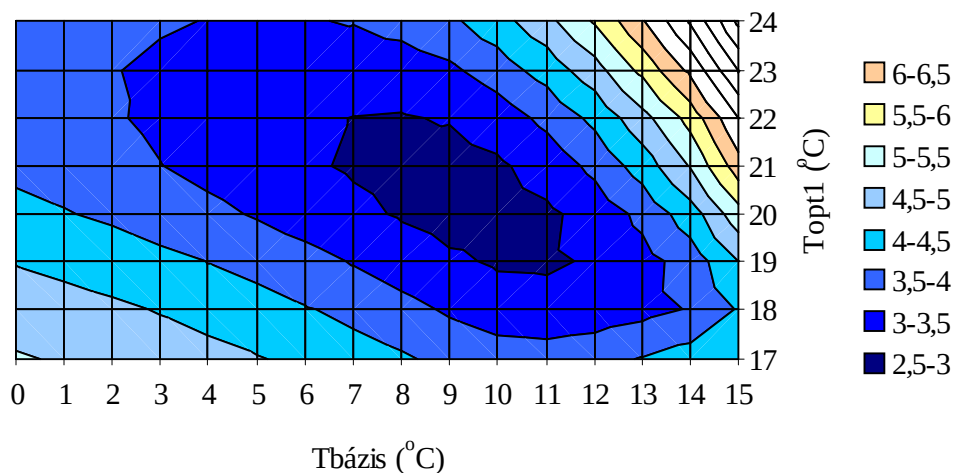
6. ábra. A rizs (Ringola fajta) kelés-virágzás fenofázisának középhőmérséklete és tartama között megfigyelt összefüggés.

Első lépésben a legegyszerűbb, klasszikus hőösszeg-modellt vizsgáltam, melyben csak a bázishőmérséklet szerepel, a felső küszöbhőmérsékletet viszont nem. Ehhez bármely – a 4.3. fejezetben bemutatott – módszert használhatjuk a T_{opt} kellően magas megválasztásával. A 6. táblázat szerint – melyben feltüntettem a Ringola rizsfajta különböző bázishőmérsékletek melletti hőösszeg-igényét az egyes években, továbbá ezek átlagát, szórását és variációs koefficiensét – a szórás értéke folyamatosan csökkenthető a bázishőmérséklet 9,3 °C-ig történő emelésével. Tovább növelve a $T_{bázis}$ -t, a szórás már növekszik, így ez a hőmérséklet tekinthető a $T_{bázis}$ egyfajta statisztikai értelmezésének. Ha indikátornak a CV értékét tekintjük, akkor megállapíthatjuk, hogy a $T_{bázis}$ 0 és 7 °C közötti növelése alig befolyásolja a modell pontosságát. Azaz amilyen ütemben csökken a szórás, körülbelül ugyanolyan arányban csökken a hőösszegek átlaga, így a napi hőmérsékletek $T_{bázis}$ feletti értéke is. Mindez azt jelenti, hogy a fázishossz napokban kifejezett szórása is csaknem azonos, tehát nincs érdemi eltérés a modellek jóságában. Megjegyzem, hogy ezek a CV értékek $P=5\%$ -os szinten nem különböznek szignifikánsan a fenofázis hosszának CV értékétől (6,43%). Mindez nem azt bizonyítja, hogy a hagyományos hőösszeg-módszer nem eredményes. Csupán a szignifikáns hatást nem tudtam kimutatni az alacsony eredeti CV-k és a nem nagy ismétlésszám miatt.

6. táblázat. A Ringola rizsfajta kelés-virágzás időszak effektív hőösszege különböző bázishőmérsékleti értékek esetén az 1991-1999 években, illetve a hőösszegek átlaga, szórása és variációs koefficiense (CV)

Tb	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	átlag	szórás	CV
0	1512	1393	1428	1394	1393	1370	1390	1487	1331	1411	56,6	4,01
2	1354	1251	1288	1262	1255	1230	1242	1345	1205	1270	50,3	3,96
4	1196	1109	1148	1130	1117	1090	1094	1203	1079	1130	44,8	3,97
6	1038	967	1008	998	979	950	946	1061	953	989	40,7	4,12
8	880	825	868	866	841	810	798	919	827	848	38,3	4,52
10	724	683	728	734	704	670	650	777	701	686	38,0	5,37
12	578	541	588	602	569	531	508	637	575	570	39,0	6,86

A felső küszöbhőmérséklet (optimum) bevonása a modell jelentős javulását eredményezte. A 7. ábra szerint a legkisebb (3% alatti) CV értékek horizontális metszés (1. módszer) esetén 7-11 °C közötti $T_{bázis}$ és 19-22 °C közötti T_{opt1} esetén fordultak elő oly módon, hogy a magasabb T_{opt1} -hez alacsonyabb $T_{bázis}$ tartozik, és viszont. (Jelölésünkben a T_{opt} utáni szám arra utal, hogy melyik módszer szerint történt a T_{opt} feletti hőmérsékletek figyelembe vétele). A legjobb eredmény a $T_{bázis} = 9,6$ °C, $T_{opt1} = 20,3$ °C paraméter értékek mellett adódott. A közel 10 °C-os bázishőmérséklet kissé kevesebb, mint a hazai irodalmi adatok (SIMONNÉ, 1983); LAJTOS, 1967).



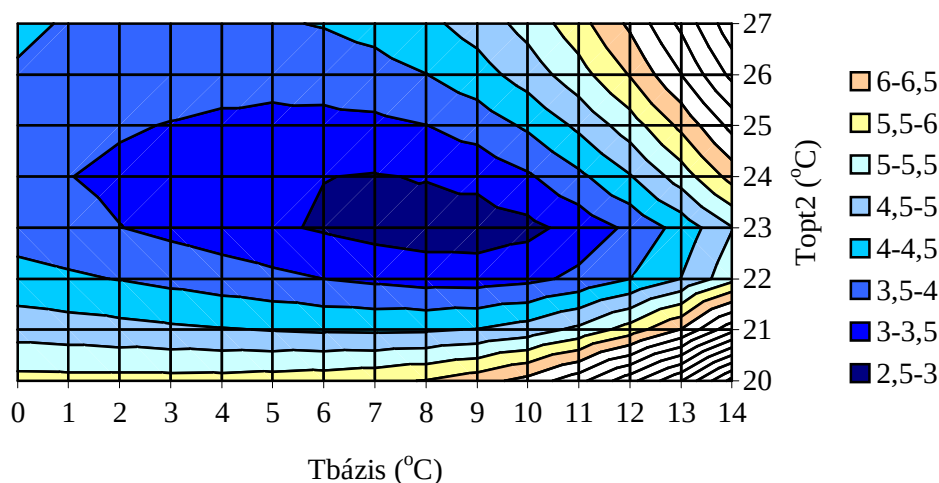
7. ábra. A hőösszeg variációs koefficiensének változása különböző bázishőmérséklet és optimumhőmérséklet kombinációk esetén (1. Módszer)

A T_{opt1} értéke meglepően alacsonynak tűnik, mivel a rizs fejlődésének optimális hőmérséklete a virágzást megelőző valamennyi rész-fenofázisára vonatkozóan általában

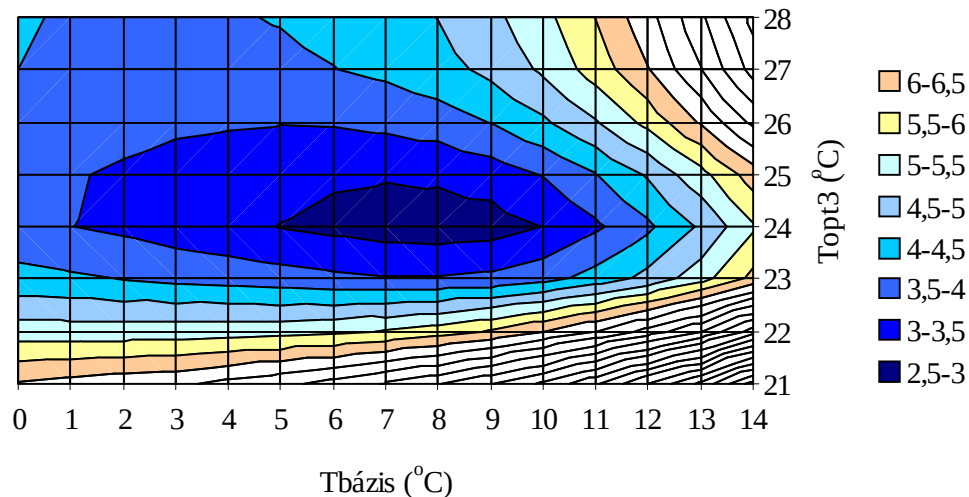
25 °C közeli, illetve azt meghaladó (YOSHIDA, 1981). 16 rizsfajtával kontrollált körülmények között elvégzett kísérletekben (SUMMERFIELD et al., 1992) viszont megfigyelték, hogy több – köztük japonica és indica – fajta esetében a fejlődési sebesség növekedése 20 °C -os középhőmérséklet felett csak kiegyenlített napi hőmérsékleteknél következik be, egyébként nem. A vizsgált 20/20, 28/16, 28/20, 32/20 °C-os nappali/éjszakai hőmérsékletek mellett a fejlődés üteme nem mutatott lényeges eltérést.

A várthoz képest alacsony T_{opt1} fő magyarázata magában a hőösszeg-módszer ezen változatában rejlik. Az 1. Módszer alkalmazásával ugyanis a kapott érték csak azt adja meg, hogy ha a horizontális metszést alkalmazzuk, akkor azt ilyen alacsony hőmérsékleten célszerű elvégezni. Ha T_{opt1} magasabb, akkor a legmelegebb (már kedvezőtlen) napok túl nagy mértékben járulnak hozzá a hőösszeghez, eltorzítva a valós hatásukat.

A 2. módszerrel (8. ábra) kapott optimális T_{opt2} érték már magasabb, mivel a séma közelebb áll a valós hőmérséklet-fejlődési sebesség összefüggéshez, és kevésbé kell az optimum feletti hőmérséklet összefüggést torzító hatását kompenzálni. $T_{bázis}=8,5$ °C és $T_{opt2}=23,1$ °C mellett minimális a hőösszegek variációs koefficiense. A 3. módszer (9. ábra) a $T_{bázis} = 8,0$ °C és $T_{opt3}=24,1$ °C esetén adja legjobb eredményt. Ez azt jelenti, hogy a 24 °C-os napi középhőmérséklet tekinthető ideálisnak a rizs fejlődése szempontjából.



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

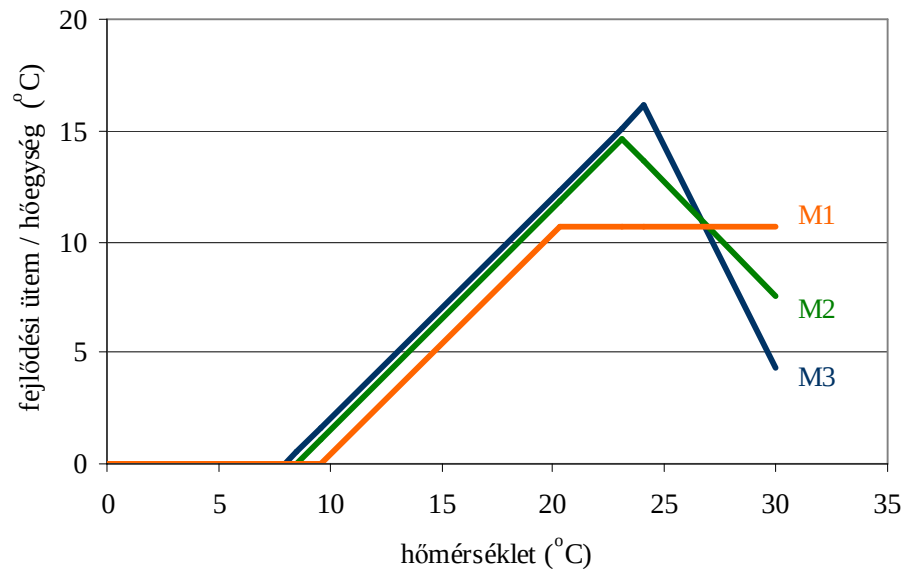


9. ábra. A hőösszeg variációs koefficiensének változása különböző bázishőmérséklet és optimumhőmérséklet kombinációk esetén (3. Módszer)

A 7., 8. és 9. ábra elemzésével, illetve összehasonlításával további fontos megállapítások tehetők:

- a bázishőmérsékletnek az optimálistól lefelé történő eltérésére a modellek kevésbé érzékenyek, mint a felfelé való eltérésre;
- alacsony bázishőmérséklet alkalmazásával a modellek kevésbé érzékenyek a T_{opt} megválasztására;
- optimális $T_{bázis}$ kiválasztása mellett, ha eltérünk a legjobb T_{opt} értéktől:
 - az 1. módszernél szimmetrikusan és viszonylag lassan romlik a modell,
 - a 2., de különösen a 3. módszernél, a lefele történő eltérésnél gyors a romlás, a felfele eltérésnél viszont lassú, hasonlóan az 1. módszerhez;
- az előzőekből következik, hogy a $T_{bázis}$ és T_{opt} bizonytalansága esetén (ami mindig fennáll) a hőösszeg-számításhoz $T_{bázis}$ -t inkább kissé alacsonyabbra, a T_{opt} -t inkább kissé magasabbra érdemes megválasztani.

A bemutatott hőösszegszámítási-módszerekkel gyakorlatilag azonos pontosság érhető el a virágzási idő becslésénél, ugyanis a minimális CV értékek százalékban kifejezve rendre 2,75, 2,71, 2,73. A 10. ábra összefoglalóan ábrázolja, hogy miként kell a hőmérsékletek összegzését végezni az egyes esetekben. A fenofázis hosszának meghatározására esetünkben tehát mindhárom modell egyaránt alkalmas. Az 1. módszernél, ha a $T_{bázis}$ -t a horizontális vágás értékéhez igazítjuk, akkor a T_{opt} -re kevésbé érzékeny a modell. A 2., de különösen a 3. módszernél a T_{opt} értékét szükséges pontosabban meghatározni, viszont ekkor a bázishőmérséklettől már alig függ a modell használhatósága.



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

A három módszerhez tartozó ideális paraméter-értékek újszerű információt szolgáltatnak a rizs éghajlati igényére vonatkozóan. A bázishőmérséklet 8-10 °C-os értéke azt fejezi ki, hogy már ilyen napi középhőmérsékletek mellett is fejlődik a növény. Ez érthető, hiszen ilyen napi közepek mellett jellemző lehet a 15 °C körüli nappali hőmérséklet, ami már elegendő a rizs fejlődéséhez. Az optimális 24 °C feletti napi középhőmérsékletek hazánkban rendszeresen előfordulnak. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy nem csak a hidegstressz, hanem az eddig nem kellőképpen vizsgált túlságosan meleg időszakok is negatív hatással lehetnek a rizstermesztésünkre.

A vizsgálatokban alkalmazott eljárás egy viszonylag egyszerű lehetőséget mutat arra vonatkozóan, hogyan lehet fenológiai adatok birtokában az adott ökológiai körülményekre érvényes, tetszőleges fajra és fenofázisra vonatkozó, fajtaspecifikus hőösszeg-modellt parametrizálni a variációs koefficiensek minimalizálásával.

Az érés időpontjára vonatkozólag csak közelítő pontosságú adatok álltak rendelkezésre, melyből nem volt lehetséges a hőösszegmódszer paramétereinek megbízható meghatározása. A virágzás-érés fenofázis hosszát É. KISS (1980) lineáris módszerével becsültem ($T_{\text{bázis}} = 8 \text{ °C}$, hőösszegigény = 500-560 °Cnap).

5.2. A kritikus fejlődési szakaszok meteorológiai vizsgálata

Az irodalmi adatok szerint a rizs a fejlődésének egyes szakaszaiban különböző érzékenységet mutat az időjárási hatásokra. Mindezt saját vizsgálatom, a termésátlag-időjárás kapcsolat korrelációanalízise is megerősítette, amelyet részletesen az 5.3. feje-

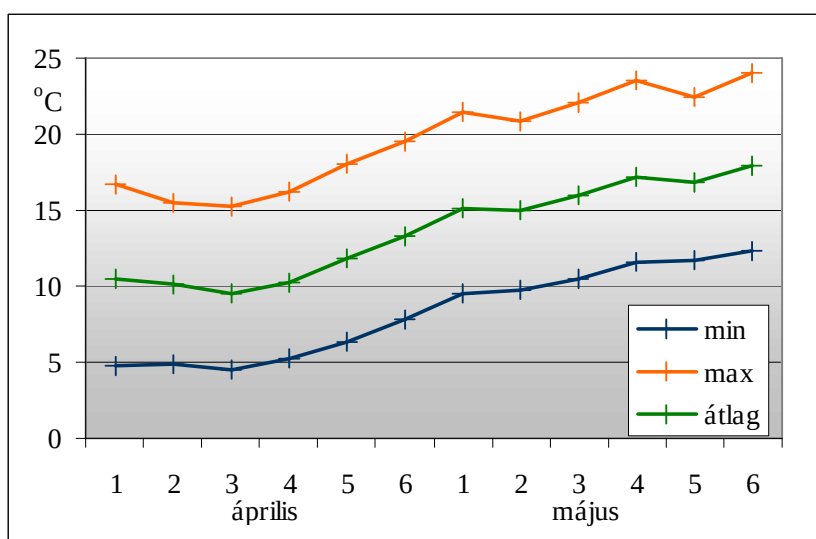
zetben ismertetek. Hazai viszonyok között az időjárással összefüggésben terméscsökkenést eredményezhet elsősorban

- (1) az elhúzódó kelés miatt kialakuló egyenetlen, gyenge növényállomány;
- (2) a reprodukzív szakaszban bekövetkező lehűlések által okozott, általában részleges virág, illetve bugasterilitás és
- (3) a későre, kedvezőtlen időjárási feltételek közé tolódottérés.

A vegetatív fejlődési szakaszban (nem az elején) fellépő kedvezőtlen meteorológiai viszonyoknak többnyire nincs közvetlen terméscsökkentő hatásuk.

5.2.1. Kelés

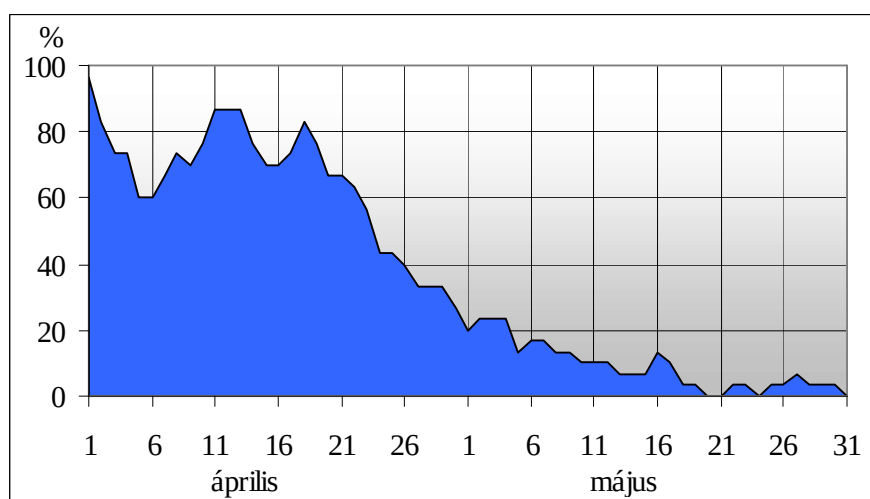
Magyarországon a direktvetés gyakorlata terjedt el, melyet idejében elvégezve lehet csak biztosítani a kellő hosszúságú tenyészidőszakot. Megvizsgáltam, hogy mennyire lehet előrehozni a vetést anélkül, hogy ezzel jelentősen megnövelnénk a káros, elhúzódó kelés veszélyét. Az április-május időszak pentád hőmérsékleteinek átlagos menetét szemlélteti a 11. ábra.



11. ábra. A napi minimum-, maximum- és középhőmérsékletek 30 éves pentád átlagai április-májusban Szarvason

30 éves átlagban is kimutatható az április közepén jelentkező hőmérséklet visszaesés, ami elsősorban a nappali felmelegedés gyengülését jelenti. Ennek oka a megnövekvő ciklon gyakorisággal összefüggő felhősebb, csapadékosabb időjárás. Április 20-a után erőteljes melegedés jellemző. Az irodalmi adatok szerint a megfelelő keléshez szükséges 12 °C-os küszöbnél alacsonyabb átlaghőmérsékletű pentádok valószínűségét

mutatja be a 12. ábra. (A hazai fajták kelésének bázishőmérsékletére ugyan 10 °C adódott, de 12 °C alatt még mindenképpen kedvezőtlenek a kelés feltételei.) Április 5-e környéke csaknem az évek felében kedvező, de a vetést nem érdemes elvégezni, mivel az ezt követő 10-15 nap 70-90%-os valószínűséggel kedvezőtlené válik. Április utolsó dekádjában kedvező viszonyok esetén – ha az időjárás előrejelzések nem mutatnak tartós lehülést – már vethetünk, hiszen innen kezdve rohamosan csökken a kelést akadályozó alacsony hőmérsékletek valószínűsége.



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

A klímakamrás kelési kísérletem eredménye szerint a kelésre vonatkozó hőösszeg modellben a bázishőmérséklet jó közelítéssel 10 °C, a hőösszegigény pedig 70 °Cnap. Ezt felhasználva meghatározásra került az 1976-2007 időszak minden évére, hogy április 1, 10, 15, 20, 25 és május 1-i vetésidők esetén mikor, illetve hány nap múlva következett volna be a kelés (6. melléklet). Az egyre korábbi vetéseknél egyre hosszabb a kelési idő. Április 10-i vetés esetén 26 nap, április 25-i vetésnél 16 nap a keléshez szükséges idő, azaz míg a vetésnél 15 nap, addig a kelésnél már csak 5 nap a különbség. Virágzás idején az ebben rejlő hőösszeg eltérés a magasabb hőmérsékletek miatt jellemzően csak 2-3 napot jelent, érése ismét elérheti az 5 napot.

A termelői gyakorlat szerint a 3 hétnél hosszabb kelési idő hátrányosan befolyásolhatja az állomány beállását, az 1 hónapon túli pedig igen kedvezőtlen. Ez alapján az április 10-i vetés kizárható. A 15-i sem ajánlott, hiszen 50%-os eséllyel csak 3 hét után, illetve kb. 20% eséllyel 1 hónap után kezdődik a kelés (7. táblázat). A 12. ábra szerint április 20-tól jellemzően egyre kedvezőbbé válik az időjárás, de még így is átlagosan kb. 3 évente egyszer túl hosszú a kelési idő (legalább 3 hét). Április 25-i vetés kockáza-

ta már elfogadható nagyságú, a vetést meg lehet kezdeni, bár a későbbi vetések természetesen még kedvezőbb körülményeket biztosítanak.

Korábbi hazai vizsgálatok a legkorábbi vetési időpontra a talajhőmérséklet tartós 12 °C-os (SIMONNÉ, 1979, 1983), illetve 13 °C-os (LAJTOS, 1967) átlépését ajánlják. A hőmérséklet tartós átlépésének megállapítása a gyakorlatban komoly problémákat vet fel a talajhőmérséklet jelentős ingadozásai és inhomogenitása miatt. További probléma a vetés idejének aktuális talajhőmérséklethez történő kötésével, hogy korai kitavaszkodás, gyors április eleji felmelegedés esetén az előbbi ajánlás alapján kockázatos a vetés a később várható hőmérséklet visszaesések miatt.

Az időjárást kellő pontossággal csupán egy hétig lehet előrejelezni, az azt követő időszakra a naptári időszakhoz tartozó éghajlati statisztikák valószínűségi információit célszerű figyelembe venni, ahogyan azt tettem a vizsgálataimban. Azaz, véleményem szerint elsődlegesen a már elfogadhatónak talált április 20-i dátumból kell kiindulni, és kedvező (>15 °C) talajhőmérséklet, és előrejelzett tartós meleg esetében lehet ettől maximum 1 héttel korábban elkezdni a vetést.

7. táblázat. A 3 hetet és 1 hónapot elérő kelési idő (KI) 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

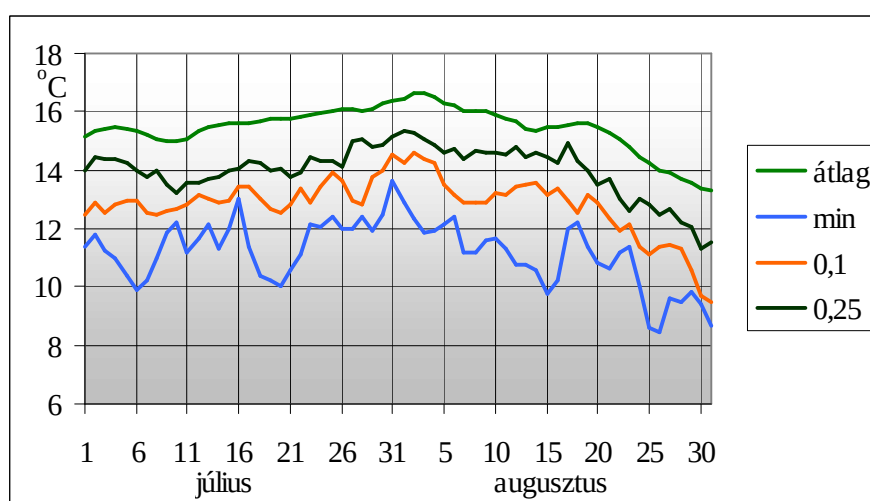
5.2.2. Reprodukzív fejlődési szakasz a virágzásig

Irreverzibilis károsodási forma a reprodukzív fejlődési szakaszban akár csak rövid ideig (néhány nap) fellépő alacsony hőmérséklet következtében kialakuló többnyire részleges bugasterilitás. A kockázat csökkentése érdekében az adott fajta vetési idejét úgy kell meghatároznunk, hogy a legérzékenyebb fejlődési stádiumok az éghajlatilag legkedvezőbb időszekekre essenek. Noha a maximum-, illetve középhőmérséklet is összefüggésben van a sterilitás kialakulásával, a vizsgálatokat célszerű a minimum hőmérséklettel elvégezni, amely az irodalmi adatok szerint a legszorosabb korrelációt mutatja (SHIBATA et al., 1970; FARRELL et al., 2006b).

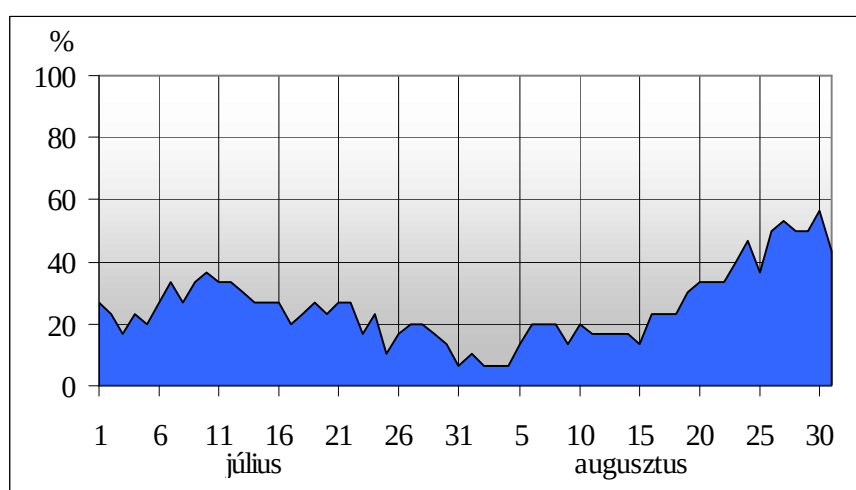
A minimumok átlagának menete mellett érdemes más statisztikai paramétereket vizsgálni, mivel csak az évek egy részében lép fel a hidegstressz (13. ábra). A pentád-átlagok alsó decilise a maximumát július végén, augusztus elején éri el 14 °C-ot meghaladó értékkel. Ez azt jelenti, hogy ebben az időszakban pentád-átlagban a minimumok

átlagosan csak 10 évente 1 alkalommal csökkennek 14 °C alá. Az alsó kvartilis 15 °C felett van ugyanebben az időszakban, augusztus végére (1 hónap alatt) viszont már 12 °C alá csökken. A sterilitás mértékének ez alapján történő becslése, az erre vonatkozó kutatási eredmények hiányában nem lehetséges. Az viszont megállapítható, hogy mely időszakok a kedvezőbbek és melyek a veszélyesebbek.

Még szemléletesebb a minimumok pentád-átlagának 14 °C alatti előfordulásának relatív gyakorisága (14. ábra), ami arra utal, hogy augusztus 20-a után már az évek jelentős részében kedvezőtlenek a hőmérsékleti viszonyok, de július első felében is viszonylag gyakran előfordulnak hűvösebb periódusok.



13. ábra. A hőmérsékleti minimumok pentád-átlagának 30 éves átlaga, minimuma, alsó decilise és kvartilise Szarvason



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

A Ringola (rövid tenyészidejű) fajtára kidolgozott M2 bilineáris hőösszeg modell ($T_{\text{bázis}}=8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{felső}}=23,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, hőösszeg-igény= $760\text{ }^{\circ}\text{Cnap}$) segítségével történt a virágzás időpontjának meghatározása különböző vetésidők esetén. Természetesen kelésig az arra létrehozott egyszerű lineáris modellt alkalmaztam. Igen korai vetés esetén (április 15.) a vizsgált 32 évben a virágzás időpontja július 6-a és augusztus 7-e közé esik, nagy szórást mutatva. A vetésidő május 1-ig és május 15-ig való kitolásával a becsült virágzási időpont júl. 9-aug. 8., illetve júl. 24-aug. 11. közé tevődik, és az egyes évek közötti szórás csökken (7. melléklet). Ez azt mutatja, hogy a korai vetés csak az évek egy részében hozza számottevően korábbra a virágzást, ami igazából nem is jelent előnyt, hiszen július első felében gyakoribb a káros lehűlés, mint július végén, illetve augusztus elején. Korai virágzású fajtákat nem célszerű áprilisban elvetni, kivéve, ha csapadékos időjárás várható május elején, ami hosszabb időre megakadályozná a talajba vetést.

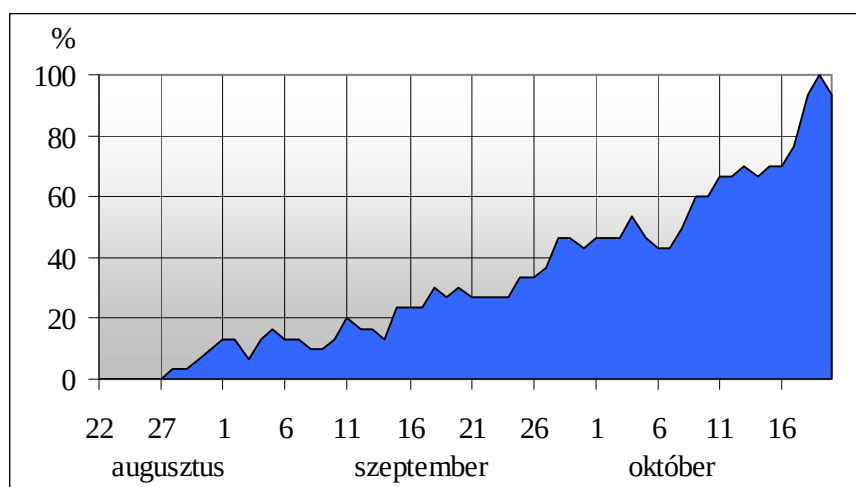
Megállapítható, hogy a korai rizsfajtáknál a május közepi vetés esetén is legkésőbb augusztus első dekádjára esik a virágzás (32 évből 14 évben). Ez hőmérsékleti szempontból még kedvező. Mivel a kései rizsfajták hazánkban jellemzően 10-15 nappal később virágoznak (SIMONNÉ, 1983), itt már számolni kell a hidegstressz miatt kialakuló virágsterilitás növekvő kockázatával.

5.2.3. Érés

A rizs érése idején a mérsékelt meleg időjárás a legkedvezőbb. A túlságosan magas hőmérséklet okozta terméseszköken hazánkban ritka, főként a korai fajták kezdeti érési szakaszában (augusztus első felében) léphet fel. Hazai adatok erre vonatkozólag nincsenek, a rizs érzékenységeire vonatkozó külföldi eredmények és a hazai meteorológiai viszonyok alapján valószínűsíthető a megállapítás. Az alacsony hőmérséklet káros hatása viszont reális kockázati tényező. Hosszabb tenyészidejű fajtáknál, megkésett vetésnél, illetve az átlagosnál hidegebb tenyészidőszak esetén az érés időszaka túlságosan kitoldható, veszélyeztetve a termés megfelelő beérését, illetve a betakarítást.

A $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti maximum az érés szempontjából már kedvező, hiszen a borult, illetve csapadékos nappalokon ősszel jellemzően $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt marad a hőmérséklet. Ezért az elemzésem tárgya a maximumhőmérséklet. Szeptember közepéig 20% alatt marad a kedvezőtlen pentádok aránya és még a hónap végére sem éri el az 50%-ot (15. ábra). Azaz szeptemberben még – ha nem is töretlenül –, de általában megfelelően folytatódik az érés. Október 10-e után az időjárási kockázat jelentőssé válik ($>60\%$) és október 20-a

után már nagyon kicsi az esélye (0-5%) az érés szempontjából megfelelő hőmérsékletnek.



15. ábra. A 20 °C alatti maximumok relatív gyakorisága Szarvason (pentád átlagok)

A hőösszeg módszerrel azt vizsgáltuk, hogy mely az a virágzási időpont az egyes években, amely esetén éppen október 10-re érik be a rizs, tehát még elfogadható. Az É. KISS (1980) szerinti gyorsabb vízleadású, így rövidebb érési idejű fajtáknál (I. érési típus, EHI = 500 °Cnap) aug. 7-23. között, míg a hosszabb érési idejű fajtáknál (II. érési típus, EHI = 560 °Cnap) ennél mintegy 4-5 nappal korábban van a szükséges virágzási időpont (7. melléklet). A kérdés, hogy mikor kell ehhez elvetni a rizst.

A korai fajták máj. 1-i vetéssel, az előzőekben leírtak szerint júl. 9-aug. 8. között virágoznak, tehát korábban, mint az okt. 10-i éréshez meghatározott időpont. Csupán egyetlen évben (3,1% relatív gyakoriság) adódott egybeesés a két irányból becsült virágzási időre. Május 15-i vetés esetén a 32-ből 2 évben nem érne be a rizs okt. 10-ig, legalábbis az 1976-2007-es évek éghajlati jellemzői alapján. Figyelembe véve a melegedési trendet (5.5. fejezet), az ebben rejlő kockázat igen kicsi. Az I. érési típusnál a május 25-i vetés, a II. típusú fajtáknál a május 20-i vetés viszont már közel 20% valószínűséggel nem érik be (8. táblázat). Ilyen kései vetéseknél természetesen a virágzás idején jelentkező hidegstressz valószínűsége is nagyobb.

A kései virágzású (a koraiaknál 10 nappal későbbi) gyorsabb, illetve lassabb vízleadású fajták 43%, illetve 31% valószínűséggel nem érnek be okt. 10-ig, ha a vetés május 15-én történik. Ez elfogadhatatlan nagyságú kockázatot jelent. Az I. típusú fajták vetését célszerű május 10-e környékén, a II. típusú fajtákét május 5-ig befejezni.

8. táblázat. A kedvezőtlenül kitolódó érés (a rizs nem érik be okt. 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. Vízbe, illetve felszínre vetésnél, előre beáztatott vetőmag felhasználásával a vetésidő néhány nappal kitolható. A kései vetéseknél azonban mindenképp célszerű a korai virágzású fajtákat előnyben részesíteni.

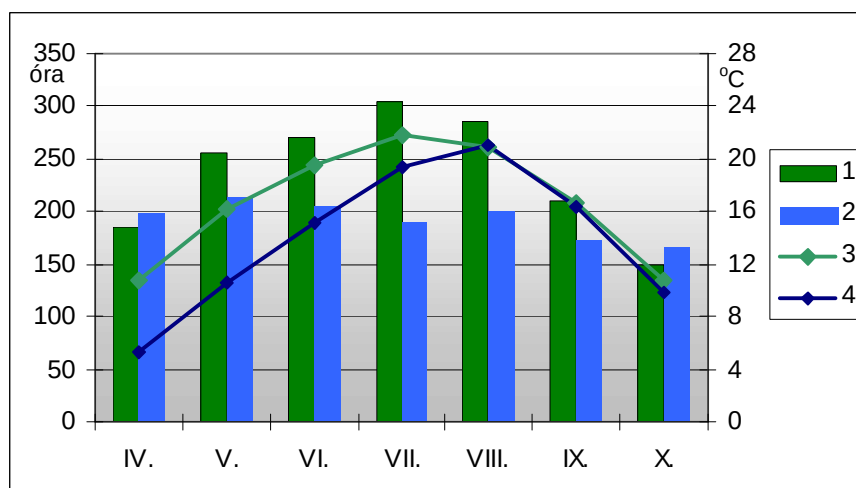
5.3. Az időjárási elemek hatása a rizs termésére

Magyarország az európai rizstermesztés északi határán fekszik. Egyes nézetek szerint az éghajlati adottságaink nem megfelelőek a termesztéshez, illetve magas termésátlagok eléréséhez. A gyakorlat ezt részben alátámasztja. A következő rövid összehasonlítás azonban bebizonyítja, hogy az átlagosan 4-5 t ha⁻¹-os terméshozamot a hazainál kedvezőtlenebb éghajlati feltételek mellett érik el Japán északi szigetén, Hokkaidón (SHIMONO et al., 2007a). A sziget viszonylag melegebb délnyugati részén fekvő Sapporo (É. Sz. 43°) és Szarvas havi középhőmérséklet és a havi átlagos napfénytartam adatai szolgáltak a vizsgálat alapjául (PÉCZELY, 1984).

Szarvason a tenyészidőszak első fele lényegesen melegebb, mint a japán városban. Áprilisban, májusban és júniusban az eltérés mintegy 4 °C-os, ami körülbelül egy hónapos változásnak felel meg. A július még mindig mintegy 2 °C-kal melegebb Szarvason. Augusztus és szeptember hónapokban csaknem azonos a két hely középhőmérséklete (16. ábra).

A napfénytartamot illetően szintén határozott előnyben van hazánk. Júliusban több mint 100, májustól szeptemberig összesen több mint 300 napfényes órával gazdagabb Szarvas Sapporo-nál.

Mindez azt bizonyítja, hogy megfelelő agrotechnika alkalmazásával (pl. palántázás is) az éghajlati potenciál a jelenleginél lényegesen nagyobb termésátlagok elérését teszi lehetővé.



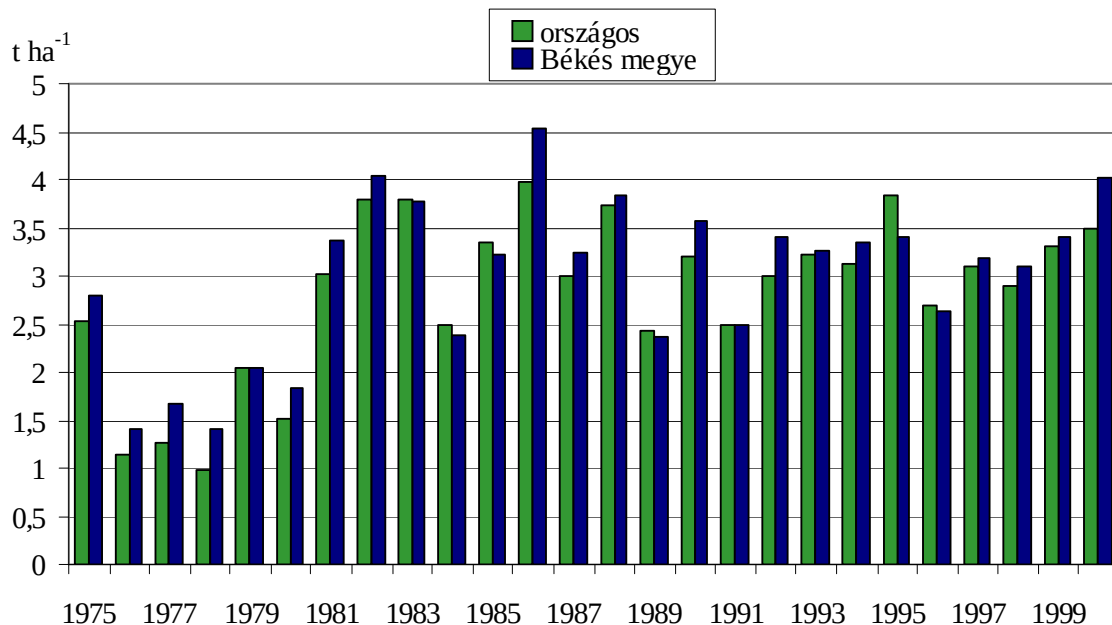
16. ábra. A napfénytartam havi átlagos összege Szarvason (1) és Sapporoban (2), valamint a havi középhőmérsékleti értékek Szarvason (3) és Sapporoban (4)

5.3.1. Termésstatistika

A rizs termésátlaga Békés megyében az 1975-2000 időszakra vonatkozóan $2,99 \text{ t ha}^{-1}$. Ez az érték kissé meghaladja a $2,83 \text{ t ha}^{-1}$ -os országos átlagot. A csekély eltérés oka egyrészt az, hogy Békés megye jelentős súllyal szerepel az ország rizstermesztésében (jellemzően a termőterület 25-50%-a ide koncentrálódik). Másrészt Magyarország legnagyobb rizstermő területével rendelkező megyéjében, Jász-Nagykun-Szolnokban is hasonlóak az ökológiai adottságok és a terméseredmények. Az évenkénti termésátlagok nagymértékű ingadozást mutatnak (17. ábra).

A termésátlagok szórása megyei és országos szinten hasonló ($s_{\text{Békés}}=0,84 \text{ t ha}^{-1}$ ill. $s_{\text{ország}}=0,85 \text{ t ha}^{-1}$). Más szántóföldi növénynél is előfordulnak ehhez hasonló vagy akár nagyobb szórások, de ott mindez jellemzően nagyobb termésátlagok esetén lép fel. Az átlag százalékában kifejezett szórás (variációs koefficiens) értéke Békés megyében $CV_{\text{Békés}}=27,9\%$, országosan $CV_{\text{ország}}=30,1\%$.

Ezek az adatok azt mutatják, hogy Békés megye hazánk átlagosnál kedvezőbb adottságú rizstermő térségei közé tartozik.



17. ábra. Az országos és a Békés megyei termésátlag alakulása (1975-2000)

5.3.2. Trendvizsgálat

A rizs termésátlagát különböző tényezők együttesen határozzák meg. A terméssorok vizsgálatakor feltételezhető, hogy a talaj hatása lényegében állandó az évek során. Az agrotechnika és a fajtahasználat egyenletes, viszonylag lassú változást eredményezhet, ami a termés időbeli trendjeként jelentkezhet. A trendtől való eltérés, mely az egyes években jelentkezik (pozitív vagy negatív irányú), az időjárás hatásának tulajdonítható.

Az összefüggésvizsgálat első lépése annak a megállapítása, hogy történt-e olyan változás az 1975-2000 időszakban a hazai rizstermesztésben (agrotechnika, fajtahasználat), mely a meteorológiai tényezőkön túl változást okozott a termésátlagban.

A 17. ábrán megfigyelhető, hogy a termésátlagok nagy szóródása mellett a kezdeti 5-6 évben határozottan alacsonyabbak az átlagok, mint később. Az egész időszakra vonatkozóan $P=5\%$ -os szinten szignifikáns lineárisan növekvő trend mutatható ki. Ez a statisztika azonban így félrevezető, ugyanis az időszak döntő részén (1980-2000) szignifikáns trend nem állapítható meg. Az illeszthető lineáris trend r értéke mindössze 0,05. Az 1976-80-as időszakban – mely látszólag tendenciózus eltérést mutat – az alacsony termésátlagok közismerten az igen kedvezőtlen időjárási feltételek (hűvös, napfényben szegény tenyészidőszak) miatt alakultak ki (SIMONNÉ, 1979). Így félrevezető lenne ezt trendillesztéssel az agrotechnikában, fajtahasználatban bekövetkezett változásnak tulajdonítani.

5.3.3. Termésbecslés meteorológiai elemek havi adatai alapján

5.3.3.1. Csapadék

A szántóföldi növények többségénél a csapadék mennyisége általában meghatározó szerepet tölt be a termés alakításában. A rizs esetében a sajátos termesztéstechnológia következtében ettől jelentősen eltér ezen időjárási elem hatása. A termésátlag és a havi csapadékösszegek közötti kétváltozós korrelációs koefficiensek értéke 0-hoz közeli (9. táblázat), a hónapok többségénél negatív előjelű. Ez azt jelenti, hogy a csapadék mennyiségének nincs jelentős hatása a termésátlagra, illetve nagyobb csapadékösszeg termésdepressziót okoz. Az abszolút értékben legnagyobb májusi korrelációs koefficiens sem mutat azonban P=5%-os szinten szignifikáns összefüggést.

9. 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
Hőmérséklet	0,30	0,49 ^x	0,23	0,39 ^x	0,63 ^{xxx}	0,32
Napfénytartam	0,57 ^{xx}	0,54 ^{xx}	0,23	0,51 ^{xx}	0,64 ^{xxx}	0,39 ^x

Szignifikanciaszint: ^x: P=5%, ^{xx}: P=1%, ^{xxx}: P=0,1%

A kapott eredmények nem meglepőek. A rizs Magyarországon kizárólag öntözésre alapozva termesztendő, ugyanis a csapadék nem képes biztosítani az egész tenyészidőszakban a feltalaj megfelelő vízellátottságát. A több csapadék tehát nem jelent jobb vízellátottságot, csupán a kiadandó öntözővíz mennyiségét csökkentheti. Ezért a csapadéknak nincs terménynövelő hatása.

Másrészt viszont csapadékos időjárás esetén – legalábbis a nyári félévben – jellemzően alacsonyabb a hőmérséklet és kevesebb a napsütés. Ezt a csapadékösszegek és a másik két elem közti negatív korrelációs koefficiensek is bizonyítják (r értéke -0,1 és -0,4 közötti). A felhős, hűvös idő pedig kedvezőtlen a rizs számára (részletek a következő fejezetekben).

Az árasztóvíz csapadék általi hűtése is a termésre gyakorolt közvetett negatív hatások közé tartozik. Ez a probléma némileg enyhíthető az árasztóvíz magasságának megfelelő szabályozásával.

Ha a tavaszi időszakban (főleg május) sok csapadék hull, akkor az nehezíti, illetve késlelteti a magágyelőkészítést, vetést.

Más szerzők is hasonló eredményre jutottak. É. KISS (1980) a fenofázisonkénti vizsgálat során negatív, de nem szignifikáns r értékeket kapott. Ugyanakkor SZÁSZ

(1961) a júliusi csapadék káros hatását jelentősnek találta és elsősorban a csapadékkal járó hűvös, napfényszegény időjárással magyarázta. Ez a vizsgálataimhoz képest jelentős eltérés a júliusi csapadékok nagyfokú térbeli és időbeli szeszélyességével magyarázható. Gyakran előfordul, hogy egy meleg, napfényben gazdag július csapadéka egy-két nagyobb zápor miatt meghaladja a sokévi átlagot.

A szignifikáns korrelációs együtthatók hiánya miatt csapadékadatokra épülő regressziós összefüggést nem határoztam meg.

5.3.3.2. *Hőmérséklet*

A rizs melegigénye közismert, s mivel Magyarország a rizstermesztés északi határán fekszik, várható volt, hogy a tenyészidőszak hőmérsékletének alakulása jól megmutatkozik a termésátlagban is.

A havi középhőmérsékletek és a termésátlag közötti korrelációs koeficiens értéke 0,23 (június) és 0,63 (augusztus) közötti. $P=5\%$ -os szinten szignifikáns ($r>0,39$) az összefüggés augusztusban, júliusban és májusban (9. táblázat).

Májusban a csírázás, a kelés és a korai vegetatív fejlődés idején fontos a meleg időjárás az egyöntetű, erőteljes állomány kialakulásához. A rizs hőmérsékletre még érzékenyebb fejlődési szakaszai – a virágzást megelőző 1-2 hét, a virágzás és a termés kötődés – a nyár második felébe esnek, ezt jelzi az augusztusi (és részben a júliusi) korrelációs koeficiens. A vizsgálataimhoz képest SZÁSZ (1961) a júliusi hőmérséklet fontosságát egyértelműbben kimutatta, viszont a május szerepét kevésbé emelte ki. A vegetatív fejlődés fő szakaszában, azaz júniusban a hőmérséklet szerepe kisebb, mint az ezt megelőző, és követő időszakokban. Ekkor a növények az alacsonyabb hőmérsékletek hatására "csak" lassabban fejlődnek, de ez önmagában még nem okoz termés kiesést, ugyanis nem jelentkezik irreverzibilis károsodás. Csupán a fenológiai fázisok későbbre tolódása jelent veszélyt, mivel így a kritikus fázisok nagyobb valószínűséggel esnek kedvezőtlenebb időjárású időszakra.

A havi középhőmérsékleti értékek (független változók) és a termésátlag (függő változó) között a következő többváltozós lineáris regressziós összefüggés áll fenn:

$$Y = -25,3 \cdot HÁPR + 204,7 \cdot HMÁJ - 36,0 \cdot HJÚN + 127,2 \cdot HJÚL + 232,3 \cdot HAUG + 128,5 \cdot HSZEP - 8985$$

(29)

ahol

$Y =$ a termésátlag (kg ha^{-1})

HÁPR, HMÁJ, HJÚN, HJÚL, HAUG, HSZEP = a havi középhőmérsékletek

$R=0,77$ (korrelációs koefficiens)

$R^2=0,59$ (determinációs koefficiens)

a becslés standard hibája $h = 610 \text{ kg ha}^{-1}$

a szignifikanciaszint $P=1\%$

A független változók közül célszerű eltávolítani azokat, amelyek szignifikánsan nem javítják a regressziót. Az így kapott egyszerűbb egyenletben már nem szerepel az áprilisi, a júniusi és a júliusi középhőmérséklet.

$$Y=167,7 \cdot \text{HMÁJ}+260,8 \cdot \text{HAUG}+162,9 \cdot \text{HSZEP}-7830 \quad (30)$$

$$R=0,75, \quad R^2=0,56, \quad h=592 \text{ kg ha}^{-1}, \quad P=0,1\%$$

Az R értéke alig csökkent, ugyanakkor a standard hiba és a szignifikanciaszint javult.

5.3.3.3. Napsugárzás

A napfény biztosítja a fotoszintézishez szükséges sugárzási energiát, nélkülözhetetlen a növények számára. Nem megfelelő ellátottság esetén mindenképpen termés kieséssel kell számolnunk. Az irodalmi adatok szerint Magyarországon a rizs esetében a napsugárzás a hőmérséklethez hasonló fontosságú termésalakító tényező.

A hőmérséklet és a napfény hatását nehéz elkülöníteni, ugyanis az egész tenyészidőszakban viszonylag szoros pozitív korrelációs kapcsolat figyelhető meg közöttük. A magasabb hőmérséklet statisztikusan több napsütéssel párosul, de természetesen előfordulnak hűvös-napfényben gazdag, illetve meleg-felhős időszakok is. A havi középhőmérséklet és napfénytartam közötti korrelációs együtthatók értékei 0,47 (április) és 0,82 (május) között alakulnak.

A termésátlag minden hónapban kisebb-nagyobb mértékben, de szorosabb kapcsolatban van a napsütéses órák számával, mint a középhőmérséklettel. A regressziós egyenlettel történő termésbecslés is valamivel pontosabb, mint a hőmérsékleti adatokra épülő becslés. Ez azonban nem szükségszerűen állt elő, hiszen a független változók egymással való korreláltsága befolyásolja a többváltozós regresszió determinációs koefficiensét és hibáját. Ha a regressziós egyenletben olyan változók szerepelnek, amelyek erősen korrelálnak egymással, akkor a regresszió csak kis mértékben javul az egyváltozós esethez képest. A lineáris regressziós egyenlet:

$$Y=5,661 \cdot \text{NÁPR}+4,783 \cdot \text{NMÁJ}-0,232 \cdot \text{NJÚN}+5,796 \cdot \text{NJÚL}+6,032 \cdot \text{NAUG}+4,310 \cdot \text{NSZEP}-3319 \quad (31)$$

ahol

$Y =$ a termésátlag (kg ha^{-1})

NÁPR, NMÁJ, NJÚN, NJÚL, NAUG, NSZEP= a havi napfénytartam

$$R=0,80, R^2=0,64, h=577 \text{ kg ha}^{-1}, P=1\%$$

Itt is elvégezhető az egyszerűsítés. Lépésenként elhagyva a legkisebb t -értékű változót a következő összefüggés adódik:

$$Y=6,388 \cdot NMÁJ+6,268 \cdot NJÚL+7,888 \cdot NAUG-2458 \quad (32)$$

$$R=0,76, R^2=0,58, h=577 \text{ kg ha}^{-1}, P=0,1\%$$

Megállapítható, hogy a napfénytartam a hőmérséklettel közel azonos, vagy annál kissé szorosabb összefüggésben van a termésátlaggal. Ezzel némileg ellentmondásban É. KISS (1980) az éghajlati elemek közül a legmegbízhatóbb és legstabilabb tényezőnek a hőmérsékletet találta. Eredményei szerint a napfénytartam és a termés közötti korrelációs együttható nem stabil, jelentősen változik (olykor negatív is lehet) a vizsgált időszak függvényében. SZÁSZ (1961) – hasonlóan az eredményeimhez – júliusban és augusztusban a napfénytartam és a hőmérséklet hasonló hatását találta. A szerző további megállapítása, hogy nyár elején a déli termőtéren kisebb, az északi területeken nagyobb jelentőségű a napfénytartam, mint a hőmérséklet. Ehhez illeszkedik az az eredményem, hogy júniusban mindkét elem közel azonos (nem szignifikáns) r értéket mutat.

5.3.3.4. Az időjárási elemek együttes hatása

A részvizsgálatok szerint a hőmérséklet és a napfénytartam szoros kapcsolatban van a termésátlaggal, a csapadék viszont nem. Ezért célszerűnek tűnt, hogy a csapadékösszegeket kihagyva az április-szeptember időszak havi középhőmérsékleti és napfénytartam adatait együttesen felhasználva adjak becslést a rizs termésátlagára. A kapott 12 változós egyenletet terjedelme miatt itt nem közlöm, csupán az összefüggés néhány statisztikai jellemzőjét:

$$R=0,91, R^2=0,83, h=473 \text{ kg ha}^{-1}, P=0,5\%$$

A gyakorlati felhasználhatóság (és a szignifikancia szint) javítása érdekében a kevésbé fontos változókat elhagyásra kerültek a módszertani részben leírtak szerint. A kapott, már csak 4 változót tartalmazó regressziós egyenlet a következő:

$$Y=220,7 \cdot HMÁJ+174,8 \cdot HSZEP+5,352 \cdot NJÚL+10,199 \cdot NAUG-7763 \quad (33)$$

ahol

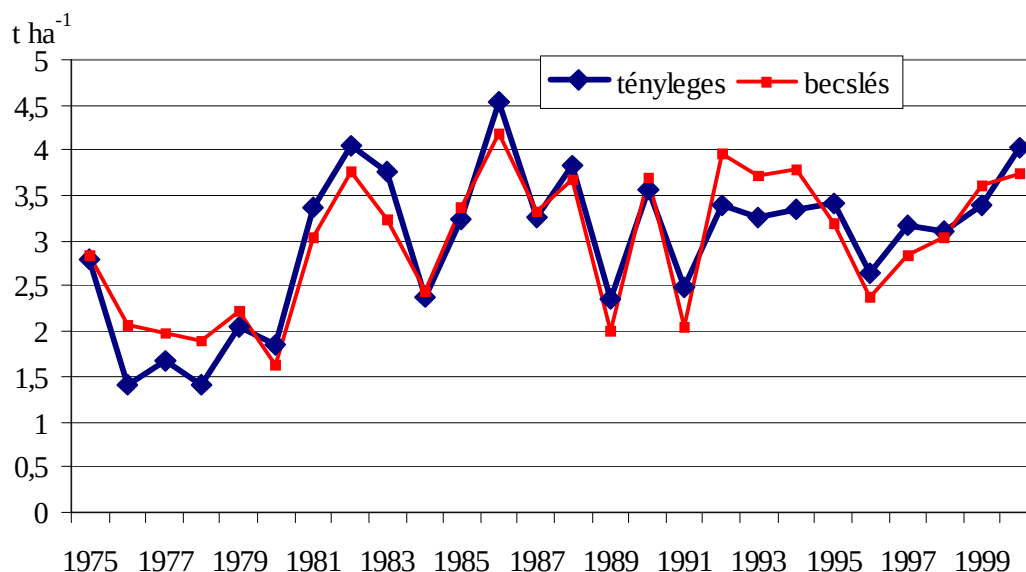
Y = termésátlag (kg ha^{-1})

NJÚL, NAUG= a júliusi, ill.augusztusi napfénytartam

HMÁJ, HSZEP= a májusi, ill. szeptemberi középhőmérséklet

$$R=0,87, R^2=0,75, h=456 \text{ kg ha}^{-1}, P=0,1\%$$

A 18. ábrán a tényleges és a regressziós egyenlettel becsült termésátlagok láthatók az 1975-2000 időszakban. A becslés az évek zömében kielégítően pontos, hibája kisebb, mint $0,3 \text{ t ha}^{-1}$, azaz 10%. Nagyobb felülbecslés 1976, 1978, 1992, 1993, 1994 évekre történt. Ugyanakkor 1983-ban, 1991-ben a becsült érték viszonylag nagy mértékben elmaradt a ténylegestől. A determinációs koefficiens szerint az időjárás a termésingadozásokat kb. 75%-ban magyarázza. Ez az érték SZÁSZ (1961) eredményeivel összhangban van.



18. ábra. A tényleges és a regressziós összefüggéssel becsült Békés megyei rizs termésátlagok

Az egyes években előforduló jelentősebb eltérések rávilágítottak a modell hiányosságaira, illetve javítási lehetőségeire.

1978 időjárása igen kedvezőtlen volt a rizs számára. A regressziós modell által becsült termés meglehetősen alacsony $1,9 \text{ tonna hektáronként}$, de ténylegesen még ennél is lényegesen kevesebb termett ($1,41 \text{ t ha}^{-1}$). A napi hőmérsékleti értékeket és a hidegstresszre vonatkozó irodalmi adatokat összevetve feltételezhető, hogy néhány hőmérsékleti szempontból kritikus napon jelentős irreverzibilis károsodás érte a rizst (bugasterilitás). Hasonló okok játszottak szerepet 1976-ban is.

Az egyenlet az 1992-94 időszakban is túlbecsüli a termést. Ennek a valószínű magyarázata, hogy ezekben az években többször is előfordultak igen meleg periódusok a tenyészidőszak alatt, amelyek már kívül estek a hőmérséklet-termésátlag kapcsolat lineáris tartományán.

Az előbbiekben említett túlbecslések mellett egyes években természetesen alábecsrléseknek is meg kell jelenniük. Kismértékű alábecsrlés a szélsőségektől mentes, átlagos vagy kedvező évjáratokban fordul elő.

Összegzésül megállapítható, hogy a havi napsugárzás és hőmérséklet adatok kombinált használatával előállított regressziós egyenlet kielégítő pontosságú becslést ad a rizs termésére.

5.4. Különböző léghőmérsékleti paraméterek termésre gyakorolt hatása

Az 5.3. fejezetben a termésbecslésnél az általánosan rendelkezésre álló havi középhőmérsékleti értékeket használtam, amely a gyakorlati célokra megfelelő pontosságú eredményt szolgáltatott. A hőmérsékleti hatás pontosabb, részletesebb feltárása végett azonban a korrelációanalízist kiterjesztettem a szélsőértékekre, napi adatokból származtatott egyéb havi adatokra és valamennyi számítást elvégeztem dekád adatokkal is. Napi adatok csak 1976-tól állnak rendelkezésre, ezért a vizsgálatok az 1976-2000 időszakra történtek.

A regressziós egyenletek meghatározását nem végeztem el a rendkívül sokféle kombinációs lehetőség miatt. Ugyan előállna a korábbiaknál nagyobb determinációs koefficiens újabb változók bevitelével, de a kapott egyenlet speciális adatigénye és bonyolultsága miatt gyakorlati jelentőséggel nem bírna. A változók számának növelése az összefüggések megbízhatósági szintjét pedig általában csökkenti (lásd. 5.2. fejezet).

5.4.1. A hőmérsékleti szélsőségek

A napi minimumok, illetve a napi maximumok havi átlaga (Minátl és Maxátl), valamint a havi középhőmérséklet (közép) különbözőképpen korrelál a termésátlaggal (10. táblázat). Az átlaghoz tartozó r értékek lényegében megegyeznek az 1 évvel hosszabb adatsorból számított értékekkel, ami az összefüggések stabilitására utal.

10. táblázat. A napi minimum- (Minátl), maximum- (Maxátl) és középhőmérsékletek (közép) havi átlaga és a termésátlag közötti korrelációs együtthatók értéke

	április	május	június	július	augusztus	szeptember	október
Minátl	0,24	0,40 ^x	0,18	0,36	0,51 ^{xx}	0,14	-0,10
Maxátl	0,32	0,52 ^{xx}	0,30	0,41 ^x	0,62 ^{xxx}	0,41 ^x	0,08
Közép	0,29	0,49 ^x	0,21	0,40 ^x	0,63 ^{xxx}	0,34	-0,13

Szignifikanciaszint: ^x: P=5%, ^{xx}: P=1%, ^{xxx}: P=0,1%

Szeptemberig a maximumhoz tartozó r érték mindig magasabb, mint a minimumhoz tartozó, és többnyire kevéssel a középhőmérséklethez tartozónál is. SZÁSZ (1961)

megállapításával összhangban a maximumok szorosabb kapcsolatban állnak a rizs termésével, mint a minimumok.

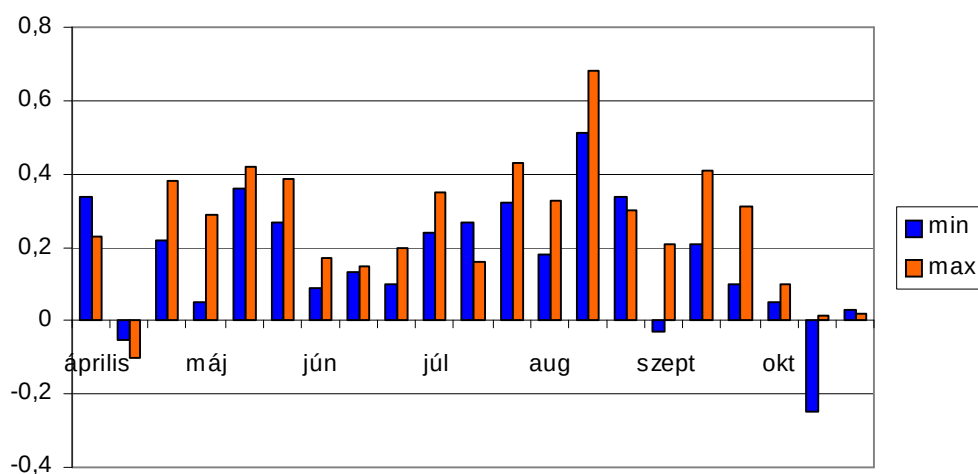
A nappali felmelegedés jelentősége véleményem szerint két dologgal magyarázható. Egyrészt az erősebb felmelegedés jellemzően több napsütéssel párosul (ami kedvező a növény számára), míg alacsony minimumok lehetnek:

1. derült viszonylag meleg;
2. csapadékos, hűvös időjárási helyzetben is, melyek közül az előbbi kedvező, az utóbbi kedvezőtlen a rizs számára.

Másrészt a maximumok jelentősebb eltéréseket mutatnak az egyes évek között.

A legnagyobb eltérés szeptemberben figyelhető meg. Itt csupán a maximum mutat szignifikáns összefüggést a termésátlaggal. Ez határozottan arra utal, hogy az éréshez napos, viszonylag meleg idő a kedvező, és a derült időjárással járó jelentősebb éjszakai lehűlések nem jelentenek problémát. Az adatok szerint az októberi hőmérséklet nem játszik szerepet a termés kialakításában, ami érthető, hiszen ekkorra az évek többségében megtörténik a betakarítás.

A korrelációs számítást dekádonkénti bontásban is elvégeztem. A rizs hőmérsékleti érzékenysége – ahogyan várható volt – az egyes hónapokon belül is jelentős eltéréseket mutat (19. ábra).



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

A korábbi kutatások csaknem egybehangzóan megállapították, hogy a rizs generatív szakaszának legérzékenyebb periódusa a „buga hasban” állapot, majd ezt követően a virágzás (SIMONNÉ, 1979; SASAKI és WADA, 1973; HAYASE et al., 1969; SHIBATA et al., 1970). Hazánkban ezek a fenofázisok jellemzően júliusban figyelhetők meg, illetve a virágzás kitolódhat augusztus közepéig, de csak az évek egy részében. Magyarázatra szorul tehát az augusztus középső dekádjának kiugróan magas, és első dekádjának nem szignifikáns r értéke.

Az éghajlati statisztikák alapján megállapítható, hogy hőmérsékleti szempontból augusztus eleje a legkiegyensúlyozottabb, legkedvezőbb. A legkisebb valószínűséggel ekkor alakul ki olyan mértékű lehűlés, ami termés kiesést okozhatna (14. ábra). Ezért nem jelenik meg szignifikánsan ezen periódus hatása.

Azokban az években, amikor a rizs fejlődése késésben van a korábbi fázisok kedvezőtlen időjárása miatt (megkésett vetés, elhúzódó kelés, hűvös július), többnyire eleve kisebb terméssel számolhatunk és ehhez hozzájárul még, hogy a virágzás kitolódik augusztus közepéig. Ekkorra viszont már megnő az esélye a jelentős hidegbetöréseknek, illetve a hosszabb éjszakák miatti ködöknek, ami a termés további csökkenéséhez vezet.

A vetés-kelés időszakában a maximumhőmérséklet szignifikáns hatású. A májusi meleg közvetlenül a kikelt állomány vigora és egyenletessége, közvetve a fenofázisok előbbrehozása miatt kedvező. Az április közepi magas hőmérséklet szerepe nem mutatható ki, de az április utolsó dekádjában történő felmelegedés már javítja a termés kilátásokat.

Szeptember közepén és végén szükséges a megfelelő nappali felmelegedés. Az éjszakai lehűlések mértéke azonban már szeptember 20. után elveszti jelentőségét.

Összességében megállapítható, hogy a dekádhőmérsékletekből számolt korrelációs együtthatók általában alacsonyabbak, mint a havi adatokból meghatározott értékek. Ez arra utal, hogy 10 nap többnyire túlságosan rövid időszak ahhoz, hogy döntő mértékben befolyásolja a rizs termését.

5.4.2. Hidegösszegek

A virág, illetve bugasterilitás mértéke összefüggésbe hozható az érzékeny fenofázisokban fellépő „hideghatással” (GODWIN et al., 1994; SHIMONO et al., 2005). Az ennek mértékét és időtartamát együttesen figyelembe vevő hidegösszegek meghatározása július és augusztus hónapokra, a napi minimum-, maximum- és közép-

hőmérsékletekből, különböző hőmérsékleti határok alkalmazásával történt (11. táblázat).

11. táblázat. Napi hőmérsékleti átlagból, minimumból és maximumból számított, különböző hőmérsékletek (°C) alatti hidegösszeg és a termésátlag közötti korrelációs együttható értéke

Átlag	Júl.	Aug.	Min	Júl.	Aug.	Max	Júl.	Aug.
17	-0,40	-0,31	13	-0,28	-0,41	20	-0,33	-0,05
18	-0,42	-0,42	14	-0,31	-0,45	22	-0,34	-0,22
19	-0,41	-0,51	15	-0,31	-0,48	24	-0,39	-0,42
20	-0,39	-0,60	16	-0,31	-0,50	26	-0,37	-0,61
21	-0,37	-0,66	17	-0,33	-0,51	27	-0,36	-0,66
22	-0,37	-0,69	18	-0,35	-0,51	28	-0,36	-0,69
23	-0,37	-0,69	19	-0,35	-0,51	29	-0,37	-0,71
24	-0,39	-0,68	20	-0,36	-0,52	30	-0,39	-0,71
25	-0,40	-0,66	21	-0,36	-0,52	31	-0,41	-0,69

Júliusban a hidegösszeg a terméssel kevésbé szoros kapcsolatot mutat, mint a havi átlagok. Határesetben (kellően magas hőmérséklettől lefelé számolva a hidegösszeget) a korrelációs koefficiens értéke természetesen az átlaghoz tartozó értékhez tart, negatív előjellel.

Augusztusban a hidegösszeg különösen a maximumból számolva előrelépést jelent a maximumok havi átlagához képest. Meglepő azonban, hogy az összegzést 30 °C-tól (29 °C-tól) lefelé kell elvégezni, hogy a legnagyobb r érték adódjon. Ez nem a károsan hűvös nappalokról ad információt, hanem ekvivalens egy olyan hőösszeggel amelyben 30 °C felett nem növekszik tovább az összegzendő érték, azaz mintha az efeletti maximumokat 30 °C-ra redukálnánk.

5.5. Hőmérsékleti tendenciák

A rizs fenológiai fázisainak statisztikai elemzése során megfigyelhető volt, hogy a kedvezőtlenül hűvös évek, illetve időszakok a vizsgált (1976-2007) időszak első felében fordultak elő nagyobb gyakorisággal. A 32 év hosszúságú perióduson belül jellemző tendenciákat olyan regresszióanalízissel elemeztük (minimum-, maximum- és átlaghőmérséklet havi és dekádönkénti bontásban), ahol az idő (év) a független változó.

A napi minimumok havi átlaga (min) szignifikáns növekedést mutat május, június, július és augusztus hónapokban. Különösen augusztusban egyértelmű a trend, melynek szignifikanciaszintje $P=0,03\%$. Ebben a hónapban a minimumok 10 évente átlago-

san 0,76 °C-kal emelkedtek. A középhőmérséklet és a maximum esetében áprilisban is megfigyelhető a melegedés (12. táblázat). A maximumok és a középhőmérséklet júliusban növekedett legnagyobb ütemben és szignifikanciával. A 10 évenkénti 1,05, illetve 1,00 °C-os melegedés a vizsgált 32 éves időszakra kivetítve 3,4 és 3,2 °C-ot jelent, ami igen jelentős változás, különösen mivel havi átlagos értékekről van szó.

12. táblázat. A napi minimum-, maximum- és középhőmérsékletek lineáris trendje az 1976-2007 időszakban

R²: determinációs koefficiens, m: meredekség (°C/10 év), sz: szignifikanciaszint (%)

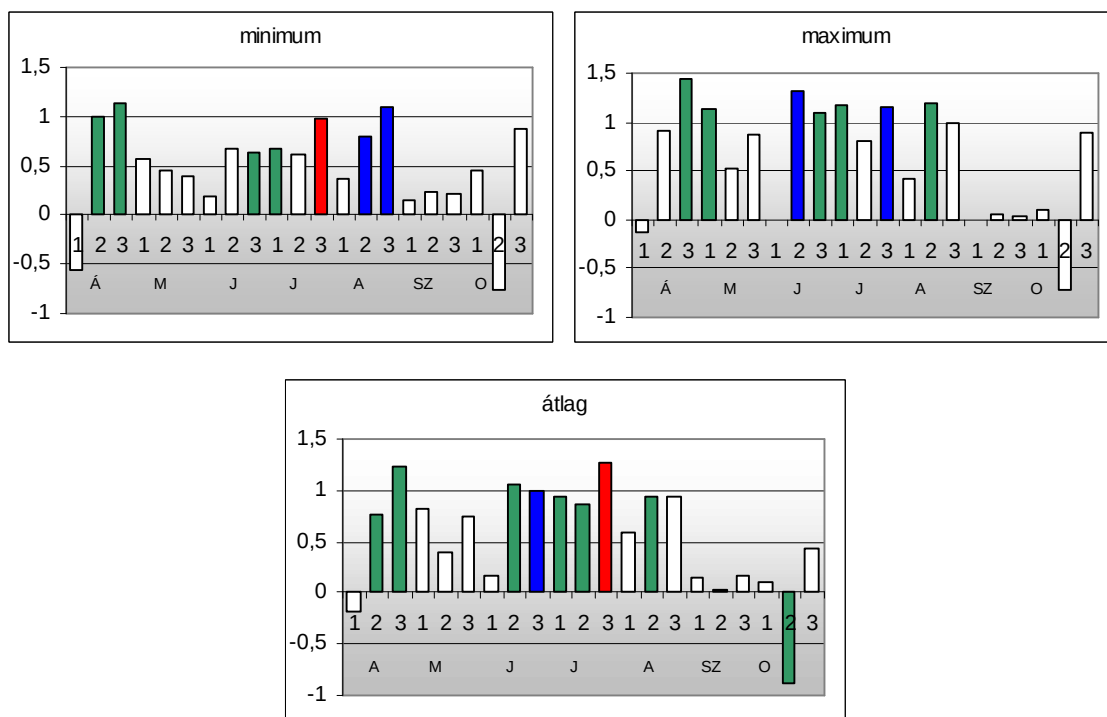
	minimum			maximum			átlag		
	R ²	m	sz	R ²	m	sz	R ²	m	sz
Ápr.	0,11	0,52	6,8	0,16	0,74	2,2	0,16	0,65	2,5
Máj.	0,13	0,47	4,1	0,13	0,84	4,2	0,16	0,74	2,4
Jún.	0,16	0,49	2,6	0,19	0,81	1,3	0,22	0,74	0,7
Júl.	0,29	0,75	0,1	0,28	1,05	0,2	0,36	1,00	0,03
Aug.	0,36	0,76	0,03	0,15	0,88	2,8	0,27	0,90	0,2
Szept.	0,02	0,18	49,1	0,00	0,03	94,1	0,02	0,07	81,7
Okt.	0,02	0,21	49,2	0,01	0,11	68,9	0,00	0,02	93,9

Dekádonkénti bontásban részletesebben feltárható, hogy a rizstermesztés szempontjából milyen hőmérsékleti változások történtek az elmúlt 32 évben (20. ábra). Április közepétől október elejéig egyetlen dekád sem mutatott hűlő tendenciát. Megállapítható, hogy a melegedés üteme jellemzően a maximumok esetében a legnagyobb. Ez természetesen összefügg e paraméter nagyobb változékonyságával.

A vetés-keles időszakban a melegedés szignifikáns. Április 2. és 3. dekádjában a minimum és az átlag, április 3., és május 1. dekádjában a maximum mutat statisztikailag igazolt növekedést. Az ezt követő 1 hónapban szignifikáns melegedés nem mutatható ki, de a megfigyelt változás pozitív irányú.

Június közepétől július végéig az átlagok határozottan emelkedtek az évek során. Az emelkedő trend legmegbízhatóbban július 3. dekádjában jelentkezett. Nem véletlen tehát, hogy a hazai rizstermesztők az utóbbi években a korábbinál ritkábban találkoznak bugasterilitást eredményező hidegstresszel. Természetesen ebben szerepet játszik az is, hogy a célirányos nemesítési munka eredményeképpen az új fajták fokozott hidegtoleranciával rendelkeznek (SIMONNÉ, 1979).

A maximumoknál augusztus közepe, a minimumoknál augusztus vége melegedett legegységesebben. Szeptembertől az évek során lényeges változás nem történt, csupán az október közepi negatív trend érdemel figyelmet.



20. ábra. A napi minimum-, maximum- és középhőmérsékletek dekádátlagának változása (°C/10 év). Az oszlopok színe a szignifikanciaszintet jelöli. Fehér: nem szignifikáns trend, zöld: P=5%, kék: P=1%, piros: P=0,1%.

Megállapítható, hogy mind a tavaszi felmelegedés, mind az őszi lehűlés 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.

Feltételezve, hogy a bemutatott tendenciák a közeljövőben is folytatódnak, a korábbi évek tapasztalatai alapján levont következtetéseknél valamivel megengedőbbnek kell lennünk. 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.

5.6. A rizsállomány mikroklímája

Az időjárást ugyan nem lehet megváltoztatni, de a rizstermesztők az árasztóvíz szintjének változtatásával jelentős mértékben módosíthatják az állomány hőmérsékleti viszonyait. Magyarországon a kifejezetten e célt szolgáló beavatkozás nem jellemző, elsősorban a magas költsége miatt. Véleményem szerint azonban az egyébként is többször végrehajtott árasztásnál célszerű kihasználni az ebben rejlő lehetőségeket, azaz az

árasztás mértékének és idejének meghatározásánál figyelembe venni a mikroklimatikus hatást is. Természetesen mindehhez szükség van mérésekkel alátámasztott, pontos, számszerű információkra. A mikroklimatikus vizsgálataimmal a következő gyakran megfogalmazott kérdésekre kerestem a választ:

- Hogyan viszonyul az árasztóvíz hőmérséklete (minimum, maximum, napi közép) a léghőmérsékletéhez?
- Hogyan változik a vízhőmérséklet az (várható) időjárás hatására – vízhőmérsékleti modell?
- Mennyivel képes mérsékelni az árasztóvíz az állomány légterének lehűlését?
- Hogyan alakul az éjszakai hőmérséklet a szárazríz állományban?

5.6.1. Az árasztóvíz hőmérséklete és modellezése

5.6.1.1. Az árasztóvíz hőmérsékleti jellemzői

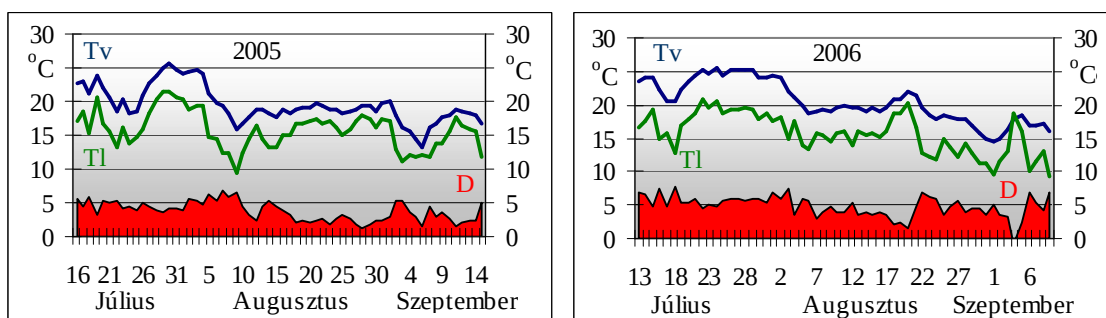
A víz hőkapacitása ($4,19 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$) a levegő hőkapacitásánál ($1,2 \text{ kJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$) több mint 3 nagyságrenddel nagyobb. Ezzel szoros összefüggésben a vízhőmérséklet menete, a napi átlaga és szélsőértékei, illetve ingása is jelentős eltéréseket mutat a léghőmérséklet hasonló paramétereire képest.

A vízhőmérséklet minimum értékei ($T_{v_{\min}}$) a vizsgált időszakban a 121 napból 120 alkalommal magasabbak voltak a 2 m-es szinten hőmérőházban mért értékeknél ($T_{l_{\min}}$). Csaknem függetlenül az időjárásban, illetve a hőmérsékletben bekövetkezett változásoktól a két paraméter közel párhuzamosan fut, különbségük meglehetősen stabil (21. ábra). 2006-ban – eltekintve az intenzíven melegező periódusok néhány napjától – a víz 4-6 °C-kal melegebb maradt a levegőnél a leghidegebb órákban is. Ehhez hasonlóan 2005 augusztus közepéig a $T_{v_{\min}}$ és $T_{l_{\min}}$ különbsége 5 °C körül alakult, csak ezután esett vissza 2-4 °C-ra, ami a felhős, gyakran csapadékos időjárással volt magyarázható.

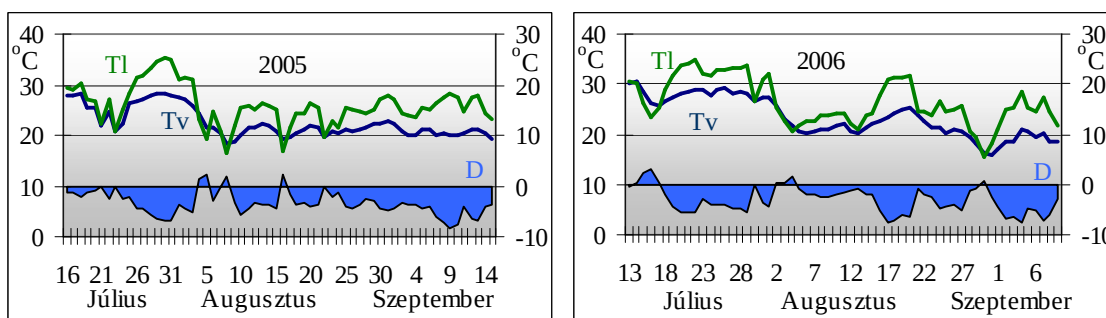
A napok többségén a víz kevésbé melegedett fel a nappali órákban, mint a levegő. A vízhőmérséklet maximuma ($T_{v_{\max}}$) alatta maradt a léghőmérséklet maximumának ($T_{l_{\max}}$), és az ebben megfigyelhető különbségek nagyobb változékonyságot mutattak, mint ahogyan ez a minimumoknál tapasztalható volt. Meleg, napos időszakokban $T_{l_{\max}}$ és $T_{v_{\max}}$ különbsége elérheti akár a 6-8 °C-t is, ugyanakkor ezzel szemben, az előforduló néhány csapadékos napon a víz egész nap hűvösebb maradt a levegőnél (22. ábra).

A víz- és léghőmérséklet napi átlagainak egymáshoz való viszonya nem olyan egyértelmű, mint a szélsőértékeké. Az adott nap és az azt megelőző időszak időjárásától függően a víz lehet hűvösebb vagy melegebb a levegőnél. Megfigyelhető, hogy a víz

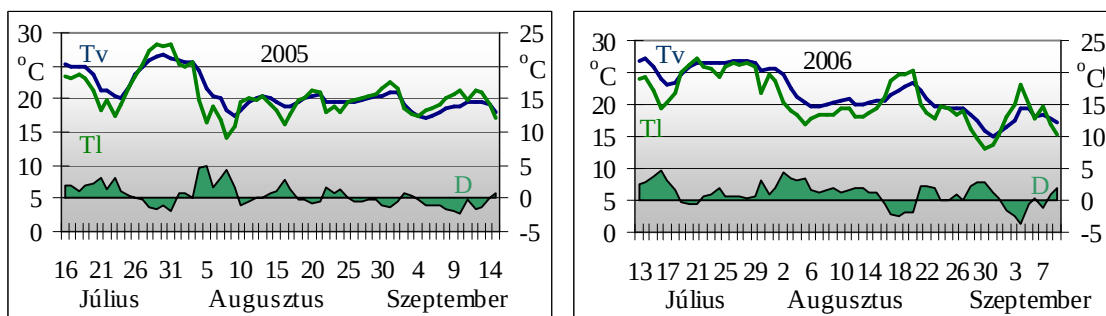
időbeli késéssel és csökkent amplitúdóval követi a levegő hőmérsékletének változásait (23. ábra). Az egyes napok közti fluktuációk elhanyagolható nagyságúak. Mindezekből következik, hogy a lehűlések idején és a hűvös időszakokban a víz melegebb a levegőnél – napi átlagban akár közel 5 °C-kal. Ennek ellentettje legmarkánsabban a gyors felmelegedések idején figyelhető meg, amikor a víz csak lassan képes követni a hőmérsékletemelkedést, így hűvösebb marad a levegőnél. Mindkét jelenség igen fontos gyakorlati jelentőséggel bír a rizstermesztésben.



21. ábra. A minimumhőmérséklet menete az árasztóvízben (Tv), illetve 2 m-es szinten a levegőben (Tl), továbbá különbségük (D)



22. ábra. A maximumhőmérséklet menete az árasztóvízben (Tv), illetve 2 m-es szinten a levegőben (Tl), továbbá különbségük (D)



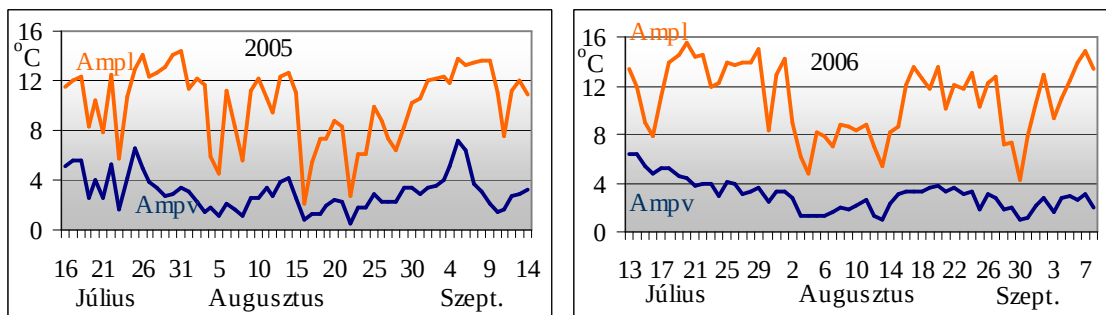
23. ábra. A napi középhőmérséklet menete az árasztóvízben (Tv), illetve 2 m-es szinten a levegőben (Tl), továbbá különbségük (D)

Az árasztóvíz napi hőmérsékleti amplitudót csökkentő hatása szintén ismert jelenség a rizstermesztők körében. A kvantitatív vizsgálathoz úgy szükséges a napi amplitúdót definiálni, hogy a felmelegedési és lehülési időszakokban is megfelelően jellemezze a napi ingadozást:

$$\text{Amp} = (\text{Tmax} - \text{Tmin}) + (\text{Tmax} - \text{Tmin}_{+1}) \quad (34)$$

ahol Tmax és Tmin a napi maximum, illetve minimum érték, a +1 index pedig a következő napra vonatkozó adatra utal.

A víz- és léghőmérsékletek napi amplitúdója (Ampv, ill. Ampl) értékben jelentősen különbözik, azonban a menetük hasonlóságot mutat, nagyobb hőingadozás a levegőben nagyobb vízhőmérséklet ingadozással jár együtt. Az általánostól eltérő Ampv és Ampl viszonyok csupán 2006 vizsgált időszakának első hetében a sekélyebb árasztóvíz és a még nem teljesen kifejlődött állomány miatt, 2005. szeptember 5. környékén pedig az átmenetileg kisebb vízborítottság miatt figyelhetők meg (24. ábra). Ezen napok kivételével egy egyszerű lineáris összefüggés segítségével is jó becslést adhatunk Ampv értékére, amely a számítások szerint jó közelítéssel az Ampl $\frac{1}{4}$ -ed része. A lineáris regresszió determinációs koefficiensei a két év során $R^2_{2005} = 0,66$ és $R^2_{2006} = 0,72$.

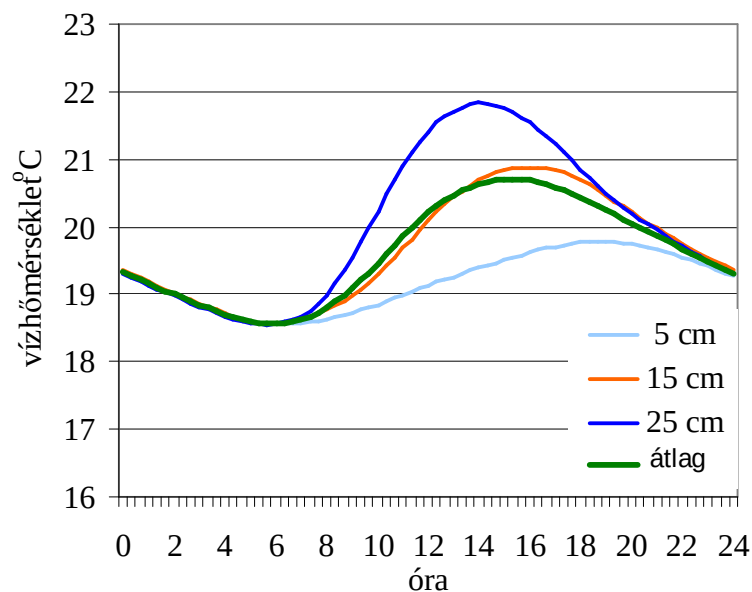


24. ábra. Az árasztóvíz (Ampv) és a levegő hőmérsékletének (Ampl) napi amplitúdói a 2005-ös és a 2006-os mérési időszakban

Kis hőingadozású napok ($\text{Ampl} < 6 \text{ } ^\circ\text{C}$), többnyire a hűvös, csapadékos nappali órák következtében fordulnak elő. Számuk 2005-ben mintegy kétszerese volt 2006-hoz képest. Ilyen időjárási feltételek mellett a vízhőmérséklet napi amplitúdója minden esetben $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ alatt marad. Az időjárás jellegétől függetlenül jellemző azonban, hogy a jól fejlett állomány alatt legalább 20 cm-es vízborítottság esetén $\text{Ampv} < 4 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2006. augusztusában 3 szintben, a talajfelszín felett 5, 15 és 25 cm magasságban folytak a vízhőmérséklet méréseim, információt szolgáltatva a hőmérséklet rétegződésé-

ról. Az időszak átlagát tekintve megállapítható, hogy az éjszakai órákban a hőmérséklet minden rétegben azonos (25. ábra). Az egyes napokon is pontosan ez a helyzet. Az izotermia az esti órákban a vízfelszín közelében kezd kialakulni. Ahogyan a felszíni réteg a lehűlés miatt hidegebbé válik az alatta levő rétegnél a nagyobb sűrűség miatt lesüllyed és elkeveredik. A jól átkeveredett izotermikus réteg a lehűléssel együtt mind lejjebb terjeszkedik. Jellemzően már éjfél előtt a teljes vízréteg azonos hőmérsékletűvé válik. A reggeli óráktól kezdve valamennyi szint csaknem azonos időben kezd el melegedni, azonban jelentős eltérések vannak a melegedés ütemében. A rövidhullámú besugárzás zöme a felső rétegekben nyelődik el, a felső rétegek melegebbé válnak. A jól kifejtett hőmérsékleti gradiens stabil rétegződést eredményez, amely akadályozza az egyes rétegek keveredését, az alsóbb részek gyorsabb melegedését. A hőmérsékleti maximum ideje a felső szinteken kora délután van, és ez lefelé haladva egyre későbbre tolódik.



25. ábra. A vízhőmérséklet napi menete a 2006. augusztus 5-31. időszak átlagában 5, 15 és 25 cm-es szinten, valamint a szintek átlagában

A vizsgálatom eredményeképpen megállapítható, hogy a teljes vízoszlop közép-hőmérséklete (a három szint átlaga) csak kis eltérést mutat a középső szint hőmérsékletéhez képest. A maximum értékek eltérése átlagosan 0,2 °C, a minimumok pedig azonosnak tekinthetők. A délelőtti órákban a középszint hidegebb az átlagnál, a felső rétegek gyors melegedése miatt. A délutáni órákban fordított a helyzet, ekkor a középszint némiképp melegebb a teljes réteg átlagánál. Összességében megállapítható, hogy a kö-

zép szintben folyó méréssel a teljes vízoszlopra vonatkozó hőmérsékleti paraméterek kellő pontossággal megkaphatók (minimum, maximum, napi átlag).

5.6.1.2. Az árasztóvíz hőmérsékletének modellezése

Az árasztóvíz napi minimum-, maximum- és (ebből származtatva) középhőmérsékletének meghatározására egy dinamikus modellt konstruáltunk. A modellben a napi változások (ΔT_{1n} és ΔT_{2n}) meghatározása empirikus összefüggések alapján történt. Az összefüggések meghatározásánál kiemelt szempont volt, hogy bennük csupán a standard meteorológiai állomások mérései alapján rendelkezésre álló paraméterek szerepeljenek. Ezen kívül mind a ΔT_{1n} , mind a ΔT_{2n} estében bevonásra került a víz hőmérséklet, oly módon, hogy egy negatív visszacsatolással biztosítsa a modell stabilitását a nagyszámú összegzés után is. A levegő „melegítő hatása” (MH) és „hűtő hatása” (HH) a következők szerint definiálható:

$$MH_n = T_{lmax_n} - T_{vmin_n}$$

$$HH_n = T_{lmin_{n+1}} - T_{vmax_n}$$

ahol T_{lmax_n} (°C) a léghőmérséklet napi maximuma az n . napon, T_{vmin_n} (°C) a víz hőmérséklet minimuma az n . napon, $T_{lmin_{n+1}}$ (°C) a léghőmérséklet minimuma az $n+1$. napon, T_{vmax_n} (°C) a víz hőmérséklet maximuma az n . napon.

MH és HH paraméterek bevonásának fizikai háttere az, hogy a szenzibilis hőáram a hőmérsékleti gradiens lineáris függvénye. Ezáltal a víz és a levegő közti hőmérsékletkülönbség – melynek reprezentánsai a MH és HH – direkt módon hatással van a víz időegység alatti hőfelvételével, illetve hőleadásával, továbbá ezek integráljaival a reggeltől késő délutánig felvett, majd a másnap reggelig leadott hővel. Ennek szükségszerű következménye, hogy MH és ΔT_1 , valamint HH és ΔT_2 szoros összefüggésben van egymással. Az elvégzett korrelációanalízis megerősítette ezt a feltételezést. Az is bebizonyosodott, hogy a levegő melegítő és hűtő hatását más léghőmérsékleti paraméterek bevonásával kiszámítva sem kapunk szignifikánsan jobb eredményeket. Ezért feltétlenül a maximum és minimum hőmérséklet használata célszerű, különösen ezen értékek könnyű hozzáférhetősége (mérés, archívum, előrejelzés) miatt.

Az empirikus összefüggéseket a 2006. július 20 - augusztus 31. időszak mérési adatai alapján határoztam meg (alig változó vízborítottság és LAI). A teljes vízréteg átlagos hőmérséklete helyett a középréteg hőmérséklet használata kielégítő pontosságúnak bizonyult (lásd később).

Két különböző adatigényű modell készült. Az elsőben (M1) csupán két igen egyszerű egyváltozós lineáris regressziós összefüggés szerepel. A változók a korábban bemutatott MH és HH, azaz csupán napi léghőmérsékleti maximum és minimum adatokra van szükség a vízhőmérséklet becsléséhez. $\Delta T1$ és $\Delta T2$ meghatározása a következő egyenletekkel történik:

$$\Delta T1 = 0,323 \text{ MH} + 0,73 \quad (34)$$

$$\Delta T2 = 0,387 \text{ HH} - 0,12 \quad (35)$$

A másik modellben (M2) az empirikus összefüggésekben már kissé nehezebben hozzáférhető meteorológiai adatok is helyt kaptak. Kiválasztásuk fő szempontjai a következők voltak:

- eredményezzenek szignifikáns javulást a regresszióban;
- szerepeljenek az elérhető meteorológiai adatállományokban;
- a lehető legkevesbé korreláljanak a többi modellparaméterrel;
- fizikailag értelmezhető, közvetlen kapcsolat a vízhőmérséklettel;
- egyszerűség.

A korrelációanalízis és a lépésenként, interaktív módon végrehajtott (stepwise) regresszióanalízis (Systat 9 statisztikai program) a fenti kritériumok figyelembe vételével az alábbi empirikus egyenletekhez vezetett:

$$\Delta T1 = 0,135 \text{ G} + 0,133 \text{ MH} - 0,46 \quad (36)$$

$$\Delta T2 = 0,282 \text{ HH} - 0,0473 \text{ Rn} + 0,195 \text{ w} + 3,67 \quad (37)$$

ahol G (MJ m⁻²) a globálisugárzás napi összege, Rn (%) a relatív légnedvesség napi átlaga és w (m s⁻¹) a napi átlagos szélsebesség 10 m magasságban.

A víz nappali melegedésével legszorosabb kapcsolatban a globálisugárzás van, de a MH is csaknem azonos jelentőségű tényező. E két fontos paraméter mellett más tényezők már nem képesek szignifikánsan javítani a modell pontosságát.

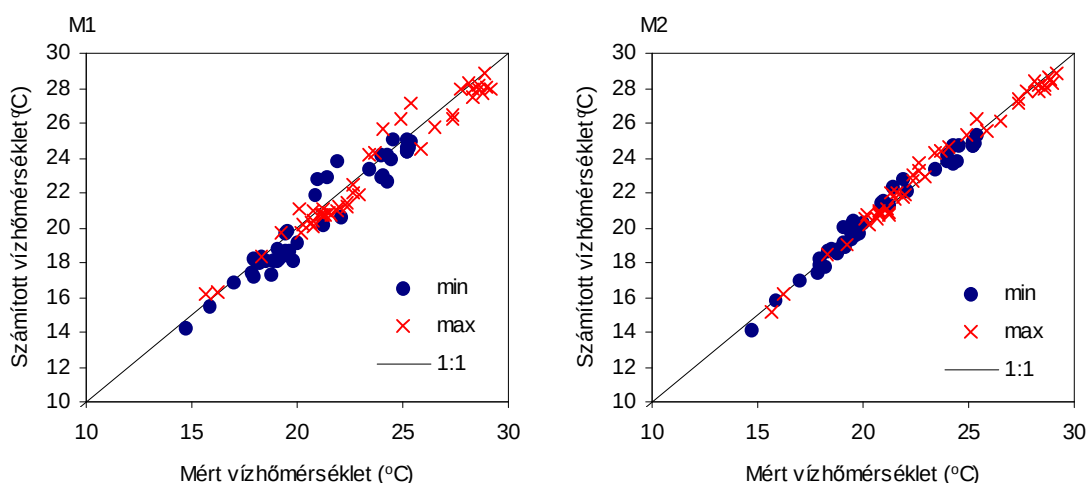
Az árasztóvíz lehűlését döntő mértékben a levegő „hűtő hatása” határozza meg. A relatív nedvesség negatív korrelációban van a $\Delta T2$ -vel a párolgásra gyakorolt hatásán keresztül, száraz levegőben a víz látens hővesztesége fokozódik. A napi átlagban alacsony Rn általában viszonylag magas nappali hőmérséklettel és besugárzással van összefüggésben, így az éjjeli jelentősebb vízhőmérséklet csökkenés részben adódhat a nappal erősebben felmelegedett víz következtében is. A szélsebesség a nappali folyamatnál ($\Delta T1$) nem szignifikáns, az éjszakai lehűlésnél ($\Delta T2$) viszont szignifikáns tényező. A szél mind a szenzibilis, mind a látens hőfluxust fokozza, azonban a nappali órák-

ban ezek ellentétes irányú folyamatok, ezért a vízhőmérsékletre gyakorolt hatás általában nem jelentős. Ezzel szemben az éjszaka folyamán a szenzibilis és a látens hőáram is azonos irányú, mindkettő a víz hőveszteségét okozza, így szeles időben erősebb a víz éjszakai lehűlése.

5.6.1.3. Modell verifikáció

Az M1 és M2 modellek a kezdőnapra megadott vízhőmérsékleti minimum (vagy maximum) értékéből kiindulva a számított nappali vízhőmérsékleti növekmények (ΔT_1) és éjszakai csökkenések (ΔT_2) felváltva történő hozzáadásával, illetve levonásával nyomon követi a napi szélsőértékek változását. Ezen szélsőértékek átlagolásával egyfajta napi középhőmérsékletre jutunk, amelyet szintén bevontunk a modell tesztelésébe.

A becsült és mért értékek igen jó egyezést mutatnak a 2006-os vizsgálati időszakban (26. ábra).



26. ábra. A vízhőmérséklet mért és számított értékei a 2006-os vizsgálati időszakban.

M1 (bal) és M2 (jobb).

Az M1 modell a minimumok változékonyságát 92%-ban, míg a maximumokét 96%-ban írja le. Az M2 szignifikánsan jobb eredményt adott. $R^2 = 0,98$ a napi minimumok és maximumok esetén egyaránt. A RMSE (a hibanégyzetek átlagának négyzetgyöke) értékek az új paraméterek M1 modellbe történő bevonásával – azaz M2-ben – közel a felére csökkentek (13. táblázat). Az M2 modell „jóságát” egyértelműen bizonyítják az alacsony RMSE értékek, a hatékonysági faktor (EF) 1-hez igen közeli értékei és a CRM 0-tól 1%-nál kisebb eltérései. Megállapítható, hogy az M2-t jellemző statisztikai para-

méterek is kifejezetten jó modelltől tesznek tanúbizonyságot, az M2 nagyfokú egyszerűsége ellenére.

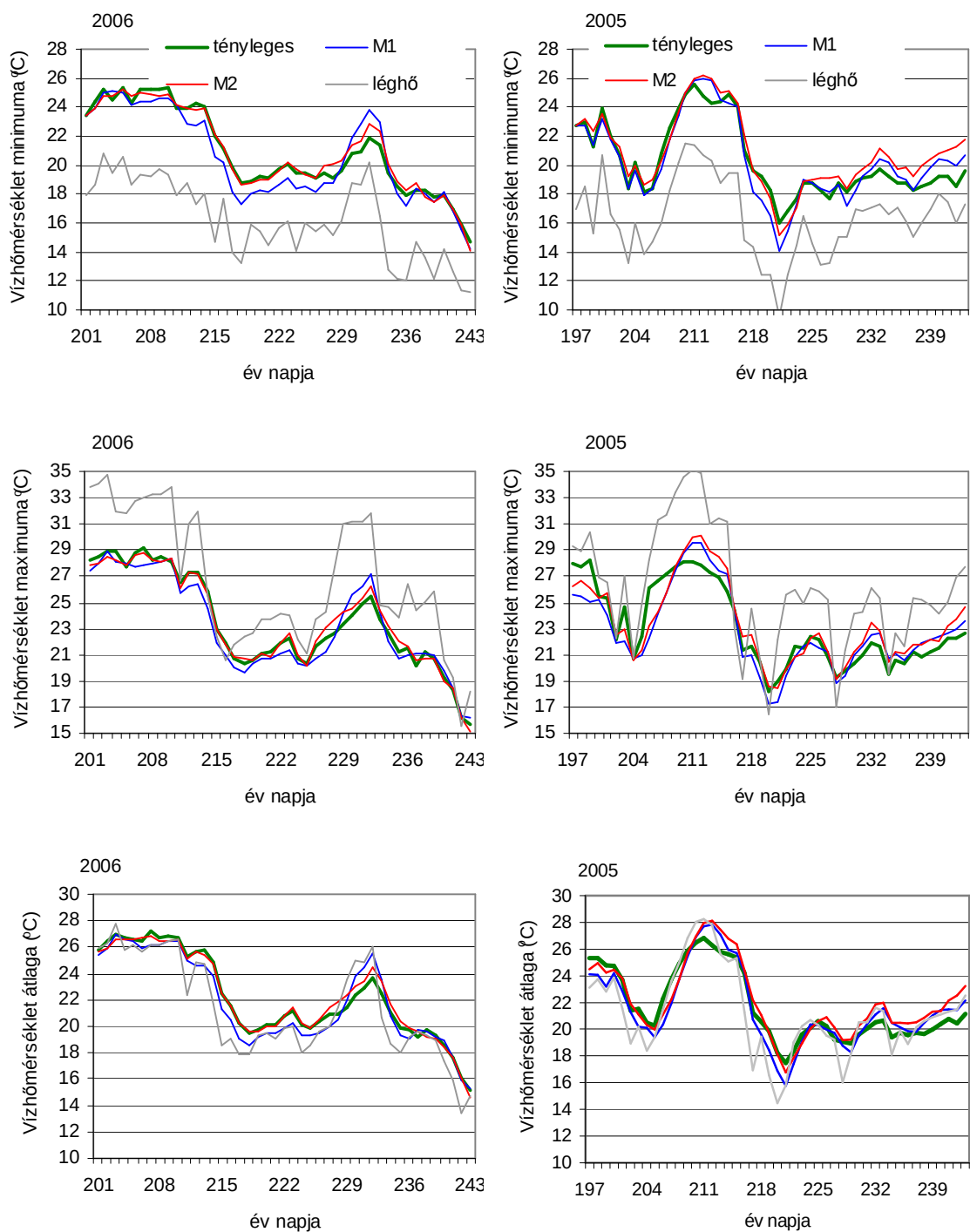
13. táblázat. Az M1 és M2 vízhőmérsékleti modell verifikációja a 2006-os és 2005-ös mérési időszak adatai alapján

	2006				2005			
M1	RMSE	EF	CRM	CD	RMSE	EF	CRM	CD
Min	0,92	0,90	0,02	0,92	0,83	0,89	0,00	0,91
Max	0,78	0,95	0,01	0,96	1,31	0,81	0,01	0,83
Közép	0,79	0,94	0,01	0,95	0,93	0,87	0,01	0,89
M2								
Min	0,44	0,98	-0,00	0,98	1,01	0,84	-0,03	0,89
Max	0,43	0,99	-0,00	0,98	1,20	0,84	-0,01	0,85
Közép	0,41	0,98	-0,00	0,98	0,96	0,87	-0,02	0,90

A 2005-ös, a modellalkotásnál fel nem használt, független adatbázison alapuló tesztelés azt eredményezte, hogy a M2 elvesztette előnyét a M1-höz képest. Sőt, a minimumhőmérsékletek becslésénél az egyszerűbb modellváltozat szolgáltatott pontosabb eredményeket. A napi középhőmérsékletek leírásánál a két modell hasonló hatékonyságúnak bizonyult. Mindkét modell „gyenge pontja” a maximumhőmérséklet számítása volt. Az ehhez tartozó $RMSE = 1,31\text{ °C}$ (M1) és $RMSE = 1,2\text{ °C}$ (M2) értékek még mindig kifejezetten kedvezőek a szakirodalomban fellelhető vízhőmérsékletet leíró modellekhez viszonyítva.

A 27. ábrán jól látható, hogy 2006-ban az M2 modell kiválóan szimulálta a vízhőmérséklet menetét. Az M1 modell mintegy 2 °C -kal túlbecsülte a vízhőmérsékletet (különösen a minimum értékeket) az intenzív felmelegedést követő igen meleg, napos periódusban (augusztus 20. előtt). A modell nem volt képes figyelembe venni a száraz levegő és a szél által felfokozott párolgás hőmérsékletcsökkentő hatását. Más időszakokban – összességében az időszak egy jelentős hányadában – az előbbi jelenség „kompenzációjaként” enyhe alábecslés adódott.

2005-ben a legjelentősebb eltérések a T_{vmax} -nál figyelhetők meg. A hűvösebb időszakokat követő, hirtelen beköszöntő igen meleg, száraz időszakokban a modellek kezdetben késve követik a melegedést, majd a korábban bemutatott okok miatt túlbecsülik a tényleges értékeket.



27. ábra. A vízhőmérséklet napi minimumának, maximumának és átlagának
tényleges és a modellek által számított menete.

M1 (kék), M2 (piros), mért vízhőmérséklet (zöld) és a léghőmérséklet (szürke)
2006-ban (kalibráció) és 2005-ben (verifikáció)

Az augusztus végi mérsékelt felmelegedés ideje az M2 számára kritikusabbnak bizonyult, mint az egyszerűbb modell számára. Ekkor a víz tartósan hűvösebb volt, mint

a levegő (napi átlagban), ami nem volt jellemző a modellalkotáshoz felhasznált 2006-os időszakban. Feltételezéseim szerint ilyen esetekben (hűvös víz) a modellek hibáját fokozza a felső vízrétegekben kialakuló jelentősebb hőmérsékleti gradiens, illetve stabillabb rétegződés. Az időjárás hatása a felső rétegekben érvényesül hatékonyan, lejjebb, így akár a vizsgált középszinten a nappali felmelegedés a vártnál kisebb.

Összegzésül megállapítható, hogy a dinamikus-empirikus modellünk mindkét változata a rizs árasztóvíz hőmérséklet szimulációjának hatékony és pontos eszközeként szolgálhat. A becslés hibája a gyakorlati szempontokat figyelembe véve nem jelentős, különösen úgy, ha figyelembe vesszük a lég- és vízhőmérséklet szélsőértékeinek egymástól való eltéréseit. A termelők egyszerűen alkalmazhatják az input paraméterként csupán a levegő napi minimum és maximum hőmérsékletét igénylő igen egyszerű regressziós modellt (M1), illetve annak empirikus összefüggéseit. A vízhőmérséklet várható alakulása kevés számítással becsülhető az időjárás előrejelzések információi alapján, és ennek megfelelően lehet dönteni az esetleges vízszintmódosítás szükségességéről.

Az összetettebb M2 modell kitűnően szerepelt 2006-ban, de a független 2005-ös adatsornál elvesztette az előnyét M2-höz képest. Felhasználása növény-szimulációs modelleknél, illetve minden más olyan esetben javasolható, ahol az adatok beszerzése és a bonyolultabb számítás nem jelent problémát.

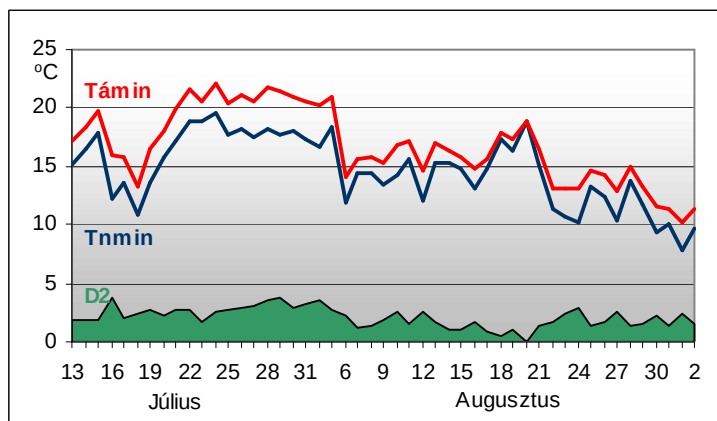
A modellek a jelenlegi formájukban viszonylag mély (20-30 cm) árasztóvíz és jól fejlett, zárt rizs állomány esetén, a magyarországi klimatikus viszonyok mellett alkalmazhatók. Az ettől eltérő esetekben (vízszint, állomány, földrajzi hely) az empirikus összefüggések újbóli meghatározása szükséges.

5.6.2. Az árasztóvíz hatása az állomány légterének hőmérsékleti viszonyaira

Az árasztóvíz felszíne alatti növényi részek hőmérséklete lényegében megegyezik az adott szintben levő vízhőmérséklettel, ami a levegő hőmérsékletétől lényegesen eltérő módon alakul. Az árasztóvíz azonban nemcsak így, közvetlen módon, hanem közvetve is hatást gyakorol a rizsállomány mikroklímájára. A nagy hőkapacitású víz jelenléte következtében az árasztott rizsállományok légterének hőmérséklete eltérést mutat a szárazrizs állományhoz képest. A víz mérsékli az éjszakai lehűlést és a nappali felmelegedést is.

A minimumhőmérsékletnek az árasztott állomány légterében ($T_{a_{min}}$) és az árasztás nélküli állomány légterében ($T_{n_{min}}$) mért $D2 = T_{a_{min}} - T_{n_{min}}$ különbsége természetesen kisebb, mint a víz- ($T_{v_{min}}$) és a léghőmérséklet ($T_{l_{min}}$) minimuma közötti

$D1 = T_{v_{\min}} - T_{l_{\min}}$ különbség, de még így is jelentős. Vizsgálataim szerint $D2$ többnyire 1 és 3 °C között alakul, sőt a júliusi meleg időszakban elérte a 4 °C-ot. A 2 hónap alatt egyszer sem fordult elő, hogy az árasztott állományban alacsonyabb minimum alakuljon ki, mint a száraz rizsben (28. ábra).



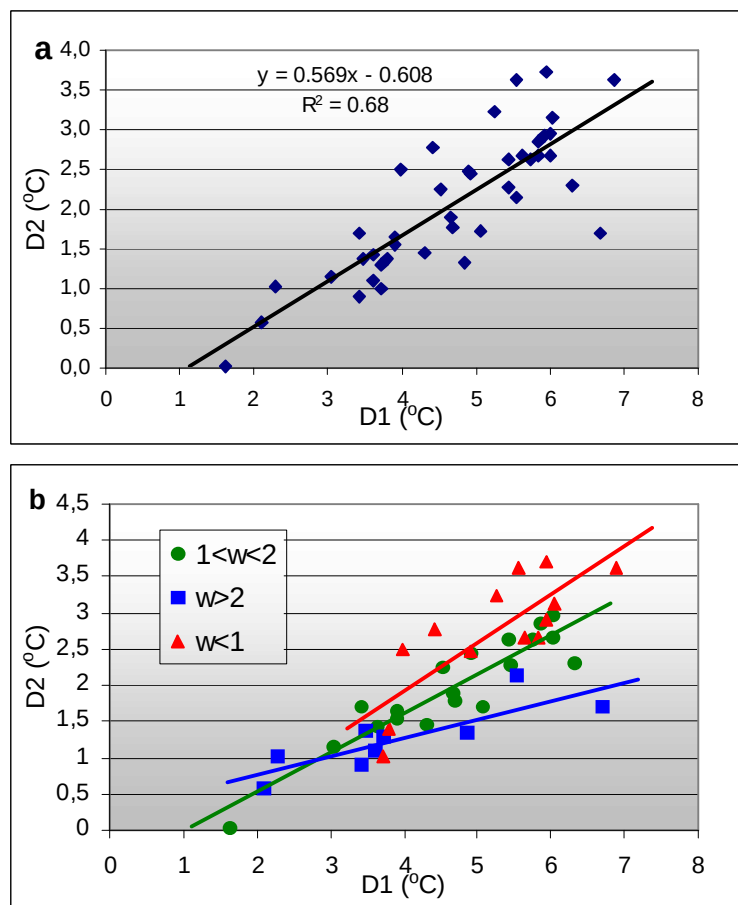
28. ábra. Az árasztott (Támin) és szárazrizs (Tszmin) állományban mért léghőmérsékleti minimumok és ezek különbsége ($D2$)

Feltételezésem szerint a víz- és léghőmérséklet közötti különbségből ($D1$) meghatározható az árasztott és a szárazrizs légterének hőmérsékleti különbsége ($D2$).

A 29.a. ábra alapján a $D1$ és $D2$ közötti kapcsolat jó közelítéssel lineárisnak tekinthető ($R^2=0,68$), de a becslés hibája többször meghaladja az 1 °C-t. A hibatagok analízise szerint a lineáris modell a $D2$ értékét nagyobb szélsőségek mellett túlbecsli, míg kis szélsőségek esetén alábecsli. Ennek az oka, hogy szeles időben az intenzívebb turbulens kicserélődés hatására a száraz rizs kevésbé hűl le (fokozott szenzibilis hőáram az állomány belseje felé), az árasztóvíz feletti légtér pedig erősebben hűl le (a víz által biztosított hőtöbblet fokozott elszállítódása). Szélcsendes időben a hőmérsékleti inhomogenitás erőteljesebben kifejlődik, a szárazrizs erőteljesebben, az árasztott állomány viszonylag gyengébben hűl le.

A modell finomítása érdekében az éjszakákat 3 – közel azonos elemszámú – csoportba soroltuk a 10 m-es szint 0 és 5 óra közötti átlagos szélsősége (w) alapján, majd csoportonként határoztuk meg a regressziós összefüggést. A lineáris kapcsolat javulása a legszembetűnőbb ($R^2=0,85$) az 1 m s⁻¹ és 2 m s⁻¹ közötti szélsőségek mellett (29.b. ábra). Kis szélsőségek esetén ($w < 1$ m s⁻¹) alakul ki a legnagyobb hőmérsékletkülönbség a kétféle állomány között és ekkor számít leginkább a $D1$ nagysága. A

2 m s^{-1} -nál nagyobb szélességek megakadályozzák a jelentősebb ($2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb) különbségek kialakulását, alig befolyásolva a víz- és léghőmérséklet különbségétől.

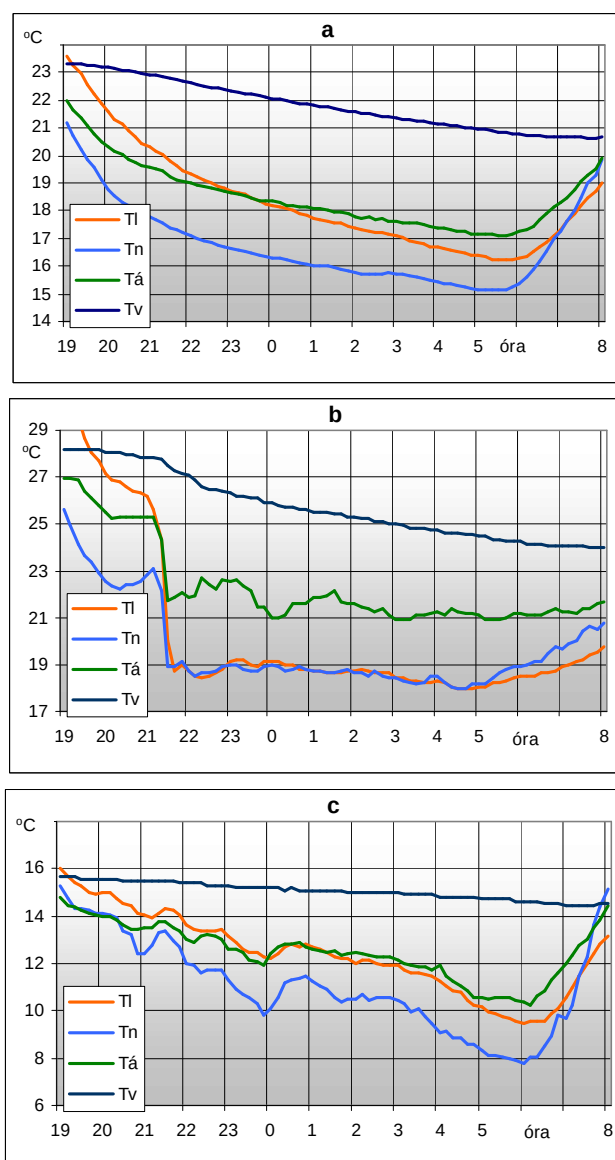


29. ábra. a. Összefüggés a vízhőmérséklet és a léghőmérséklet minimumának különbsége (D1) és az árasztott és száraz rizs állomány légterének hőmérsékleti különbsége (D2) között. b. szélesség szerinti felbontásban

Az agrometeorológiai gyakorlatban a minimumhőmérséklet az éjszakai hőmérsékleti viszonyok leggyakrabban használt reprezentánsa. Azonban sok esetben hasznos kiegészítő információt szolgáltat a lehülési folyamat ismerete a hőmérsékleti menet által. A 2006. július 20-szeptember 1. időszak átlaga alapján megállapítható, hogy az árasztott (Tá), de különösen az árasztás nélküli (Tn) állomány légterének hőmérséklete már napnyugta idején alacsonyabb, mint a 2 m magasságban (Tl) mért érték (30.a. ábra). A kora reggeli órákig végig a Tn a legalacsonyabb. A Tn és Tf különbsége 22 óra és 5 óra között igen stabilan $1,9\text{-}2,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti alakul. Az éjszaka első felében a hőmérséklet 2 m-en még melegebb van mint az árasztott állományban, azonban éjfél környé-

kén a helyzet ellentettjére változik. A T_n , T_f és T_l átlagos minimumai rendre $15,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Egy felhős, időnként szeles és csapadékos éjszaka hőmérsékleti viszonyait mutatja a 30.b. ábra. A zápor a levegő hirtelen lehülését okozta, a víz azonban csak lassan és fokozatosan reagált. A záport követően T_n és T_l azonos szintre esett és teljesen együtt mozgott az éjszaka folyamán, a $18-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os tartományban ingadozva. Az árasztóvíz feletti levegő hőmérséklete viszont ennél végig lényegesen ($2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal!) magasabban alakult és lényegében folyamatosan $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett maradt a víz által leadott hő miatt.



30. ábra. Az árasztott (T_a) és árasztás nélküli (T_n) rizsállomány légtére, a 2 m-es szint (T_l) és az árasztóvíz (T_v) hőmérsékleti menete a júl. 20-szept. 1. periódus átlagában (a), júl. 29-én (b) és aug. 31-én (c)

A vizsgált időszak leghidegebb éjszakáján, derült égbolt és gyenge légmozgás mellett az átlagoshoz hasonló hőmérsékleti meneteket tapasztalhattunk. Természetes eltérés, hogy itt megfigyelhetők a hőmérsékleti fluktuációk, legnagyobb mértékben a szárazrízis állományban (30.c. ábra). A víz nagy hőtehetlensége miatt benne, a méréseinkkel kimutatható ($>0,1^{\circ}\text{C}$) gyors hőingadozások nincsenek, a vízhőmérséklet folyamatosan, lassan csökken.

Vizsgálataim egyértelműen mutatják, hogy az éjszakai órákban az árasztóvíz viszonylag stabil hőmérsékleti többletet eredményez az állomány légterében. A hőtöbblet értéke jól jellemezhető egyetlen számértékkel, a minimumok különbségével (D2). D2-t főleg a víz- és léghőmérséklet különbsége (D1) és részben a szélesebbesség határozza meg. Az időjárás jellege (felhőzet, csapadék) nem lényeges befolyásoló tényező. D2 jó becslését adja a D2 és D1 közötti lineáris regressziós összefüggés, különösen ha azt szélesebbégi kategóriák szerinti felbontásban határozzuk meg.

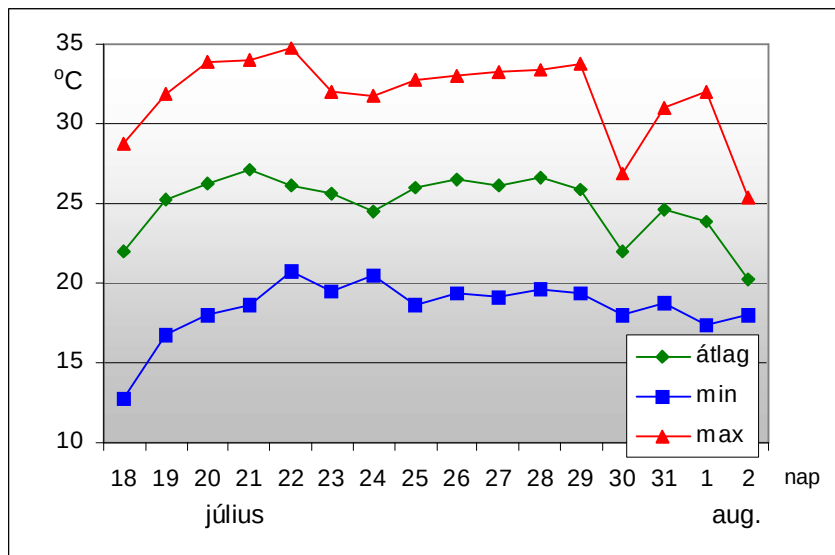
Kutatásom újszerű, kvantitatív információt szolgáltatott az árasztott és szárazrízis állományok eltérő mikroklímatis viszonyairól. A kapott eredmények felhasználhatók az alacsony hőmérséklet rizsre gyakorolt károsításának kockázatelemzésében, illetve beépíthetők numerikus termésbecslő modellekbe.

5.6.3. A hőmérséklet éjszakai profilja a szárazrízis állományban

A szárazrízis állományban kialakuló hőmérsékleti profilok tanulmányozására egy 17 napos mérési sorozat adatai alapján került sor. A vizsgált periódust többnyire meleg, nyári időjárás jellemezte jelentős, általában $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ -os napi hőingadozással. Az időjárás jellegében a vizsgált időszakban jelentős változások voltak, így lehetőség nyílt a különböző időjárási típusok esetén kialakuló hőmérsékleti profilok elemzésére is. A napi minimum, maximum és középhőmérséklet menetét a 31. ábra szemlélteti.

A július közepén bekövetkezett lehűlés eredményeképpen a száraz, igen tiszta légtömeg, a derült égbolt és a már legyengült szél miatt az éjszakai lehűlés mélypontja a július 17-éről 18-ára virradó éjszaka – méréseim első napján – következett be. Az ezt követő néhány napon hasonló jellegű, de egyre melegedő idő volt, nagy napi hőingadozással. Július 21-28. között fülledt meleg, délelőtti napos, délután felhős, záporokkal, zivatarokkal tarkított időjárás következett, a felhőzet gyakran csak az éjszakai órákban csökkent. Július 28-án este érkezett egy időjárási front, amely zivatart, jelentős csapadékot és átmeneti lehűlést okozott. A hónap utolsó két napján ismét meghaladta a hő-

mérsékleti maximum a 30 °C-ot, majd augusztus 1-én éjszaka már egy tartósabb, erőteljesebb lehűlés vette kezdetét.



31. ábra. A hőmérőházban 2 méter magasságban mért napi középhőmérséklet, napi minimum és maximum alakulása 2006. július 18. és augusztus 2. között

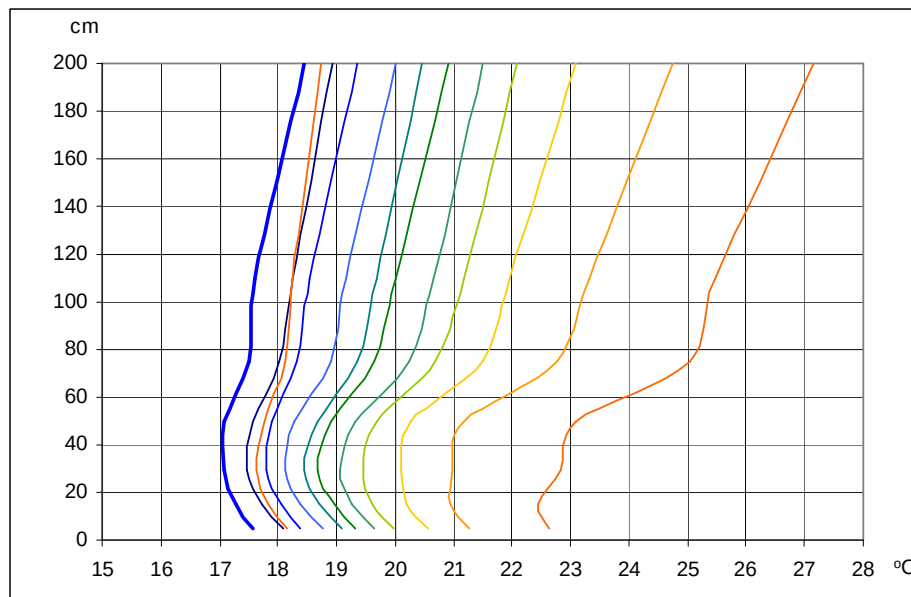
Elsőként a teljes időszakra vonatkozó, órás hőmérsékleti átlagok alapján meghatározott hőmérsékleti profilt vizsgáltuk, amely természetesen elfedheti az egyes napok sajátosságait, de kimutatja a profilok stabilan, gyakran előforduló vonásait. Az elkövetkező hivatkozásokban az órás átlag mindig az adott időpontot követő 1 óra középhőmérsékletét jelenti.

A 32. ábrán a balról jobbra sorban látható görbék 19 órától a hajnali órákig mutatják az átlagos hőmérsékleti profilokat. 22 óráig gyorsabb a lehűlés – az egyes görbék egymástól viszonylag távol vannak –, a későbbiekben a lehűlés üteme már mérsékeltebb és csaknem egyenletes. A 4 órai és az 5 órai vonal metszi egymást, hiszen napkelte után már megkezdődik a felmelegedés a növényállományban (főleg a felső részén), az állomány felett viszont még csökken a hőmérséklet. A legalacsonyabb hőmérsékleti érték az állományban 4 órakor, a hőmérőházban 5 órakor alakul ki.

További megállapításaink a 32. ábra alapján:

- az esti órákban a növényállomány belseje lényegesen hűvösebb, mint a felette elhelyezkedő légréteg, 19 és 20 óra között az állományban 4-4,5 °C-kal alacsonyabb a hőmérséklet, mint a hőmérőházban;

- az éjszaka második felében ez a különbség 2 °C-ra csökken;
- a minimumhőmérsékleti értékekben 1,5 °C különbség van a növényállomány leghidegebb része és a 2 méteres szint között.



32. ábra. A szárazrizs állományban és afölött az éjszaka egyes óráiban megfigyelhető hőmérsékleti profil a teljes vizsgált időszak átlagában (2006. VII. 17-VIII. 2.)

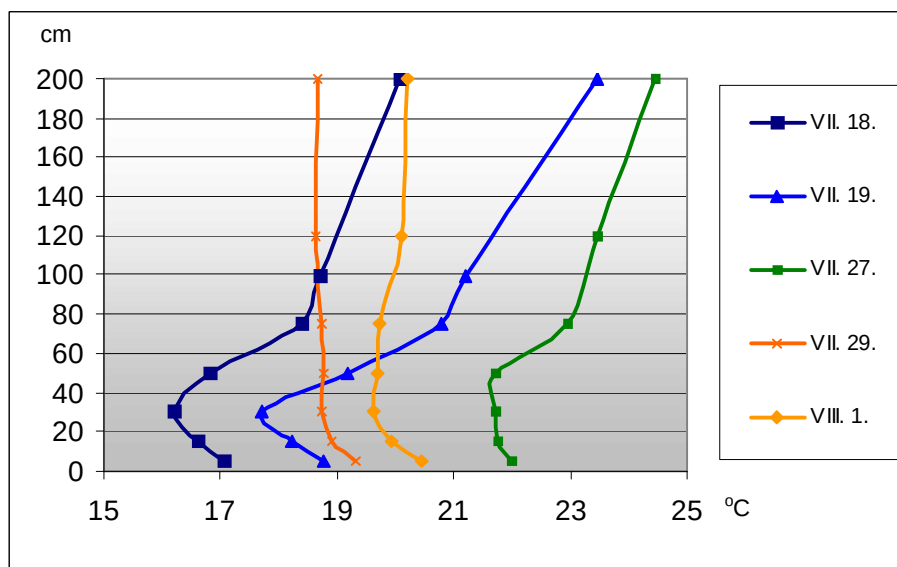
Az időjárási típusonkénti vizsgálatokhoz a napi meteorológiai adatok és hőmérsékleti profilok alapján kiválasztottam néhány „karakteres” napot, amelyek három, egymástól jól elkülöníthető csoportba sorolhatók.

1. *időjárási típus:* az éjszakai erős kisugárzás (és lehűlés) a jellemző, ami a felhőtlen ég, a száraz, tiszta levegő következménye. A gyenge szél miatt mérsékelt a levegő turbulens keveredése is. Ilyenkor jelentős vertikális hőmérsékleti különbségek alakulnak ki (július 18-19.)
2. *időjárási típus:* fülledt idő, a levegő magas páratartalma miatt a lehűlés mérsékelt. Július 27-én éjszaka sűrű köd alakult ki, ami a rizstermesztés szempontjából kiemelten kedvezőtlen jelenség.
3. *időjárási típus:* az éjszaka során erősen felhős vagy borult az ég, záporosó esik zivatar és időnként élénk szél kíséretében. A felhőzet és az erőteljesebb légmozgás miatt a hőmérséklet vertikális eloszlása egyenletes (július 29., augusztus 1.).

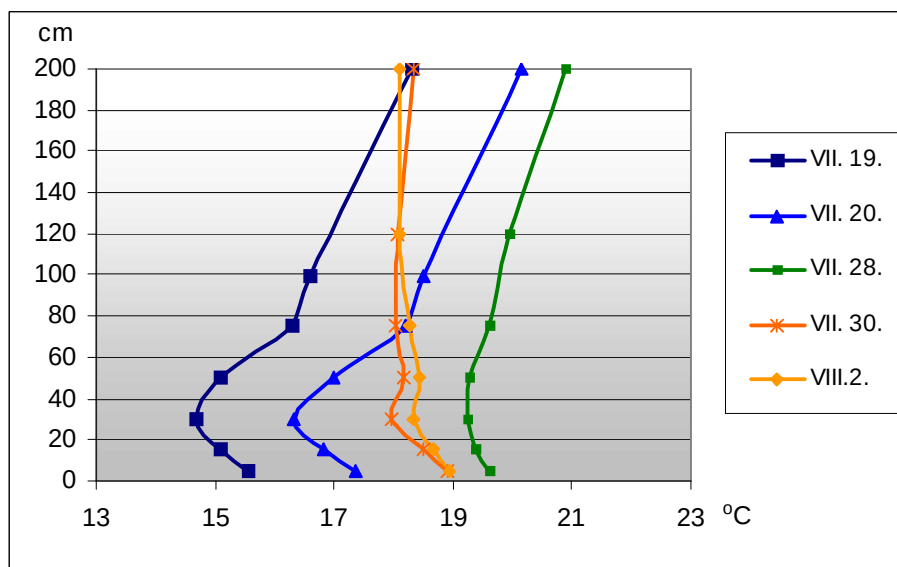
Az átlagos léghőmérsékleti profilok alapján láthattuk, hogy az éjszaka folyamán változik a hőmérsékleti rétegződés, ezért a profilokat szükséges volt az éjszaka első és

második feléből legalább egy-egy időpontban bemutatni, valamint a minimumhőmérsékletre is külön elvégezni a vizsgálatot.

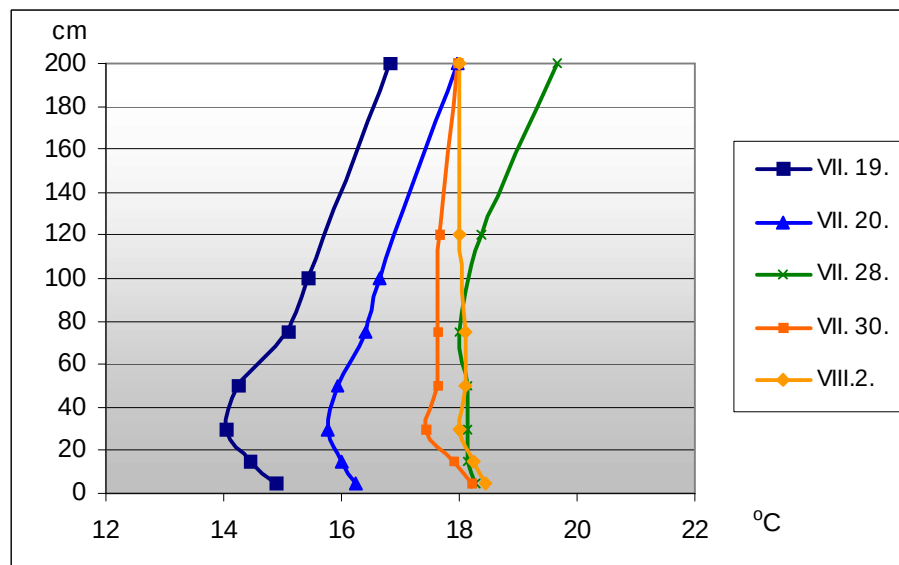
22 órakor (33. ábra), 3 órakor (34. ábra) és a minimumhőmérséklet esetén (35. ábra) is egyértelműen elkülöníthető a három időjárási típushoz tartozó hőmérsékleti profil.



33. ábra. A hőmérséklet vertikális profilja a szárazrizs állományban és afölött 22 órakor a különböző időjárási típusokat reprezentáló napokon



34. ábra. A hőmérséklet vertikális profilja a szárazrizs állományban és afölött 3 órakor a különböző időjárási típusokat reprezentáló napokon



35. ábra. A minimumhőmérséklet vertikális eloszlása a szárazrizs állományban és afölött a különböző időjárási típusokat reprezentáló napokon

Az időjárási típusok szerinti vizsgálat alapján tehető megállapítások a következők:

1. Az állomány alsó felében a kiválasztott időjárási helyzetekben és időpontokban közel lineáris volt a hőmérsékletváltozás. A talajfelszín feletti 5 cm-ben legfeljebb 1 °C-kal volt melegebb, mint az állomány leghidegebb szintjében. Ennél nagyobb eltérés a leszivárgó hűvös levegő miatt nem alakul ki. Ebben fontos szerepet játszik az is, hogy a talaj a nappali órákban nem tud jelentősebben felmelegedni a növényzet árnyékolása és a nagy talajnedvességtartalom miatt.
2. Csapadékos időben (3. időjárási típus) egész éjszaka izotermia jellemzi csaknem a teljes állományi légréteget. Csupán az állomány alsó részén a 30 cm-es és az 5 cm-es szint között figyelhető meg kb. 0,5-1 °C-os hőmérséklet növekedés, a levegőnél melegebb talajfelszín hatására.
3. Erős kisugárzás és gyenge szél esetén (1. időjárási típus) határozott hőmérsékleti profil alakul ki az állományban és a felette levő légrétegben is. A leghidegebb zóna a talajfelszín felett 30 cm-es magasságban található, mintegy 10-20 cm-rel a legaktívabban kisugárzó zóna alatt, a hideg levegő leszivárgása miatt. A legnagyobb hőmérsékleti gradiens az állomány felső részén alakul ki, értéke az 50 cm-es és a 75 cm-es szint között 22 órakor 2-3 °C/25 cm. A hideg levegő felhalmozódása miatt az éjszaka folyamán fokozatosan csökken a két szint hőmérsékletének különbsége. A hőmérőházban 2 méter magasságban mért értéknél az állomány leghidegebb szintjében 22 órakor 4-5 °C-kal, 3 órakor kb. 3 °C-kal alacsonyabb a hőmérséklet ebben az időjá-

rási helyzetben. A minimumoknál megfigyelhető kb. 2-2,5 °C-os különbség még mindig számottevő.

4. A kéthetes mérési időszak alatt gyakoriak voltak a fülledt, meleg napok (2. típus), amikor a levegő nagy nedvességtartalma és időnként ehhez társulva a felhőzet mérsékelte az éjszakai kisugárzást. A magas harmatpont érték is korlátozta a lehűlést, hiszen a vízgőz növényfelületen történő kicsapódása hőfelszabadulással járt. Megfigyelhető, hogy az állományon belül ilyen időjárási viszonyok között nem alakultak ki lényeges hőmérséklet különbségek. Az állomány felett azonban ilyenkor is határozottan létrejön az inverzió, az éjszaka folyamán viszonylag stabilnak tűnő kb. 2 °C-os különbség az állomány (csaknem egésze) és a 2 méteres szint között. A leghidegebb szint kissé magasabbra tolódásában szerepet játszik az is, hogy az állomány kb. 20 cm-rel növekedett.

A óránkénti hőmérsékleti átlagok alapján megvizsgáltam, hogy az 1-es és 2-es időjárási típus esetén az éjszaka folyamán az állomány leghidegebb szintjében mennyivel alacsonyabb a hőmérséklet, mint a meteorológiai méréseknél szabványos 2 méteres magasságban. A jellemző értékeket az 14. táblázat mutatja. Csapadékos vagy borult, szeles időben a különbségek elhanyagolhatók, így ezt nem tüntettem fel.

14. táblázat. Jellemző eltérések a hőmérőházban (2 m) mért és a rizs állomány leghidegebb szintjének hőmérséklete között az 1. és 2. időjárási típus esetén (°C)

	19 óra	20 óra	21 óra	22 óra	23 óra	0 óra	1 óra	2 óra	3 óra	4 óra	5 óra	min
1.típus	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
2.típus	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

A rizsállomány belseje már napnyugta előtt árnyékba kerül és az erős hosszúhullámú kisugárzás miatt intenzíven hűl. Napnyugta környékén igen nagy – akár 6-9 °C-os – hőmérsékleti deficit is kialakulhat a kritikus időjárási helyzetekben (1. típus), de még a gyakran előforduló fülledt nyári estéken is (2. típus) jelentős a különbség. Alacsonyabb vagy ritkább növényi vegetációnál – pl. rövidre nyírt fű esetén – nem jellemzőek az ekkora eltérések, mivel ott a nappal erősebben felmelegedő talaj nagy hőkészlete este jobban mérsékli a lehűlés ütemét. Az éjszaka folyamán az állományhőmérséklet fokoza-

tosan egyre közelebb kerül a hőmérőházban mért léghőmérséklet értékéhez, azonban végig számottevő marad a különbség egészen a felmelegedés kezdetéig.

A rizst termését veszélyeztető hidegstressz – a részleges vagy teljes virág-, illetve bugasterilitást okozó, többnyire éjszaka fellépő alacsony hőmérsékleti értékek – vizsgálata általában a meteorológiai állomások 2 méteres szinten mért adatai alapján történik. Vizsgálataim bizonyítják, hogy a szárazrizs állományban általában lényegesen alacsonyabb a hőmérséklet mint a hőmérőházban, különösen derült, szélcsendes időjárás esetén. A minimumoknál kb. 2 °C-os eltérést állapítottam meg. Ennek figyelembevétele azonban önmagában nem elég, mivel az esti órákban, illetve az éjszaka első felében az eltérések rendszerint nagyobbak. A rizs számára kritikus hőmérsékleti értékelérése az állományszint gyors lehűlése miatt jóval korábban bekövetkezhet, mint ahogyan a meteorológiai állomáson mért adatok alapján várhatnánk. A szárazrizsre vonatkozó éghajlati kockázatelemzést mindezek figyelembevételével lehet csak elvégezni. Elemzéseim fontosságát növeli, hogy a hidegstressz által okozott terméskiesés kísérletileg igen nehezen vizsgálható, egyrészt a nem rendszeres előfordulás, másrészt a többi – esetenként még jelentősebb hatással bíró – termést befolyásoló egyéb agrotechnikai tényező miatt.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgálataim során megállapítottam, hogy a rizs fenológiai fejlődésének hőmérsékletfüggése eltérő az egyes fázisokban. A vetés-kelés időszak alatt a fejlődési (kelési) ütem igen széles hőmérsékleti tartományban linearitást mutat és így a lineáris hőösszeg modell segítségével megfelelő pontossággal meghatározható a kelési időpont. A kelés-virágzás fázisban a linearitás nem teljesül magasabb hőmérsékleten, ezért bilineáris modell alkalmazásával javítható a virágzási idő becslése. Indokoltnak látom, hogy a gyakorlatban is alkalmazásra kerüljenek az általam bemutatott módszerek a hőösszegigény és a bázishőmérséklet meghatározásánál. Célszerű volna a különböző fajták (nem csak rizs) leírásánál megadni ezeket a fontos paramétereket. A rizsnél gyakorlati szempontból a legfontosabbnak a 14 és 16°C-on (napi közép) jellemző kelési idő bizonyult. Ez a rizsnemesítők számára igen fontos eredmény.

A kelési időpont előzetes becslése a termelők számára hasznos információ a preemergens gyomirtás minél optimálisabb időzítése szempontjából. A kelési modellünk - az aktuális talajhőmérsékletre és az időjárási előrejelzésekre alapozva - segítheti a korai vetésekről hozott döntéseket azáltal, hogy megmutatja a károsan elhúzódó kelés kockázatát.

A rizs érzékeny fenofázisaira vonatkozó vizsgálatunk objektív és számszerű információkat nyújt az egyes kockázati tényezőkről, különböző feltételezett vetésidők esetén. Minél korábbi a vetés, annál nagyobb a kezdeti fejlődés (kelés) kockázata, de annál biztosabb az érés. A megkésett vetéseknél éppen fordítva: a kelés, állománybeállítás kedvező, az érés egyre bizonytalanabb. A bugasterilitás szempontjából az optimálisnál későbbi, de kis mértékben a korábbi vetések is növekvő kockázatot jelentenek.

Az elvégzett kockázatelemzés gyakorlati jelentőségét az adja, hogy a vetésidő megválasztása egy többletköltség nélküli, hatékony eszköz a termelők kezében. Az eredményünk lehetőséget ad a kockázat minimalizálására, illetve az ökonómiai tényezőkkel való együttes értékelésre. A termelők részére eddig nem állt rendelkezésre ilyen közvetlen információ, ami különösen az optimálisnál korábbi és későbbi vetések megítélésénél fontos.

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).

Az utóbbi 32 év hőmérsékleti trendjeit vizsgálva megállapítottam, hogy mind a tavaszi felmelegedés, mind az őszi lehűlés 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.

Azt nem tudjuk biztosan megmondani, hogy a jövőben is folytatódnak-e ezek a trendek, azonban szinte valamennyi éghajlati forgatókönyv szerint ehhez hasonló változásokra számíthatunk hazánkban. Véleményem szerint ezért 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 termesztethők. Várhatóan javulnak a rizstermesztés feltételei hazánkban. Emellett a szántóföldi növényeink többségét kedvezőtlenül érinti az éghajlat (feltételezett) változása, így elképzelhető a rizstermesztés hazai felértékelődése.

A rizs az egyetlen szántóföldi növényünk, ahol hatékony és folyamatos mikroklímát 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. Mind ehhez nélkülözhetetlen információt szolgáltatnak a mikroklíma-vizsgálataink, amelyek számszerűen (°C-ban kifejezve) bemutatják az árasztóvíz közvetlen és közvetett hőmérsékleti hatását.

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 lehűlés esetén a vízszintet legalább a bugakezdemények magasságáig megemelik (ha lehetséges). Sok esetben csupán néhány cm-es emelésen múlik több °C-os védelem.

Az általános hőmérsékleti jellemzők ismerete is hasznos, de a megalkotott modellek (vízhőmérséklet, állomány légterének lehűlése) az aktuális időjárási helyzetben a

rövidtávú előrejelzések alapján még pontosabb információt nyújtanak. Mindez viszonylag egyszerű számításokkal megoldható. Gyakorlati szempontból különösen hasznosnak tartom az egyszerűbb adatigényű vízhőmérsékleti modellt (M1), amely alkalmas arra, hogy az időjárás előrejelzések alapján meghatározza a vízhőmérséklet 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. Ezentúl a modellek beépíthetők időjárás-növény szimulációs (termésbecslő) modellekbe, vagy hidegstresszt becselő modellekbe is, de ez túlmutat a kutatásom keretein.

Valamennyi mikroklíma vizsgálatban az eredmények felhasználhatósága akkor válhat teljessé, ha a rizs különböző hőmérsékletekre adott reakciója is a mikroklíma adatokhoz hasonló részletességgel lesz feltárva. Addig csupán valószínűsíthetőek a hatások. A magyar fajták hidegtoleranciája közvetett vizsgálatunk szerint olyan mértékű, hogy a steril-típusú hidegstressz általában nem válik 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 és ezzel együtt a mikroklíma szerepe és ismerete.

A növényállomány állandó vízborítása lassítja a kedvező hőmérsékleti hatás kialakulását, hosszabbítja a károsan alacsony, esetleg magas hőmérséklet kibontakozását. Általános értelemben véve az öntözés, illetve a folyamatos vízborítás lelassítja azokat a dinamikus folyamatokat, amelyek a rizs állományklímájára nézve jellemzőek. Míg a vízborítás nélküli növényállományok mikro-klimatikus terét a kedvező és kedvezőtlen helyzetek kibontakozását, tartamát és megszűnését egyrészt mikrometeorológiai tényezők – sugárzás, szél – szabályozzák, a víz jelenléte a kiegyenlített mikroklimatikus dinamikát alakítja ki.

A bemutatott vizsgálatok eredményeinek általánosításaként megállapítható, hogy a növény közvetlen környezetében kialakuló légköri feltételekkel a termesztési technika fejlesztése során számolni kell.

7. 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 termésalakító szerepét. A „hidegösszegekkel” végzett vizsgálat nem mutatta ki a rövid ideig tartó lehűlések irreverzibilis károsító hatását, de bizonyította, hogy a túlságosan meleg napok ($\max > 30\text{ °C}$) 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 lehűlés 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.

8. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. A rizs kelése szempontjából kiemelkedő jelentőséggel bír a 14-16°C-os hőmérsékleti tartomány. Fontos nemesítési cél az ezen tartományban mutatott jó kelési erély. A fajta-tulajdonságok megadásánál szükségesnek tartom az erre vonatkozó információt, amely jól kifejezi a fajták korai vetésre való érzékenységet.
2. A vetésidő megválasztását segítő valamennyi közölt agroökológiai információ jól hasznosítható a gyakorlatban, különösen az optimálisnál korábbi és későbbi vetésekre elvégzett kockázatelemzés valószínűségi adatai.
3. A kelést leíró hőösszeg-modell segítségével egyszerűen prognosztizálható a kelés várható időpontja. Túlságosan hosszú becsült kelési időtartam esetén a vetést célszerű későbbre halasztani. Bármely vetési idő mellett a modellszámítás segítséget nyújt a preemergens gyomirtás megfelelő időzítésében.
4. A bilineáris modell a fenológiai fejlődés - a jelenlegi használt módszereknél - pontosabb leírását adja. Az általam bemutatott módszer alkalmazható csaknem minden növényfajra, fajtára és fenofázisra.
5. Az árasztóvíz szabályozásával, a feltárt mikroklimatikus hatás figyelembe vételével lényegi többletköltség nélkül csökkenthető a hidegstressz kockázata. A dinamikus-empirikus modell egy egyszerűen használható eszköz a termelők számára, amellyel a vízhőmérséklet alakulása megfelelő pontossággal becsülhető.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

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 50 000 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 a változó megítélése is fontos szerepet játszott.

A hazai termőterületek jelentik Európában a rizstermesztés északi határát. A marginális helyzetből adódik, hogy a hőmérséklet gyakran előlép elsőszámú termésmeghatározó tényezővé az ökológiai minimum-törvény értelmében. Ez a jelenség csak fokozódik magasszintű termesztéstechnológia alkalmazása esetén, amikor egyéb tényezők a rizs számára közel optimálisan alakulnak.

Kutatásommal arra vállalkoztam, hogy – egyfajta hiánypótlásként – a hazai rizstermesztés különböző agrometeorológiai vonatkozásait vizsgáljam. A kutatás közép-pontjában kiemelt jelentősége miatt a hőmérséklet rizsre gyakorolt hatásának vizsgálata és a hőmérsékleti viszonyok elemzése áll. A részeredmények összevetésével választ kerestem a hazai rizstermesztés jövője szempontjából kulcsfontosságú két kérdésre:

- Mekkora kockázatot jelent az alacsony hőmérséklet a tenyészidőszak különböző szakaszaiban?
- Hogyan lehet minimalizálni ezt a meglévő kockázatot?

További célom volt, hogy az egyes részeredmények önmagukban is hasznos, új vagy újszerű információt, illetve módszert szolgáltatassanak a rizstermesztésben érdekeltek számára.

Saját kísérletet állítottam be a rizs kelési vizsgálatához. Klímaszekrényben, 11 különböző állandó hőmérsékleten, 5 hazai fajtára, optimális vízellátottság és 2 cm-es vetésmélység mellett történt a kelési idő meghatározása.

A mikroklima vizsgálatok is csaknem kizárólag saját mérési programokra épültek (2005-2006 tenyészidőszaka). Összesen 23 db hőmérsékleti adatgyűjtő (érzékelő) felhasználásával, jellemzően 10 perces gyakorisággal folytak a mérések reprezentatív árasztott és árasztás nélküli rizsállományokban (talaj, víz, állomány légtére).

A virágzási idő hőmérsékletfüggését az Öntözési Kutatási Intézet fajtakísérleteinek 9 éves fenológiai adatsora alapján határoztam meg.

Az időjárás-termés kapcsolat elemzése ennél is hosszabb adatsort igényelt (Békés megyei termésátlagok KSH statisztikai évkönyvekből, illetve az OMSZ Szarvasi Agrometeorológiai Obszervatórium meteorológiai adatai).

Szarvasi napi hőmérsékleti adatok (OMSZ: 1976-2007, Tessedik Sámuel Főiskola: 2001-2007) alapján nyílt lehetőség a különböző hőösszeg- és „hidegösszeg”-számításokra, a kritikus időszakok statisztikai vizsgálatára, a különböző vetési időpontok komplex kockázatelemzésére és az éghajlati trendek kimutatására.

A felhasznált vizsgálati módszerek megfelelnek napjaink tudományos elvárásainak. Fontosabb alkalmazott módszerek: korreláció-, regresszió- és varianciaanalízis, speciális függvényillesztések, egyéb egyszerű statisztikák számítása, modellek verifikációja. Külön kiemelendő a bilineáris hőösszeg modell és a vízhőmérséklet dinamikus-empirikus modellezése, amelyek módszertanilag is önálló értéket képviselnek.

A kutatásom fontosabb új, illetve újszerű eredményeit a levonható következtetésekkel az alábbiakban foglalom össze:

A kelési folyamat leírására alkalmas lineáris hőösszeg-modellt parametrizáltam 5 hazai rizsfajtára. A bázishőmérséklet értéke 9,8-10,9 °C közötti, a keléshez szükséges hőösszeg-igény 69-88 °Cnap. A modell gyakorlati célokra egyszerűen felhasználható.

A rizs kelésénél kulcskérdésnek bizonyult a 14-16 °C-on történő reakció. A fajták összehasonlítására leginkább ez a hőmérsékleti tartomány javasolható.

Három különböző bilineáris hőösszeg módszerrel modelleztem egy korai rizsfajta virágzási idejét. A hőmérsékleti optimumra kapott viszonylag alacsony értékek (23,5-24,1 °C) miatt szükségesnek tartom a magas hőmérséklet depresszív hatásának jövőbeni részletes vizsgálatát. A modellekhez optimalizált bázishőmérsékletek (8,0-9,6 °C) alacsonyabbak, mint a hazai irodalomban elfogadott 12 °C. Ez felhívja a figyelmet a bázishőmérséklet eltérő értelmezési lehetőségeire.

A bilineáris modellek felépítésével bemutattam, hogyan lehet fenológiai adatok birtokában tetszőleges fajra, fajtára és fenofázisra vonatkozó, adott ökológiai körülményekre érvényes hőösszeg-modellt létrehozni.

Meghatároztam az egyes vetési idők esetén a károsan elhúzódó kelés kockázatát. Ez alapján javaslatom a legkorábbi vetési időpontra: az 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.

A korai rizsfajtáknál a május közepi vetés esetén legkésőbb augusztus első dekád-jára 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, ilyen vetésidőnél 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.

A rövid tenyészidejű fajtáknál május 20-25, a hosszabb tenyészidejű (hazai) fajtáknál május 5-10. a javasolt legkésőbbi vetési időpont. Az ekkor végzett vetés esetén 5 évből 1 alkalommal bizonytalan az érés. Ez a kockázat még vállalható, hiszen a problémás eset is kezelhető (igaz, többletköltséggel).

A havi középhőmérséklet és napfénytartam hasonló jelentőséggel bír a termés mennyisége szempontjából. Legmeghatározóbb az augusztusi időjárás, ezt követi a májusi, majd a júliusi. Az eredményben újszerű, hogy a kelési időszak időjárását a korábbi eredményekhez képest fontosabbnak, míg a júliust valamivel kevésbé jelentősnek találtam. Az eredmények arra engednek 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 maximumhőmérséklet általában szorosabb kapcsolatban van a termésátlaggal, mint a minimumhőmérséklet. A „hidegösszeg” korrelációs vizsgálatával nem sikerült kimutatni a rövid ideig tartó lehúlések irreverzibilis károsítást okozó hatását.

A dekádonkénti elemzés az eddigieknél részletesebben tárta 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 (főleg a maximum).

Az utóbbi évtizedek trendje szerint mind a tavaszi felmelegedés, mind az őszi lehűlés egyre hirtelenebbül következik be, a tenyészidőszak viszont egyre melegebb. Eszerint 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.

Az árasztóvíz a minimumok idején 5 °C körüli többletet biztosít a levegőhöz képest, így megvédheti a hidegre érzékeny bugakezdeményt. A kritikus fázisban fellépő

jelentős lehűlés esetén javasolható a vízszint emelése a bugakezdemény szintjéig (ha lehetséges). Sok esetben csupán néhány cm-es emelésen múlik több °C-os védelem.

A vízhőmérsékleti modell (két különböző adatigényű verzió) alkalmas az árasztóvíz napi minimum- és maximumhőmérsékletének standard meteorológiai adatokból történő meghatározására. Mindkét változat beépíthető időjárás-növény modellekbe. A termelők az egyszerűbb verzióval, időjárás előrejelzések alapján becsülni tudják a vízhőmérséklet alakulását akár 5-10 nappal előre is, és ezt figyelembe vehető a vízkezelésnél.

Az árasztott és az árasztás nélküli rizsállomány légtere között az időjárástól függően jellemzően 1-3(4) °C különbség alakul ki az éjszaka folyamán. Empirikus modellemmel 0,5 °C-nál kisebb hibával becsülhető az eltérés mértéke.

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-ot. A különbség az éjszaka folyamán fokozatosan csökken, de mindvégig megmarad. A szárazrizsben az erősebb éjszakai lehűlések miatt nagyobb az esélye a hidegstressz miatt kialakuló bugasterilitásnak, mint árasztott állományban. A magyar fajták hidegtoleranciája olyan mértékű, hogy a steril-típusú hidegstressz általában nem a termést limitáló fő tényező.

A bemutatott eredmények közvetve (agronómiai kutatások alapjaként, időjárás-rizs szimulációs modellekbe beépítve), vagy közvetlenül felhasználhatók a rizstermesztés/nemesítés gyakorlatában.

10. SUMMARY

Agrometeorological aspects of Hungarian rice growing

Growing of rice (*Oryza sativa* L.) has a near 100-year-long tradition in Hungary. The rice production area reached its maximum of 50000 ha in the middle of 1950's following a very steep increase. After that time the sowing area decreased gradually - with fluctuations - to the today's 2000-2500 ha. The economic-political reasons played an important role in these huge changes. However, the climatic risks of Hungarian rice growing and its changing estimation have also played an important role in these changes.

The Hungarian rice fields are at the northern border of European rice growing areas. The temperature often becomes the main yield limiting factor, because of this marginal location according to the law of ecological minimum. This phenomenon can be especially well expressed if high level agrotechnology is applied when the other yield-factors are near optimal.

The aim of my research is to study various agrometeorological aspects of Hungarian rice production. The temperature (its temporal and spatial characteristics in rice canopies and its effect on rice) is the main field of my study, because of its overriding importance. Synthesizing the partial results I wanted to answer the following two questions:

- What is the level of yield-risk caused by low temperature in different parts of the vegetation period?
- How to minimize this yield-risk?

Our aim was to offer useful, new or newish information or methods for the stakeholders of rice cultivation even if they are only partial results.

Own experiment was carried out to study the emergence of rice. The emergence time was measured at different constant temperature values (in growth chamber), using optimal water supply and sowing depth of 2 cm.

The microclimatic study of rice fields was based also on own measurements. The measurements were conducted in representative flooded and non-flooded rice canopies in the vegetation period of 2005 and 2006 using 23 thermologgers. The temperature data were logged in the soil, water and air usually in every 10 minutes.

Thermal effect on flowering time was examined based on 9-year-long phenological data set of experiments of Irrigation Research Institute.

The analyses of weather-yield relationship needed a longer time series data (average rice yield in Bekes County from statistical records, meteorological data of Hungarian Meteorological Service, Szarvas Agrometeorological Observatory).

The daily temperature data from Szarvas (Hungarian Meteorological Service: 1976-2000, Tessedik Samuel College: 2001-2007) gave the possibility to calculate growing degree days and cooling degree days, to indicate climatic trends and to make statistical analysis of critical periods and to complex risk analysis with different sowing dates.

The main methods used in the research are: correlation- and regression analysis, analysis of variance, fits of special functions, calculations of describing statistics, model verifications. Most methods were used several times. The bilinear thermal time models and the dynamic-empirical model for water temperature - our most sophisticated tools - also have a methodological value.

Our important new (or newish) results with the conclusions are the following:

- A linear thermal time model describing emergence process was parameterized for five Hungarian rice cultivars. The base temperature varies between 9.8 and 10.9°C, the thermal time requirement is between 69 and 88°C d. The model can be applied simply for practical purposes.
- The reaction at 14-16°C is the key-factor of the emergence of rice. This temperature interval is recommended to compare emergence ability of rice varieties.
- Flowering time of an early flowering rice cultivar was successfully described with three different bilinear thermal time models. The optimal temperature of flowering (got as model parameter) is relatively low (23.5-24.1°C). Therefore, further research is needed to study unfavourable effects of high temperature in the future. The base temperature values in models (8.0-9.6°C) are lower than the generally admitted ones by Hungarian rice researchers and growers (12°C). This result hints to possibilities of various interpretations of base temperature.

- The construction of bilinear models shows a proper way how to create a sophisticated thermal time model valid for special species, cultivars, phenophases and ecological circumstances.
- The risks of unfavourably long emergence time were determined from phenological data in case of various sowing dates. According to these results the earliest sowing date recommended is usually 20 April. Sowing can be carried out maximum one week earlier if soil temperature is at least 15°C and a persisting warm weather period is forecasted.
- The flowering time of early flowering rice varieties is not later than the first decade of August (44% in the 1st decade of August, 56% in July) if sown in the middle of May. That is inside the optimal interval. Varieties with a 10-15 days later flowering time can be affected by an increased level of cold stress.
- Sowing of early varieties is not advised as early as 20 April, because in that case the flowering time would be before the most risky period (the beginning of July instead of the end of July). If rice can be sown early, it is advised to use a longer maturity cultivar.
- The maturity can be shifted too late in one of five years (20%) if early flowering rice cultivars are sown between 20 and 25 May. This level of risk is acceptable, because the problematic cases can be handled with some extra cost). For the late maturity type cultivars the latest acceptable sowing dates are between 5th and 10th of May. These are the latest sowing dates in case of direct sowing to the soil.
- The monthly average of air temperature and duration of sunshine have similar importance in determining the yield of rice. Yield is affected mostly by the weather of August, followed by weather of May and July. Differently from previous researches the weather of emergence period have been found more important and the weather of July less important. The yield loss is caused more by pests connected to cool, cloudy and foggy weather in August than by low temperature in the early reproductive stage of rice.
- The yield of rice correlates higher with the maximum temperature than with the minimum temperature. The calculations using „cooling degree days” did not show the effect of short-time cool periods on yield.
- The calculations based on 10 days average temperature resulted in detailed information about the effect of temperature on yield of rice. The periods with

significant effects are: middle of August (highest significance), end of April, middle and end of May and end of July.

- The temperature trends observed in the last 32 years hint that the warming in the spring and the cooling in the autumn happens more and more rapidly, and the vegetation period becomes warmer than before. As a result, the early and late sowing dates, and cultivars with longer vegetation period become more acceptable.
- At the time of the coolest period of the nights the flooding water has a 5°C advantage compared to the air, and it can protect the cold-sensitive developing panicle. In some cases (sensitive period of the rice, big temperature drop) the increase of water level is advised to reduce panicle sterility. A few centimetres increase sometimes can mean an extra protection of 2-5°C.
- A model has been constructed by the help of which it is possible to predict the daily maximum and minimum of temperature in flooding water of rice. Both versions of the model can be built in weather-rice models. The simple version is an effective tool for rice growers to calculate water temperature for the next 5-10 days using data of weather forecasts, and to help planning of water management.
- A difference of 1 to 3 (4)°C develops between air temperature in canopy of flooded and non-flooded rice at night time. Our empirical model is able to predict the difference with a standard error less than 0.5°C.
- The canopy of non-flooded rice can be much cooler than air at 2m already in the evening hours. The temperature difference can reach 6 to 9°C in cloudless, calm evenings. The difference decreases gradually during the night, but it remains constant.
- The risk of panicle sterility caused by low temperature is probably higher in non-flooded rice than in flooded rice, because the night temperatures are significantly lower in the non-flooded canopy. The cold tolerance of Hungarian rice cultivars is relatively high therefore the sterile type cold stress does not usually become the main yield-limiting factor. The agrotechnical problems often lead to such a huge yield loss, that the effect of cold stress can not be observed (in the case if it exists). However, in the future at a (hopefully) higher level of agrotechnology the importance of temperature will increase.

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. ADAMS, S.R - PEARSON, S. - HADLEY, P. (2001): Improving quantitative flowering models through a better understanding of the phases of photoperiod sensitivity. *Journal of Experimental Botany*. 52. 655-662.
2. ALI, M.G. - NAYLOR, R.E.L. - MATTHEWS, S. (2003): Effect of range of constant temperatures on germination of fifteen Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6. 12. 1070-1076.
3. ALI, M.G. - NAYLOR, R.E.L. - MATTHEWS, S. (2006): Distinguishing the effects of genotype and seed physiological age on low temperature tolerance of rice (*Oryza sativa* L.). *Experimental Agriculture*. 42. 337-349.
4. ANDÓ M. - VÁMOS R. (1959): A napfénytartam és a hőmérséklet szerepe a rizs barnulósos betegségében. *Időjárás*. 63. 298-304.
5. ANGUS, J.F.- ZANDSTRA, H.G. (1980): Climatic factors and the modelling of rice growth and yield. In: *Agrometeorology of the Rice Crop*. Ed. COWELL, R.L., IRRI, Manila, Philippines, 189-200.
6. ARNOLD, C.Y. (1959): The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 74. 430-445.
7. BACSÓ N. (1973): Bevezetés az agrometeorológiába. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, 330 p.
8. BAIER, W., 1977: Crop-weather models and their use in yield assessments. WMO Technical Note. 151. WMO No. 458. p.
9. BAKER, J.T. - PINTER, P.J. - REGINATO, R.J. - KANEMASU, E.T. (1986): Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agronomy Journal*. 78. 605-613.
10. BAKER, J.T. - REDDY, V.R. (2001): Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*. 87. 605-613.
11. BÁRÁNY I. (1971): Contribution to climatological study of rice-growing in the region of Szeged. *Acta Climatologia Szeged*. X. 1-4. 57-68.
12. BERÉNYI D. (1951): A rizs agrometeorológiája. In: *Mezőgazdasági meteorológia. Az agrometeorológiai ismeretek kézikönyve*. Szerk. AUJESZKY L. - BERÉNYI D. - BÉLL B., Akadémiai Kiadó, Budapest, 497-506.

13. BERÉNYI D. (1958): Az 1956. évben végzett agrometeorológiai kutatások eredményei. A rizs állományéghajlata. Kossuth L. Tud. Egyetem Meteorológiai Intézet Tudományos Közleményei. Debrecen, 4. sz.
14. BONHOMME, R. (2000): Bases and limits to using "degree.day" units. European Journal of Agronomy. 13. 1-10.
15. BOONJUNG, H. - FUKAI, S. (1996): Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. Field Crops Research. 48. 47-55.
16. BURBA, G.G. - VERMA, S.B. - KIM, J. (1999): Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. Agricultural and Forest Meteorology. 94. 31-51.
17. CATON, B. P. - FOIN, T. C. - GIBSON, K. D. - HILL, J. E. (1998): A temperature-based model of direct-, water-seeded rice (*Oryza sativa*) stand establishment in California. Agricultural and Forest Meteorology. 90. 91-102.
18. CESARRACCIO, C. - SPANO, D. - DUCE, P. - SNYDER, R.L. (2001): An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. International Journal of Biometeorology. 45. 161-169.
19. CHAPMAN, A.L. (1969): The thermal environment in clear and turbid water in the Darwin region of northern Australia in relation to the water seeding of rice. Agricultural Meteorology. 6. 231-243.
20. CHAUDHARY, T. N. - GHILDIAL, B. P. (1969): Germination response of rice seeds to constant and alternating temperatures. Agricultural Journal. 61. 328-330.
21. CHAUDHARY, T. N. - GHILDIAL, B. P. (1970): Influence of submerged soil temperature regimes on growth, yield and nutrient consumption of rice plant. Agricultural Journal. 62. 281-285.
22. COLA, G. - BOCCHI, S. - MARIANI, L. (2007): Modelling of water temperature in flooded rice. 4th International Temperate Rice Conference 2007. June 25-28, 2007. Novara, Italy, 28-29.
23. COLLINSON, S.T. - ELLIS, R.H. - SUMMERFIELD, R.J. - ROBERTS, E.H. (1995): Relative importance of air and floodwater temperatures on the development of rice (*Oryza sativa*). Experimental Agriculture. 31. 151-160.
24. COLLINSON, S.T. - ELLIS, R.H. - SUMMERFIELD, R.J. - ROBERTS, R.H. (1992): Durations of the photoperiod-sensitive and photoperiod-insensitive phases of

- development to flowering in four cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*. 70. 339-346.
25. CONFALONIERI, R. - ACUTIS, M. - DONATELLI, M. - GENOVESE, G. - MARIANI, L. - GUSBERTI, D. - TREVISIOL, P. - RODOLFI, M. - PICCO, A.M.-CERRANI, I. - BELLOCCHI, G. (2007): WARM a new model for paddy rice simulations. 4th International Temperate Rice Conference 2007. June 25-28, 2007. Novara, Italy, 126-127.
 26. CONFALONIERI, R. - MARIANI, L. - BOCCHI, S. (2005): Analysis and modelling of water and near water temperatures in flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Ecological Modelling* 183. 269-280.
 27. CONFALONIERI, R. - MARIANI, L. - FACCHETTI, M. - BOCCHI, S. (2002): Analysis of temperature profiles in flooded rice field: preliminary results. *International Rice Research Notes*. 27. 39-40.
 28. COUNCE, P.A. - KEISLING, T.C. - MITCHELL, A.J. (2000): A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*. 40. 436-443.
 29. DEGAETANO, A.T. - KNAPP, W.W. (1993): Standardization of weekly growing degree day accumulations based on differences in temperature observation time and method. *Agricultural and Forest Meteorology*. 66. 1-19.
 30. DINGKUHN, M. - SOW, A. - SAMB, A. - DIACK, S. - ASCH, F. (1995): Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel – I. Photothermal and micro-climatic responses of flowering. *Agricultural Systems*. 48. 385-410.
 31. DORKA D. (2005): Két hőösszeg-számítási módszer vizsgálata a kukoricatermesztésben. *Agrártudományi Közlemények*. 2005/16. Különszám. 156-159.
 32. DUNAY S. (1974): Rizs. In: *Agroklimatológia és Növénytermesztés*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 41-53.
 33. DUNKEL Z. - ZÁRBOCH Zs. (1980): Agrometeorológiai modellek alkalmazása a növény fejlődésének előrejelzésében. *Időjárás*. 84. 239-245.
 34. DUNKEL Z. (1984): Szántóföldi növények fejlődésének /tömeggyarapodásának/ dinamikus /szimulációs/ modellezése. *Beszámolók az 1981-ben végzett tudományos kutatásokról*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 269-284.
 35. DUNKEL Z. (1997): Az időjárás és a növényi produkció kapcsolata. In: *Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek*. Szerk. SZÁSZ G.- TÓKEI L., Mezőgazda Kiadó, Budapest, 563-598.

36. É. KISS I. - HADNAGY Á. (1965): Rizsfajták csírázásának vizsgálata különböző hőmérsékleten. Kísérletügyi Közlemények. Növénytermesztés. LVIII/A. 1. 91-98.
37. É. KISS I. (1980): A fajtaösszetétel és az éghajlati elemek hatása a hazai rizstermésátlagokra. Kandidátusi értekezés. Országos Mezőgazdasági Fajtakísérleti Intézet. Budapest, 141 p.
38. ELLIS, R.H. - BARRETT S. (1994): Alternating temperatures and rate of seed germination in lentil. *Annals of Botany*. 74. 519-524.
39. ELLIS, R.H. - QI, A. - SUMMERFIELD, R.J. - ROBERTS, E.H. (1993): Rate of leaf appearance and panicle development in rice (*Oryza sativa* L.): a comparison at three temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*. 66. 129-138.
40. FAO (1998): Crop evapotranspiration – guidelines for computing water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy, 300 p.
41. FARREL, T.C. - FOX, K.M. - WILLIAMS, R.L. - FUKAI, S. (2006a): Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: screening with cold air and cold water. *Field Crops Research*. 98. 178-194.
42. FARRELL, T.C. - FUKAI, S. - WILLIAMS, R.L. (2006b): Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes. I. Avoiding low temperature with the use of appropriate sowing time and photoperiod-sensitive varieties. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57. 1. 75-88.
43. FUKAI, S. - PANTUWAN, G. - JONGDEE, B. - COOPER, M. (1999): Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*. 64. 61-74.
44. FUKAI, S. (1999): Phenology in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*. 64. 51-60.
45. GAL, G. - IMBERGER, J. - ZOHARY, T. - ANTENUCCI, J. - ANIS, A. - ROSENBERG, T. (2003): Simulating the thermal dynamics of Lake Kinneret. *Ecological Modelling*. 162. 69-86.
46. GAO, L.Z. - JIN, Z.Q. - HUANG, Y. - ZHANG, L.Z. (1992): Rice clock model - a computer simulation model of rice development. *Agricultural and Forest Meteorology*. 60. 1-16.
47. GARCIA-HUIDOBRO, J. - MONTEITH, J.L. - SQUIRE, G.R. (1982): Time, temperature, and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). I. Constant temperature. *Journal of Experimental Botany*. 33. 288-296.

48. GEIGER, R. (1961): *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 611 p.
49. GILMORE, E.C. - ROGERS, J.S. (1958): Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*. 50. 611-615.
50. GODWIN, D.C. - MEYER, W.S. - SINGH, U. (1994): Simulation of the effect of chilling injury and nitrogen supply on floret fertility and yield in rice. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34. 7. 921-926.
51. GOUDRIAAN, J. (1977): *Crop meteorology: a simulation study*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands, 249 p.
52. GRIMM, S.S. - JONES, J.W. - BOOTE, K.J. - HESKETH, J.D. (1993): Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. *Crop Science*. 33. 137-144.
53. GUNAWARDENA, T.A. - FUKAI, S. - BLAMEY, F.P.C. (2003a): Low temperature induced spikelet sterility in rice. II. Effects of panicle and root temperatures. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54. 10. 947-956.
54. GUNAWARDENA, T.A. - FUKAI, S. - BLAMEY, F.P.C. (2003b): Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilisation and sensitive reproductive period. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54. 10. 937-946.
55. GUNAWARDENA, T.A. - FUKAI, S. (2005): The interaction of nitrogen application and temperature during reproductive stage on spikelet sterility in field-grown rice. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56. 6. 625-636.
56. GYULAY I. - KÁLLAY K. (1948): *A rizstermesztés gyakorlati kézikönyve*.
57. HANIU, Y. - CHUJO, H. - YOSHIDA, S. (1983): Effect of air temperature on floral induction by short day in rice plants. (angol nyelvű absztrakt). *Japanese Journal of Crop Science*. 52. 135-142.
58. HAYASE, H. - SATAKE, T. - NISHIYAMA, I. - ITO, N. (1969): Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. II. The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils. *Proceedings of Crop Science Society of Japan*. 38. 706-711.
59. HEGARTY, T.W. (1973): Temperature relations of germination in the field. In: *Seed ecology*. Ed. HEYDECKER, W., Butterworths, London, 411-432.
60. HIMEDA, M. (1973): Studies on the winter-sowing method in direct sowing culture of rice – Survival of rice seeds in soil under low temperature conditions. *J Cent. Agric. Exp. Stn*. 18. 1-70.

61. ICHIMURA, K. - YAMAMOTO, Y. - NAKAYAMA, K. (1965): The influence of rice cover on the diurnal range of water temperature in the paddy fields (in Japanese, English summary). Japanese Agricultural Meteorology. 20. 155-159.
62. IPSITS CS. (1993): Esőztető öntözéssel termesztett rizs agronómiai és morfológiai sajátosságainak vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Budapest, 118 p.
63. IRRI, 2002: Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth, 3rd ed. CABI publishing, Oxon, UK, 253 p.
64. ISHIZUKA, Y. - SHIMAZAKI, Y. - TANAKA, T. - SATAKE, T. - NAKAYAMA, T. (1973): Rice growing in a cool environment. Food and Fertilizer Technology Center, ASPAC, Taipei, 98 p.
65. JACOBS, A.F.G. - JETTEN, T.H. - LUCASSEN, D.C. - HEUSINKVELD, B.G. - NIEVEEN, J.P. (1997): Diurnal temperature fluctuations in a natural shallow water body. Agricultural and Forest Meteorology. 88. 269-277.
66. KEATING, B.A. - EVENSON, J.P. (1979): Effect of soil temperature on sprouting and sprout elongation of stem cuttings of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Field Crops Research. 2. 241-251.
67. KETRING, D.L. - WHELESS, T.G. (1989): Thermal time requirements for phenological development of peanut. Agronomy Journal. 81. 910-917.
68. KIRBY, E.J.M. (1995): Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. Crop Science. 35. 11-19.
69. KISS I. (1959): A rizs barnulásos betegségének (bruzone) problémája és az időjárás. Időjárás. 63. 167-172.
70. KRASZNAY A. - REICHENBACH B. (1935): A varsányhelyi rizstelep ismertetése. Vízügyi közlemények. 17. 3. 520-526.
71. LAJTOS J. (1967): A fajta, mint a rizstermesztés tényezője. Öntözéses Gazdálkodás. 5. 2. 23-37.
72. LEE, H. S. - TAGUCHI, K. (1969): Studies on the germinability of rice seeds at low temperature. 1. The varietal differences and the effects of growing conditions of parent plants on the germinability of rice seeds at low temperature (in Japanese, English summary). J. Fac. Agric. Hokkaido Univ. 7. 63-71.
73. LILLEY, J.M. - FUKAI, S. (1994): Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. Field Crops Research. 37. 225-234.

74. LIU, D.L. - KINGSTON, G. - BULL, T.A. (1998): A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. *Agricultural and Forest Meteorology*. 90. 119-139.
75. LIVINGSTON, B.E. - HAASIS, F.W. (1933): Relations of time and maintained temperature to germination percentage for a lot of rice seed. *American Journal of Botany*. 20. 596-615.
76. MAJOR, D.J. - KINIRY, J.R. (1991): Predicting daylength effects on phenological processes. In: *Predicting crop phenology*. Ed. HODGES, T., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 15-28.
77. MAMUN, E.A. - S. ALFRED, S. - CANTRILL, L.C. - OVERALL, R.L. - SUTTON, B.G. (2006): Effects of chilling on male gametophyte development in rice. *Cell Biology International* 30. 583-591.
78. MARIANI, L. - DONATELLI, M. - CONFALONIERI, R. - ACUTIS, M. - COLA, G. (2007): TRIS_DLL and TRIS_NET: two software components for simulating the floodwater effect on vertical thermal profile in paddy fields. 4th International Temperate Rice Conference 2007. June 25-28, 2007. Novara, Italy, 128-129.
79. MCMASTER, G.S. - SMIKA, D.E. (1988): Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*. 43. 1-18.
80. MCMASTER, G.S. - WILHELM, W.W. (1997): Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 87. 291-300.
81. MEDERSKI, H.J. - MILLER, M.E. - WEAVER, C.R. (1973): Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agronomy Journal*. 65. 743-747.
82. MONSI, M. - SAEKI, T. (1953): Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*. 14. 22-52.
83. NAKAGAWA, H. - HORIE, T. (1997): Phenology determination in rice. In: *Breeding strategies for rainfed lowland rice in drought-prone environments*. Proceedings of International Workshop, Ubon Ratchathani, Thailand, 5-8 November, 1996. ACIAR, Canberra, 81-88.

84. NARWAL, S.S. - POONIA, S. - SINGH, G. - MALIK, D.S. (1986): Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*. 38. 47-57.
85. NISHIYAMA, I. (1976): Effects of temperature on the vegetative growth of rice plants. In: *Climate and rice*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 159-185.
86. NISHIYAMA, I. (1984): Climatic influence on pollen formation and fertilization. In: TSUNODA, S. - TAKAHASHI, N. (Ed.) *Biology of rice*. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, 1984. 153-171.
87. NISHIYAMA, I. (1997): Cool weather damage of the rice plant. Asian paddy fields: Their environment, historical, cultural and economic aspects under various physical conditions. *Science Commission on Problems of the Environment (SCOPE)*, ICUS, 59-69.
88. OBERMAYER E. - SOMORJAI F. (1937): A hazai rizstermesztés feltételei és kilátásai. *Köztelek*. 47. 394-396.
89. OBERMAYER E. (1940): A hazai rizstermesztés kilátásai a legújabb kísérletek és tapasztalatok alapján. *Mezőgazdasági Közlöny*. 13. 2. 1-8.
90. OKE, T.R. (1978): *Boundary Layer Climates*. Methuen&Co., London, 370 p.
91. ORMROD, D.P. - BRUNTER, W.A. (1961): The evaluation of rice varieties for cold water tolerance. *Agricultural Journal*. 53. 133-134.
92. PÉCZELY GY. (1984): *A Föld éghajlata*. Tankönyvkiadó, Budapest, 598 p.
93. PETRASOVITS I. (1958): A rizs különböző mélységű árasztóvizének hőmérsékleti hatásáról. *Időjárás*. 62: 95-107.
94. POLGÁR, S. (1961): A rizs helyes vízellátása nyárvégi lehűlések esetén. *Debreceni Mezőgazdasági Akadémia Gyakorlati Szaktanácsadója* 3. 43-49.
95. PURCELL, L.C. (2003): Comparison of thermal units derived from daily and hourly temperatures. *Crop Science*. 43. 1874-1879.
96. RAISSAC, M. - AUDEBERT, A. - ROQUES, S. - BOLOMIER, J. (2004): Competition between plants affects phenology in rice cultivars. 4th International Crop Science Congress. 2004-09-26/2004-10-01, Brisbane, Australia.
[www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au)
97. RITCHIE, J.T. - NESMITH, D.S. (1991): Temperature and crop development. In: *Modeling plant and soil systems*. Ed: HANKS, J.-RITCHIE, J.T., American Society of Agronomy. Monograph. 31. Madison, Wisconsin, USA, 5-29.

98. ROEL, A.- MUTTERS, R.J.- ECKERT, J.W.- PLANT, R.E. (2005): Effect of low water temperature on rice yield in California. *Agronomy Journal* 97. 943-948.
99. RUSSELLE, M.P. - WILHELM, W.W. - OLSON, R.A. - POWER, J.F. (1984): Growth analysis based on degree days. *Crop Science*. 24. 28-32.
100. SASAKI, K. - WADA, S. (1973): Varietal differences in cold tolerance at different stages of panicle development in rice. *Hokuno, Tokyo*, 40. 8. 7-14.
101. SATAKE, T. (1976) Sterile-type cool injury in paddy rice plants. In: *Climate and Rice*. International Rice Research Institute, Manila, 281-300.
102. SCOTT, S. J. - JONES, R. A. - WILLIAMS, W. A. (1984): Reveiw of data analyses methods for seed germination. *Crop Science*. 24. 1192-1199.
103. SHAYKEWICH, C.F. (1995): An appraisal of cereal crop phenology modelling. *Canadian Journal of Plant Science*. 75. 329-341.
104. SHIBATA, M. - SASAKI, K. - SHIMAZAKI, Y. (1970): Effects of air-temperature and water-temperature at each stage of the growth of lowland rice: I. Effect of air-temperature and water-temperature on the percentage of sterile grains. (In Japanese, with English abstract.) *Proceedings of Crop Science Society of Japan*. 39. 401-408.
105. SHIMONO, H. - HASEGAWA, T. - KUWAGATA, T. - IWAMA, K. (2007a): Modeling the effects of water temperature on rice growth and yield under a cool climate: II. Model application. *Agronomy Journal*. 99. 1338-1344.
106. SHIMONO, H. - HASEGAWA, T. - MORIYAMA, M. - FUJIMURA, S. - NAGATA, T. (2005): Modeling spikelet sterility induced by low temperature in rice. *Agronomy Journal*. 97. 1524-1536.
107. SHIMONO, H. - OKADA, M. - KANDA, E. - ARAKAWA, I. (2007b): Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Research*. 101. 221-231.
108. SIE, M. - DINGKUHN, M. - WOPEREIS, M.C.S. - MIEZAN, K.M. (1998a): Rice crop duration and leaf appearance rate in a variable thermal environment. I. Development of an empirically based model. *Field Crops Research*. 57. 1-13.
109. SIE, M. - DINGKUHN, M. - WOPEREIS, M.C.S.- MIEZAN, K.M. (1998b): Rice crop duration and leaf appearance rate in a variable thermal environment. II. Comparison of genotypes. *Field Crops Research*. 58. 129-140.
110. SIMONNÉ K. I. (1962): A rizs fejlődésének tanulmányozása tenyésztése alatt. *Kísérletügyi Közlemények. Növénytermesztés* 3. LIV/A. 3-23.

111. SIMONNÉ K. I. (1979): A hazai rizstermesztés problémái. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Agroiinform, Budapest, 36 p.
112. SIMONNÉ K. I. (1983): A rizs termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 293 p.
113. SNYDER, R. L. - SPANO, D. - CESARACCIO, C. - DUCE, P. (1999): Determining degree-day thresholds from field observations. *International Journal of Biometeorology*. 42. 177-182.
114. SOLTANI, A. - ROBERTSON, M. J. - TORABI, B. - TOUSEFI-DIAZ, M. - SARPARAST, R. (2006): Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 138. 156-167.
115. STEINMAUS, S. J. - PRATHER, T. S. - HOLT, J. S. (2000): Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany* 51. 275-286.
116. SUMMERFIELD, R.J. - COLLINSON, S.T. - ELLIS, R.H. - ROBERTS, E.H. - PENNING DE VRIES, F.W.T. (1992): Photothermal responses of flowering in rice (*Oryza sativa*). *Annals of Botany*. 69. 101-112.
117. SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 557 p.
118. SWANSON, S.P. - WILHELM, W.W. (1996): Planting date and residue rate effects on growth, partitioning, and yield of corn. *Agronomy Journal*. 88. 205-210.
119. SZABÓ L. (1924): Újabb tapasztalatok a hazai rizstermesztés köréből. *Köztelek*. 35. 213-229.
120. SZÁSZ G. (1961): A rizs termesztésének időjárási feltételei a fő termőterületeken. *Növénytermelés*. 10, 193-206.
121. SZÁSZ G. (1988): Agrometeorológia általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 458 p.
122. SZÁSZ G. (1997a): A növényfenológia alapjai. In: Meteorológia mezőgazdák, kertészeknek, erdészeknek. Szerk. SZÁSZ G.- TÓKEI L., Mezőgazda Kiadó, Budapest, 351-375.
123. SZÁSZ G. (1997b): Szántóföldi növényállományok mikroklímája. In: Meteorológia mezőgazdák, kertészeknek, erdészeknek. Szerk. SZÁSZ G.- TÓKEI L., Mezőgazda Kiadó, Budapest, 489-502.

124. SZÁSZ G. (1997c): A mikroklimatológia alapjai. In: Meteorológia mezőgazdák-
nak, kertészeknek, erdészeknek. Szerk. SZÁSZ G.- TŐKEI L., Mezőgazda Kiadó,
Budapest, 264-341.
125. SZÁSZ G. (1997d): A víz a talajban, a légkörben és a növényben. In: Meteoroló-
gia mezőgazdák-
nak, kertészeknek, erdészeknek. Szerk. SZÁSZ G.- TŐKEI L., Me-
zőgazda Kiadó, Budapest, 111-184.
126. SZELENYI F. - FRANK M. (1940): Az éghajlat és az időjárás szerepe a rizster-
mesztés terén. Öntözésügyi közlemények. 2. 2. 247-259.
127. TOLLENAAR, M. - DAYNARD, T.B. - HUNTER, R.B. (1979): Effects of
temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. Crop Science. 19.
363-366.
128. TORIYAMA, K. - SAKAMOTO, S. - IWASHITA, T. - HSU, C.S. (1969):
Heading characteristics of japonica varieties planted at the places of different
latitudes. Bulletin of Chugoku Agricultural Experimental Station. Ser. A. 17. 1-16.
129. TSUDA, M. - TAKAMI, S. (1991): Changes of heading time and panicle weight
in rice subjected to water stress during the early stage of panicle development.
Japanese Journal of Crop Science. 60. 241-246.
130. TYAGI, N.K. - SHARMA, D.K. - LUTHRA, S.K. (2000): Determination of
evaporation and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural
Water Management. 45. 41-54.
131. UCHIJIMA, Z. (1959): A physico-climatological study of the water temperature
in the paddy field. (in Japanese, English summary). Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. A. 7.
131-181.
132. UCHIJIMA, Z. (1976): Microclimate of the rice crop. In: Climate and Rice.
International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 115-140.
133. VARGA-HASZONITS Z. - TÓTH R. (1990): A cukorrépa terméshozama és az
időjárás közötti alapösszefüggések. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos ku-
tatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 45-57.
134. VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. - LANTOS ZS. - ENZSÖLNÉ
GERENCSÉR E. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák.
Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mo-
sonmagyaróvár, 410 p.

135. VARGA-HASZONITS Z. (1986): A multiplikatív időjárás-termés modellek elvi-módszertani alapja. Beszámolók az 1983-ban végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 155-164.
136. VARGA-HASZONITS Z. (1987a): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 248 p.
137. VARGA-HASZONITS Z. (1987b): Az időjárás-növény modellek elvi-módszertani kérdései. Időjárás. 91. 2-3. 176-186.
138. WAGNER R. (1957): Adatok a kopáncsi rizsföldek éghajlatához. Időjárás 61. 266-277.
139. WAGNER R. (1958): A mikroklíma hatása a rizs megbetegedésére. MTA Agrártud. Osztályának Közleményei. 14. 234-242.
140. WAGNER, R. (1966): Die temperature des bodens, des Wassers und der Luft in Kopáncs. II. Acta Climatologica VI. 1-4. 1-51.
141. WANG, Y.Y. (1960): A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology. 41. 785-790.
142. WARRINGTON, I.J. - KANEMASU, E.T. (1983a): Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis.. Agronomy Journal. 75. 755-761.
143. WARRINGTON, I.J. - KANEMASU, E.T. (1983b): Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. Agronomy Journal. 75. 749-754.
144. WEISS, A. - HAYS, C.J. (2005): Calculating daily mean air temperatures by different methods: implications from a non-linear algorithm. Agricultural and Forest Meteorology. 128. 57-65.
145. WIESE, A. M. - BINNING, L. K. (1987): Calculating the threshold temperature of development for weeds. Weed Science. 35. 177-179.
146. WILLIAMS, R.L. - ANGUS, J.F. (1994): Deep floodwater protects high-nitrogen rice crops from low-temperature damage. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34. 7. 927-932.
147. WONPRASAI, S. - KHUNTHASUVON, S. - SITTISUANG, P. - FUKAI, S. (1996): Performance of contrasting rice cultivars selected for rainfed lowland conditions in relation to soil fertility and water availability. Field Crops Research. 47. 267-275.

148. YANG, S. - LOGAN, J. - COFFEY, D.L. (1995): Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*. 74. 61-74.
149. YIN, X. - KROPFF, M.J. - ELLIS, R.H. (1996): Rice flowering in response to diurnal temperature amplitude. *Field Crops Research*. 48. 1-9.
150. YIN, X. - KROPFF, M.J. - HORIE, T. - NAKAGAWA, H. - CENTENO, H.G.S. - ZHU, D. - GOUDRIAAN, J. (1997a): A model for photothermal responses of flowering in rice. I. Model description and parameterization. *Field Crops Research*. 51. 189-200.
151. YIN, X. - KROPFF, M.J. - MCLAREN, G - VISPERAS, R.M. (1995): A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 77. 1-16.
152. YIN, X. - KROPFF, M.J. - YNALVEZ, M.A. (1997c): Photoperiodically sensitive and insensitive phases of preflowering development in rice. *Crop Science*. 37. 182-190.
153. YIN, X. - KROPFF, M.J. (1996): The effect of temperature on leaf appearance in rice. *Annals of Botany*. 77. 203-213.
154. YIN, X.- KROPFF, M.J.- GOUDRIAAN, J. (1997b): Changes in thermal sensitivity of development from sowing to flowering in rice. *Crop Science*. 37. 1787-1794.
155. YOSHIDA, S. (1981): Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philipines, 269 p.
156. ZAHORÁN P. (1929): Rizstermesztési kísérletek Békéscsabán. *Köztelek*. 39. 485-486.
157. ZHANG, Z. - NAKAMURA, T. - NISHIYAMA, I. (2001): Effects of the amount and activity of roots on the cool-weather resistance in rice plants. (in Japanese, with English abstract). *Japanese Journal of Crop Science*. 70. 84-91.

1. melléklet.

A kísérletek és mérések helyszíne



2. melléklet.

Napi léghőmérsékleti és csapadék adatok 2005 és 2006 tenyészidőszakában a „száraz-rizs” kísérlet helyén (Mezőtúr külterülete, Stevenson f. hőmérőház - 2m, HOBO U-002)

	2005				2006			
	átlag	min	max	csap.	átlag	min	max	csap.
ápr. 1.	5,4	0,4	11,2		12,7	5,9	18,8	0,7
2	6,8	0,8	13,9		13,3	9,2	19,2	
3	8,8	0,6	16,5		12,6	7,1	18,2	5,4
4	10,7	1,9	18,3		9,0	8,2	13,0	
5	10,5	3,3	18,3		10,2	2,8	14,5	
6	12,4	3,9	20,9		6,9	4,8	13,2	
7	14,1	5,0	22,1		6,9	3,2	10,7	
8	14,4	7,7	22,0		8,8	2,4	14,0	
9	13,7	7,5	20,6		10,9	4,3	16,3	
10	10,7	7,6	12,4	3,5	14,2	7,6	20,8	
11	8,4	6,3	10,3		12,2	10,7	16,1	3,0
12	10,7	7,2	15,3		7,6	6,3	13,5	
13	13,3	5,7	19,7	16,5	7,1	5,9	9,4	
14	14,5	11,3	19,2	27,7	10,3	4,9	16,0	4,1
15	14,9	10,8	21,1		12,2	6,4	17,7	
16	15,5	9,7	21,1	21,7	14,0	10,5	19,0	
17	15,8	10,9	23,7		13,2	8,1	18,1	
18	11,5	10,6	12,2	5,4	13,9	7,0	19,3	
19	12,5	9,9	17,0	2,9	15,2	11,7	20,1	0,6
20	11,0	8,4	13,6	4,5	13,4	11,6	17,3	18,5
21	6,2	3,6	9,1		13,5	11,7	17,2	
22	6,0	1,6	10,7		14,5	8,8	20,2	
23	9,5	3,9	15,7		16,8	10,2	22,7	
24	12,8	5,5	19,8	0,1	17,8	11,0	24,6	
25	13,7	11,0	18,8		18,4	11,3	24,6	
26	12,5	10,6	14,7	6,4	17,8	10,1	24,4	
27	13,8	8,9	20,3	11,7	17,9	11,9	24,4	
28	13,2	8,5	17,6	5,0	16,4	13,8	19,9	
29	11,4	6,0	16,6		14,7	12,0	18,6	
30	12,4	7,0	18,0		14,0	8,1	18,3	
máj. 1.	14,9	6,3	21,9		12,4	10,8	16,1	5,1
2	18,9	9,7	26,9		13,5	10,7	16,0	1,9
3	21,4	13,5	28,9		14,1	11,0	18,1	5,4
4	18,1	13,3	21,8		13,9	9,4	18,5	
5	15,7	10,0	21,3		14,5	7,9	20,9	
6	14,5	10,7	18,8	1,6	11,8	8,0	16,6	1,8
7	14,5	10,7	18,8	1,0	13,5	7,5	18,0	
8	9,4	5,3	14,4	0,5	13,5	10,6	18,4	4,0
9	10,2	4,0	16,0		14,7	7,3	21,5	6,0
10	11,9	4,4	18,0	0,8	14,0	7,8	21,0	
11	11,6	9,2	16,3	3,8	13,8	10,2	18,8	
12	11,2	4,6	17,5		16,2	7,9	23,0	
13	12,2	3,3	18,5		18,0	10,7	24,0	
14	15,9	6,1	22,2		17,5	13,4	23,5	
15	16,7	14,8	19,9		16,6	11,0	21,2	

	2005				2006			
	átlag	min	max	csap.	átlag	min	max	csap.
máj. 16.	17,8	12,3	24,0		19,5	12,6	24,8	
17	18,3	13,4	24,2		16,6	13,7	21,6	0,6
18	17,1	14,6	23,0	25,7	18,2	9,8	24,5	
19	11,9	10,3	15,5		18,4	15,7	23,4	
20	12,2	5,5	16,9		18,6	13,6	23,5	
21	15,8	8,6	22,0		17,3	16,2	20,2	
22	18,0	11,7	23,3		21,0	13,4	27,7	
23	20,4	11,9	27,6		23,0	16,6	29,3	5,1
24	20,0	15,6	25,1		17,5	15,5	23,8	
25	17,3	13,7	21,8		16,0	10,8	20,9	
26	19,9	11,9	26,9		17,2	13,8	21,6	4,6
27	22,8	15,5	29,2		17,6	13,6	22,3	3,7
28	24,2	16,3	30,3		16,5	14,4	20,7	0,5
29	25,2	17,2	31,8		14,8	12,5	17,7	5,6
30	25,4	18,2	32,1		11,8	11,0	14,5	8,6
31	21,6	18,6	26,6		11,7	8,9	16,9	1,4
jún. 1.	16,7	11,9	21,4		13,1	5,6	18,3	1,0
2	16,0	9,2	21,8		11,5	10,2	15,0	11,8
3	18,7	10,0	24,9		13,2	10,4	16,7	26,2
4	21,3	13,8	27,9		11,9	11,5	13,1	13,5
5	17,5	14,8	24,1		12,0	7,9	16,4	
6	18,2	12,1	24,6		13,9	6,7	19,2	1,1
7	16,4	10,4	23,2		13,6	11,2	16,1	3,4
8	11,6	10,0	15,6	30,1	13,2	10,5	17,3	3,2
9	9,8	9,0	12,1	20,0	16,3	9,2	21,4	1,0
10	10,5	8,0	13,5	0,8	11,8	9,7	17,5	14,7
11	13,6	8,5	19,1	0,3	16,3	9,6	22,4	
12	16,5	10,6	21,7		19,1	12,3	24,2	
13	19,4	12,5	25,5		18,3	12,7	23,4	
14	21,3	14,9	27,4		17,0	10,9	22,6	0,8
15	22,9	15,7	28,2		19,0	10,7	25,1	
16	23,2	16,6	29,6		22,9	15,5	29,3	
17	22,8	17,0	28,1		24,1	17,1	29,8	
18	21,8	17,0	27,3		23,8	19,1	29,5	4,9
19	18,5	11,4	24,4		25,4	19,4	31,1	
20	20,3	14,3	25,3		24,3	19,8	31,1	1,1
21	20,7	15,8	25,3		24,3	17,8	29,7	
22	21,8	13,9	28,0		24,5	20,4	30,4	9,8
23	20,6	16,3	25,4		22,1	18,1	28,2	24,5
24	19,7	11,1	26,1		22,8	17,6	27,9	
25	22,1	13,5	29,2		25,1	18,6	30,5	
26	23,4	16,1	31,2	17,6	26,9	21,0	32,4	
27	22,0	18,1	26,3		28,0	22,0	33,2	2,5
28	22,6	15,5	29,3		24,5	19,8	29,7	
29	23,8	17,3	30,5		23,1	19,9	30,8	5,2
30	22,1	19,3	26,0	0,5	19,5	17,6	23,7	8,7

	2005				2006			
	átlag	min	max	csap.	átlag	min	max	csap.
júl. 1.	22,0	16,0	27,3	24,3	19,9	15,6	24,7	6,6
2	17,7	16,3	24,1	19,0	19,5	16,0	23,3	1,0
3	18,6	15,6	23,8		20,0	16,7	23,7	
4	20,4	12,6	26,9		20,3	15,5	25,7	
5	21,8	15,0	27,9		22,1	14,1	28,4	0,5
6	17,2	12,2	23,5		23,8	15,8	30,0	
7	18,7	13,2	25,0		24,6	18,2	30,7	
8	20,5	14,5	26,2	6,2	24,7	18,0	30,7	
9	20,7	16,1	26,1		23,6	18,6	30,9	
10	20,1	16,0	24,8		24,0	16,4	30,5	
11	17,8	16,5	22,1	37,1	24,6	16,5	31,0	
12	17,5	15,9	20,3	4,3	24,1	16,9	30,9	
13	19,5	15,6	25,1		24,2	16,5	30,5	
14	20,8	14,0	27,1		24,4	17,5	30,3	
15	21,6	14,2	28,5		22,1	19,3	26,1	
16	23,5	17,0	29,3		19,3	15,0	23,2	
17	23,1	18,5	29,0		20,3	15,8	25,4	
18	23,8	15,3	30,4		22,0	12,8	28,8	
19	23,0	20,7	27,1		25,2	16,8	31,9	
20	21,4	16,6	26,5		26,3	18,0	33,8	
21	18,4	15,6	22,3		27,2	18,6	34,1	
22	19,9	13,3	27,1		26,1	20,8	34,7	4,9
23	17,4	16,0	21,1		25,7	19,5	32,0	
24	19,1	13,8	24,9	3,9	24,5	20,5	31,8	
25	21,8	14,7	28,3		26,0	18,6	32,8	
26	23,5	16,0	31,3		26,4	19,4	33,0	
27	25,1	18,3	31,7		26,2	19,2	33,2	
28	27,3	20,2	33,4		26,6	19,7	33,3	
29	28,1	21,5	34,6		25,9	19,4	33,7	26,5
30	27,9	21,4	35,1		22,0	18,0	26,9	
31	28,3	20,7	34,9		24,6	18,7	31,0	
aug. 1.	25,2	20,3	31,0		23,9	17,4	32,0	15,9
2	25,0	18,8	31,4		20,2	18,0	25,4	
3	25,4	19,5	31,2	36,5	19,2	14,7	22,4	15,8
4	19,7	17,9	27,6	35,1	18,4	17,7	20,5	1,9
5	16,6	14,8	19,1	2,0	16,9	13,9	21,8	
6	18,8	14,3	24,5		17,9	13,3	22,4	0,2
7	16,8	12,4	20,7	1,5	18,3	15,9	22,7	2,4
8	14,0	12,4	17,5		18,5	15,4	23,7	
9	15,9	9,5	22,1		18,4	14,4	23,8	5,6
10	19,4	12,4	25,6	5,1	19,5	15,7	24,2	
11	20,0	14,4	26,0		19,4	16,1	24,0	
12	19,9	16,4	24,9		18,1	14,0	22,1	8,9
13	20,5	14,5	26,1		18,1	16,0	21,1	8,4
14	19,3	13,2	25,9		18,9	15,4	23,8	
15	18,4	13,3	25,2	25,3	19,4	15,9	24,3	

	2005				2006			
	átlag	min	max	csap.	átlag	min	max	csap.
aug. 16.	16,1	15,0	17,5	43,3	21,3	15,2	27,8	
17	17,7	15,0	21,4	6,5	23,6	16,1	31,0	
18	19,8	16,9	24,2	5,0	24,7	18,7	31,2	
19	20,2	16,8	24,3	2,7	24,8	18,6	31,2	
20	21,3	17,1	26,1		25,3	20,2	31,9	1,4
21	20,9	17,4	25,3		20,0	16,5	24,8	
22	18,0	16,6	21,9	8,7	18,6	12,8	24,6	
23	18,9	17,1	22,7	7,6	17,9	12,2	23,9	
24	18,1	16,1	21,7		19,7	12,0	26,4	
25	19,4	15,0	25,3	0,2	19,3	14,7	24,4	
26	19,9	16,0	25,2	1,9	18,5	13,6	25,1	
27	20,2	17,0	24,8	0,4	19,1	12,1	25,9	3,0
28	20,3	18,0	24,2		16,3	14,2	20,6	10,9
29	20,7	17,5	25,1		14,6	12,7	19,3	10,8
30	21,5	16,0	26,9		13,2	11,3	15,6	
31	22,6	17,3	27,8		13,9	11,2	18,1	1,4
szept. 1.	21,5	17,0	27,0		15,3	9,5	21,2	
2	18,6	12,9	24,2		18,1	11,5	25,1	
3	17,6	11,0	23,8		20,0	13,0	25,2	
4	17,4	11,9	23,7		23,0	18,7	28,4	
5	18,4	11,6	25,6		19,9	16,0	25,4	
6	18,5	11,9	25,0		17,7	10,1	24,7	
7	19,2	11,7	26,3		19,6	11,5	27,3	
8	20,2	13,8	27,6		16,8	13,2	24,6	3,8
9	20,8	13,9	28,4		15,3	9,3	21,7	
10	21,3	15,5	27,6	15,7	15,7	8,0	22,9	
11	19,8	17,6	24,5	1,5	16,1	7,3	24,8	
12	21,4	16,3	27,3		16,7	9,5	24,8	
13	21,0	15,8	27,7		17,7	9,8	25,8	
14	19,1	15,6	24,4		19,1	12,1	26,6	
15	17,2	11,6	23,0		18,7	12,8	26,4	
16	18,3	13,8	24,3		19,4	13,5	25,2	
17	17,8	13,8	25,4		19,7	16,3	24,2	
18	12,4	10,3	15,1		19,3	16,2	23,9	
19	12,1	11,3	12,9	2,0	17,0	15,7	19,4	3,0
20	12,7	11,6	13,6	1,3	17,8	16,0	22,4	2,2
21	14,6	11,5	17,9	17,5	17,5	11,9	24,0	
22	14,2	10,5	19,2	2,0	16,1	10,2	22,1	
23	13,9	10,1	20,2		16,7	8,7	24,1	
24	14,9	8,5	20,0		17,0	9,1	25,0	
25	16,9	14,6	20,1		18,0	9,8	25,7	
26	17,6	13,7	23,1		18,3	9,9	26,1	
27	17,8	14,1	24,1		17,8	12,0	25,6	
28	16,4	12,4	23,1		16,6	11,3	22,6	
29	15,8	10,7	20,4	6,4	17,1	8,9	25,6	
30	12,5	11,1	16,5	0,5	17,6	10,6	25,7	

	2005				2006			
	átlag	min	max	csap.	átlag	min	max	csap.
okt. 1.	11,1	9,6	12,4	0,4	18,3	12,0	26,1	
2	13,6	11,1	17,7		18,7	12,6	25,4	
3	15,0	10,6	20,7		21,2	15,7	26,7	
4	17,3	12,8	23,4		18,4	14,3	25,1	
5	15,7	10,4	22,6		13,6	12,8	17,2	18,9
6	14,3	7,8	21,7		12,5	7,5	19,0	
7	13,5	7,8	20,3		12,7	6,0	21,0	
8	12,0	6,3	18,6		12,8	7,2	19,5	
9	13,0	6,5	20,3		12,3	5,3	20,0	
10	12,5	5,6	19,9		13,5	5,9	21,5	
11	11,4	5,2	17,6		13,5	6,0	21,6	
12	10,6	3,2	18,1		13,6	7,9	19,9	
13	10,4	5,2	17,1		13,1	7,9	19,6	
14	9,7	5,8	16,3	0,3	12,4	7,3	19,9	
15	8,9	2,0	16,0		10,5	3,9	16,6	
16	8,7	5,3	13,2		9,5	7,2	14,1	
17	7,0	2,0	11,7		6,2	1,4	12,9	
18	7,2	1,8	13,7		7,2	-2,5	16,0	
19	7,5	4,7	12,9		7,9	0,6	16,7	
20	7,6	0,2	14,3		9,5	1,4	17,9	
21	11,7	10,0	14,1		13,7	7,5	22,0	
22	13,2	10,1	16,2	3,3	14,2	11,7	18,2	2,2
23	16,3	11,3	22,9		17,2	11,2	22,9	
24	13,5	10,1	18,4		18,1	14,7	23,8	
25	12,7	6,4	20,4		13,9	9,8	19,5	
26	15,4	9,3	22,5		15,2	9,9	21,6	
27	14,7	9,6	21,0		15,0	9,0	23,5	
28	10,7	8,4	15,1		14,3	10,9	21,4	
29	6,5	-0,2	13,9		12,7	10,0	15,9	
30	4,1	-1,6	10,6		4,3	0,8	13,6	
31	3,1	-3,9	10,5		1,2	-6,5	8,5	

3. melléklet.

A havi középhőmérsékletek Szarvason 1976-2007 (OMSZ, TSF)

	április	május	június	július	augusztus	szeptember	október
1976	12,1	15,9	18,6	21,9	18,4	15,8	12,4
1977	9,5	16,8	19,9	20,4	19,6	14,3	11,6
1978	9,9	13,8	17,9	18,8	18,4	14,7	10,6
1979	9,6	17,1	21,7	18,7	19,1	17,2	9,5
1980	8,5	12,9	18,3	19,2	19,8	15,4	11,4
1981	9,9	15,5	20,2	19,9	19,9	17,0	12,2
1982	7,9	16,8	19,6	20,9	20,9	19,6	12,2
1983	13,3	17,8	19,1	22,8	21,0	16,8	10,6
1984	10,4	15,5	17,7	19,0	20,1	17,4	12,2
1985	11,0	16,9	16,6	20,9	20,9	15,7	10,1
1986	13,2	18,0	19,2	20,3	21,5	16,8	10,4
1987	10,6	14,2	19,6	22,8	18,5	18,9	11,3
1988	10,2	16,1	18,3	22,6	21,2	16,1	9,7
1989	13,1	15,3	17,3	21,3	20,1	16,4	11,2
1990	10,6	16,8	19,0	20,7	21,1	14,3	11,0
1991	9,5	12,8	19,4	22,3	20,1	17,1	9,9
1992	12,0	16,2	20,0	22,0	25,5	16,5	10,4
1993	10,7	18,8	20,4	20,7	21,5	15,9	12,6
1994	11,5	16,2	19,9	23,7	22,1	19,9	9,7
1995	10,8	15,5	19,2	24,1	20,9	15,5	12,0
1996	11,8	18,0	20,4	20,0	20,6	13,2	11,4
1997	7,8	16,8	19,6	19,9	20,8	16,5	8,3
1998	12,4	15,4	21,3	21,7	21,5	15,7	12,0
1999	12,5	16,3	20,5	22,7	20,8	18,4	10,1
2000	13,8	18,4	21,2	21,1	23,5	16,0	14,1
2001	10,8	18,1	18,5	22,4	22,7	14,9	10,6
2002	11,4	19,4	21,7	23,8	21,5	15,8	10,7
2003	10,5	20,6	23,7	22,8	24,4	16,3	8,8
2004	12,1	15,2	19,8	22,0	21,2	15,7	12,3
2005	11,6	17,2	19,4	21,7	20,0	17,6	11,5
2006	12,9	15,9	19,4	23,7	19,2	17,9	12,8
2007	12,5	18,0	22,3	23,8	23,1	14,6	10,7
átlag	11,1	16,5	19,7	21,5	20,9	16,4	11,1

4. melléklet.

A rizs kelési kísérletében (klímaszekrény) az adott időpontig kikelt növényegyedek száma. A kék színű számok becsült értéket jeleznek. V: összesen kikelt.

34°C	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6
Augusta	3	7	12	16	21	22	23				23				
Bioryza				3	8	21	23				25				
Dáma		2	3	10	16	20	22				24				
Ringola	1	2	6	14	19	23	24				24				
Risabell		4	6	10	15	19	21				23				
Augusta		2	8	14	17	20				22					
Bioryza				1	8	17				23					
Dáma		1	3	9	18	23				24					
Ringola		3	8	20	23	24				25					
Risabell	1	7	9	15	19	20				22					
32°C											V				
Augusta	1	4	12	17	20	22	23	24	24	24	24	24			
Bioryza					3	5	10	14	19	20	20	21			
Dáma		1	3	12	19	21	21	22	22	22	22	22			
Ringola			2	10	19	20	20	21	22	22	22	22			
Risabell		3	9	14	16	19	20	20	21	21	21	22			
Augusta		2	3	12	18	20	20	20	22	22	22	22			
Bioryza					0	4	8	11	13	18	21	24			
Dáma			0	4	11	18	19	21	23	24	24	25			
Ringola				7	15	19	20	20	21	21	22	22			
Risabell		2	4	8	12	17	19	20	20	20	20	20			
30°C											V				
Augusta		2	3	6	14	22	23	23	23	23	23	23			
Bioryza							1	2	11	18	23	24			
Dáma				0	4	17	22	25	25	25	25	25			
Ringola				2	11	20	23	24	24	24	24	24			
Risabell			5	9	10	19	20	21	21	21	21	21			
Augusta			3	8	17	23	24	25	25	25		25			
Bioryza							2	5	13	21		25			
Dáma				2	10	20	22	24	24	24		24			
Ringola				0	10	16	21	21	22	22		22			
Risabell			3	4	9	13	20	20	22	22		22			
28°C														V	
Augusta					1	2	9	17	20	22	23	23	23	23	
Bioryza								0	3	7	10	14	21		
Dáma							3	11	16	19	21	23	23	23	
Ringola							0	6	13	20	22	23	25	25	
Risabell					1	3	6	17	19	19	21	21	21	21	
Augusta				1	5	11	19	21	24	24	24	24		24	
Bioryza									4	9	13	16		21	
Dáma							6	13	16	18	19	20		24	
Ringola							8	15	23	24	25	25		25	
Risabell					2	5	12	21	22	23	23	24		24	

26°C	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	V	
Augusta					3	6	10	12	14	17	20	21	22	23	
Bioryza								0	5	6	14	18	19	21	
Dáma							5	10	16	21	22	22	23	24	
Ringola								3	17	20	21	21	21	23	
Risabell					2	4	11	15	18	20	20	20	21	22	
Augusta					0	2	7	12	15	16	18	18		21	
Bioryza								1	3	7	10	13		20	
Dáma							2	6	14	17	20	22		25	
Ringola								3	11	18	19	20		21	
Risabell					0	3	8	10	12	13	14	15		18	
24°C	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	V		
Augusta	2	4	10	16	19	22	23	23	24	24	24		24		
Bioryza							1	3	8	11	17		23		
Dáma			1	7	12	17	21	22	22	23	24		24		
Ringola		2	4	12	17	20	22	22	23	23	23		23		
Risabell		1	6	13	15	19	20	21	21	21	21		21		
Augusta	0	2	5	9	16	18	19	19	20	21			21		
Bioryza							4	4	11	15			21		
Dáma			4	8	9	13	16	19	20	20			21		
Ringola		0	1	5	10	15	19	21	23	23			24		
Risabell		0	2	7	11	12	14	18	20	21			22		
22°C	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	7	7,25	7,5	7,75	8	V	
Augusta		0	2	5	7	10	15	18	18	21	22	22	22	22	
Bioryza							1	5	11	15	16	19	21	22	
Dáma						3	8	14	16	17	18	20	20	21	
Ringola				1	3	7	14	18	22	23	23	24	25	25	
Risabell				3	4	7	9	13	17	20	21	21	21	21	
Augusta		1	2	3	10	16	19	19	20	20	21	21		21	
Bioryza							0	2	8	11	16	18		22	
Dáma						0	2	9	15	18	20	21		24	
Ringola					0	1	6	12	15	19	20	22		23	
Risabell				0	3	8	12	16	19	19	20	20		21	
20°C	6	6,25	6,5	6,75	7	7,25	7,5	7,75	8	8,25	8,5	V			
Augusta	0	1	7	10	13	15	18	19	21	21	21	21			
Bioryza						2	6	13	16	19	20	20			
Dáma				3	7	9	11	15	17	19	20	23			
Ringola				0	3	12	13	16	19	20	22	22			
Risabell				3	6	10	13	14	15	17	18	19			
Augusta	2	3	9	11	17	18	18	19	19	21		21			
Bioryza						1	1	5	10	14		21			
Dáma			2	4	10	13	15	18	19	20		23			
Ringola				2	3	10	14	18	20	22		24			
Risabell				0	2	4	8	12	15	18		20			

18°C	8,5	8,75	9	9,25	9,5	9,75	10	10,3	10,5	10,8	11	11,3	11,5	11,8	V
Aug 3	6	11	14	17	19	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Bioryza						0	1	2	4	9	9	11	14	16	18
Dáma										3	6	10	13	17	19
Ringola						2	5	13	16	16	17	18	18	20	21
Risabell						1	2	3	5	10	14	16	16	17	18
Augusta	2	4	7	10	14	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Bioryza								0	3	5	9	13	15	17	21
Dáma									0	2	3	5	8	12	22
Ringola						1	3	4	8	13	14	18	19	21	24
Risabell							2	2	5	7	11	14	17	18	22
16°C	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	V	
Augusta		1	2	5	9	12	14	14	15				17	17	
Bioryza					3	5	10	13	14				19	19	
Dáma			2	4	7	10	15	16	17				20	20	
Ringola			2	4	10	14	16	19	21				21	21	
Risabell			3	8	11	13	14	15	17				18	18	
Augusta	3	6	10	14	16	18	18	20	20				21	21	
Bioryza					0	0	2	5	7				12	15	
Dáma			3	4	5	9	13	16	18				20	22	
Ringola				3	4	8	13	15	17				21	22	
Risabell			1	2	4	9	12	14	14				16	16	
14°C	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		V	
Augusta	1	1	5	8	10	11	11	13	13	13	14	14		14	
Bioryza					0	3	6	7	8	9	10	10		13	
Dáma			2	2	5	8	9	12	14	16	17	17		17	
Ringola				2	4	5	12	15	16	18	19	19		21	
Risabell				0	2	3	3	6	8	11	13	13		13	
Augusta	0	2	4	6	9	12	14	15	15	17	17	17		17	
Bioryza					2	2	3	5	7	8	11	13		16	
Dáma				2	7	10	13	17	18	19	19	20		20	
Ringola				0	1	4	7	11	16	17	17	18		19	
Risabell				1	1	4	6	9	11	14	15	16		16	

5. melléklet.

a. A szabadföldi kelési időtartam napokban (T: tényleges, B: hőösszeg modellel becsült)

	Augusta		Bioryza		Dáma		Ringola		Risabell	
vetésidő	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B
2005.06.29.	6	5,5	6,2	6,7	6,4	5,9	6,0	5,8	6,0	5,7
2005.07.06.	5,3	5,2	5,5	6,7	5,7	5,7	5,6	5,6	5,8	5,5
2005.07.14.	4,6	4,3	4,8	5,5	5,5	4,7	5,0	4,6	5,4	4,7
2005.08.06.	6,0	6,6	7,1	7,6	6,7	7,0	7,0	6,9	7,0	6,8
2005.09.17.	12	15	15	18	13	17	13,5	17	13,5	16,5
2006.05.09.	9,8	8,6	10,5	10,9	10,6	9,3	10,0	9,2	10,2	9,0
2006.07.03.	5,5	4,8	6,3	5,8	5,3	6,5	5,7	5,1	5,4	5,0
2006.07.21.	4,3	3,8	4,5	4,2	4,1	4,0	4,5	4,0	4,4	3,9
2006.08.06.	6,0	5,8	6,6	7,3	6,3	6,4	6,1	6,2	5,5	6,0

b. A talajhőmérséklet napi átlaga, minimuma és maximuma vetésmélységben

2005	átlag	min	max	2005	átlag	min	max	2006	átlag	min	max
06.30.	23,2	17,0	30,3	09.17.	18,5	15,8	23,1	07.03.	24,1	19,9	31,0
07.01.	24,8	16,7	35,7	09.18.	15,1	14,0	17,1	07.04.	24,3	19,1	32,3
07.02.	20,2	18,7	22,3	09.19.	13,4	12,1	14,6	07.05.	26,4	18,2	35,4
07.03.	22,5	17,4	31,5	09.20.	14,7	13,2	16,7	07.06.	28,3	20,0	38,6
07.04.	23,3	15,2	34,6	09.21.	16,6	13,0	21,3	07.07.	28,5	20,7	37,9
07.05.	23,9	17,0	32,8	09.22.	16,1	11,9	22,0	07.08.	29,7	22,1	38,9
07.06.	22,0	16,5	30,0	09.23.	15,8	11,2	22,7	07.09.	29,5	23,5	39,6
07.07.	23,3	15,6	35,2	09.24.	16,7	9,7	26,2	07.21.	29,0	22,9	38,6
07.08.	25,8	16,2	40,3	09.25.	17,6	15,3	22,2	07.22.	29,2	22,8	39,6
07.09.	24,6	18,7	32,8	09.26.	18,5	14,1	25,9	07.23.	29,6	22,4	38,6
07.10.	24,7	18,2	33,1	09.27.	19,1	14,9	27,3	07.24.	28,5	23,7	38,7
07.11.	20,9	18,4	29,4	09.28.	17,6	13,2	26,2	07.25.	29,6	22,0	37,9
07.12.	19,8	17,6	24,1	09.29.	17,1	11,6	24,7	07.26.	30,7	23,2	41,5
07.13.	21,6	16,0	30,7	09.30.	14,6	13,6	16,3	07.27.	30,1	22,7	41,1
07.14.	23,3	15,4	34,1	10.01.	12,8	11,1	14,6	08.06.	20,4	16,2	25,3
07.15.	25,7	16,2	38,0	2006				08.07.	21,5	18,1	26,6
07.16.	26,3	17,9	37,4	05.10.	15,5	7,7	24,6	08.08.	21,8	18,5	27,9
07.17.	27,2	19,4	38,4	05.11.	14,8	12,1	21,8	08.09.	22,0	17,3	29,4
07.18.	28,0	17,8	40,9	05.12.	15,8	7,2	26,0	08.10.	23,3	19,1	29,8
07.19.	24,5	20,8	30,2	05.13.	18	7,3	30,9	08.11.	23,2	19,5	29,6
07.20.	25,9	17,2	38,2	05.14.	19,8	9,6	31,7	08.12.	21,2	17,9	25,0
08.06.	22,8	15,7	33,8	05.15.	19,0	16,0	24,3	08.13.	20,9	18,8	24,0
08.07.	19,7	13,9	28,9	05.16.	21,3	14,1	30,8	08.14.	22,3	18,3	27,4
08.08.	17,3	15,3	22,2	05.17.	21,5	15,6	30,9	08.15.	22,5	18,9	28,0
08.09.	19,2	10,4	33,1	05.18.	19,4	17,3	27,6				
08.10.	22,3	13,3	35,6	05.19.	14,9	15,1	16,7				
08.11.	23,0	15,3	33,9	05.20.	15,3	8,0	22,3				
08.12.	22,5	18,0	32,0	05.21.	20,0	10,2	31,7				
08.13.	23,6	15,9	35,7	05.22.	21,4	13,6	33,1				

6. melléklet.

Lineáris hőösszeg-modellel ($T_b = 10^\circ\text{C}$, $\text{EHI} = 70^\circ\text{Cnap}$) számított kelésidők különböző vetésidők esetén

vetés	04.01.	04.10.	04.15.	04.20.	04.25.	05.01.	05.05.	05.10.	05.15.	05.20.
1976	4.23.	5.6.	5.7.	5.9.	5.12.	5.13.	5.15.	5.20.	5.26.	5.31.
1977	5.3.	5.4.	5.4.	5.4.	5.4.	5.8.	5.17.	5.20.	5.22.	5.31.
1978	5.8.	5.9.	5.17.	5.17.	5.19.	5.22.	5.24.	5.29.	5.29.	5.31.
1979	5.15.	5.15.	5.15.	5.16.	5.17.	5.19.	5.19.	5.19.	5.21.	5.25.
1980	5.22.	5.23.	5.24.	5.27.	5.27.	5.28.	5.29.	5.31.	6.1..	6.3.
1981	5.13.	5.16.	5.18.	5.18.	5.18.	5.19.	5.20.	5.22.	5.25.	5.28.
1982	5.11.	5.15.	5.15.	5.15.	5.15.	5.15.	5.16.	5.20.	5.23.	5.27.
1983	4.25.	4.27.	4.29.	4.29.	5.4.	5.14.	5.16.	5.17.	5.20.	5.27.
1984	5.5.	5.7.	5.12.	5.15.	5.15.	5.16.	5.19.	5.22.	5.25.	5.30.
1985	5.8.	5.13.	5.13.	5.13.	5.14.	5.14.	5.14.	5.17.	5.23.	5.28.
1986	4.24.	4.29.	4.29.	4.30.	5.3.	5.12.	5.16.	5.19.	5.22.	5.27.
1987	5.5.	5.8.	5.11.	5.11.	5.13.	5.17.	5.24.	5.27.	5.31.	6.4.
1988	5.5.	5.8.	5.8.	5.9.	5.13.	5.15.	5.18.	5.21.	5.26.	5.30.
1989	4.20.	4.27.	5.11.	5.12.	5.14.	5.17.	5.18.	5.19.	5.25.	5.30.
1990	5.7.	5.10.	5.10.	5.10.	5.11.	5.12.	5.14.	5.18.	5.23.	5.30.
1991	5.13.	5.21.	5.21.	5.22.	5.22.	5.23.	5.31.	6.1.	6.4.	6.4.
1992	4.29.	5.1.	5.1.	5.2.	5.3.	5.11.	5.15.	5.21.	5.25.	6.1.
1993	5.1.	5.1.	5.1.	5.2.	5.5.	5.10.	5.14.	5.18.	5.22.	5.27.
1994	5.1.	5.5.	5.5.	5.12.	5.14.	5.17.	5.18.	5.18.	5.21.	5.27.
1995	4.29.	5.4.	5.4.	5.6.	5.12.	5.19.	5.22.	5.26.	5.28.	5.29.
1996	4.28.	4.30.	4.30.	4.30.	5.4.	5.9.	5.13.	5.18.	5.21.	5.30.
1997	5.6.	5.7.	5.7.	5.8.	5.8.	5.11.	5.14.	5.17.	5.21.	6.5.
1998	4.28.	5.7.	5.7.	5.9.	5.9.	5.12.	5.18.	5.23.	5.30.	5.31.
1999	4.28.	5.2.	5.2.	5.9.	5.10.	5.15.	5.21.	5.22.	5.26.	5.28.
2000	4.22.	4.23.	4.23.	4.29.	5.4.	5.10.	5.12.	5.17.	5.22.	5.28.
2001	5.3.	5.4.	5.4.	5.4.	5.5.	5.8.	5.15.	5.20.	5.23.	5.28.
2002	4.29.	4.30.	4.30.	5.3.	5.5.	5.9.	5.13.	5.17.	5.22.	5.26.
2003	5.1.	5.1.	5.1.	5.3.	5.4.	5.7.	5.10.	5.16.	5.25.	5.27.
2004	5.1.	5.2.	5.2.	5.4.	5.9.	5.16.	5.21.	5.25.	5.28.	5.31.
2005	5.1.	5.3.	5.3.	5.10.	5.12.	5.16.	5.21.	5.23.	5.24.	5.27.
2006	4.26.	4.27.	4.27.	5.2.	5.9.	5.16.	5.17.	5.20.	5.23.	5.28.
2007	4.29.	4.30.	4.30.	5.8.	5.10.	5.14.	5.14.	5.18.	5.23.	5.25.

7. melléklet.

Lineáris hőösszeg-moddell (vetés-kelés időszak, $T_b = 10^\circ\text{C}$, $\text{EHI} = 70^\circ\text{Cnap}$) és az M2 bilineáris hőösszeg-moddell (kelés-virágzás időszak, $T_b = 8,5^\circ\text{C}$, $T_{\text{opt}} = 23,1^\circ\text{C}$, $\text{EHI} = 760^\circ\text{Cnap}$) együttesen számított kelésidők különböző vetésidők esetén. Jobb oldal: Az a számított virágzási időpont, amely esetén az érés október 10-én következne be ($T_b = 8^\circ\text{C}$, I.: 500°Cnap , II.: 560°Cnap effektív hőösszeg-igény)

vetés	04.15.	05.01.	05.05.	05.10.	05.15.	05.20.	05.25.	érés	I.	II.
1976	7.21.	7.25.	7.26.	7.29.	8.3.	8.8.	8.11.	1976	8.15.	8.9.
1977	7.19.	7.23.	7.27.	7.30.	8.1.	8.6.	8.10.	1977	8.9.	8.5.
1978	8.4.	8.7.	8.8.	8.11.	8.11.	8.13.	8.17.	1978	8.7.	8.3.
1979	7.20.	7.23.	7.23.	7.23.	7.26.	7.30.	8.6.	1979	8.11.	8.6.
1980	8.7.	8.8.	8.9.	8.11.	8.11.	8.12.	8.13.	1980	8.9.	8.5.
1981	7.25.	7.26.	7.27.	7.29.	8.1.	8.4.	8.7.	1981	8.15.	8.11.
1982	7.23.	7.23.	7.23.	7.27.	7.29.	8.1.	8.6.	1982	8.23.	8.18.
1983	7.12.	7.20.	7.22.	7.23.	7.27.	8.1.	8.7.	1983	8.18.	8.13.
1984	8.3.	8.4.	8.6.	8.8.	8.10.	8.13.	8.16.	1984	8.17.	8.12.
1985	7.19.	7.30.	7.30.	8.2.	8.8.	8.12.	8.16.	1985	8.17.	8.13.
1986	7.14.	7.23.	7.26.	7.29.	8.1.	8.5.	8.9.	1986	8.15.	8.11.
1987	7.28.	7.31.	8.3.	8.5.	8.9.	8.11.	8.14.	1987	8.21.	8.15.
1988	7.25.	7.28.	7.30.	8.2.	8.4.	8.9.	8.11.	1988	8.14.	8.11.
1989	7.27.	8.1.	8.2.	8.4.	8.8.	8.11.	8.14.	1989	8.13.	8.8.
1990	7.24.	7.25.	7.27.	7.30.	8.3.	8.7.	8.11.	1990	8.12.	8.6.
1991	8.1.	8.3.	8.5.	8.6.	8.8.	8.8.	8.10.	1991	8.16.	8.11.
1992	7.15.	7.22.	7.24.	7.27.	7.31.	8.3.	8.6.	1992	8.21.	8.18.
1993	7.9.	7.17.	7.20.	7.24.	7.28.	8.1.	8.5.	1993	8.16.	8.11.
1994	7.19.	7.24.	7.25.	7.25.	7.27.	8.2.	8.7.	1994	8.23.	8.18.
1995	7.18.	7.25.	7.25.	7.28.	7.30.	7.3.1	8.2.	1995	8.14.	8.10.
1996	7.13.	7.20.	7.24.	7.29.	8.1.	8.7.	8.11.	1996	8.9.	8.3.
1997	7.23.	7.24.	7.27.	7.30.	8.4.	8.10.	8.14.	1997	8.18.	8.14.
1998	7.22.	7.26.	7.29.	7.31.	8.5.	8.6.	8.8.	1998	8.14.	8.10.
1999	7.14.	7.20.	7.23.	7.24.	7.26.	7.28.	7.31.	1999	8.21.	8.16.
2000	7.6.	7.20.	7.23.	7.26.	7.31.	8.4.	8.7.	2000	8.20.	8.17.
2001	7.17.	7.21.	7.25.	7.29.	7.31.	8.3.	8.6.	2001	8.16.	8.11.
2002	7.7.	7.15.	7.18.	7.22.	7.26.	7.30.	8.3.	2002	8.14.	8.9.
2003	7.3.	7.9.	7.12.	7.18.	7.24.	7.26.	7.29.	2003	8.19.	8.15.
2004	7.20.	7.27.	7.31.	8.2.	8.4.	8.5.	8.8.	2004	8.14.	8.10.
2005	7.17.	7.24.	7.26.	7.28.	7.29.	8.1.	8.5.	2005	8.19.	8.14.
2006	7.17.	7.27.	7.28.	7.30.	8.2.	8.7.	8.13.	2006	8.19.	8.15.
2007	7.7.	7.16.	7.16.	7.21.	7.26.	7.28.	8.3.	2007	8.10.	8.6.

Köszönetnyilvánítás

Megköszönöm témavezetőmnek **Dr. Szász Gábor** professzor úrnak a PhD munkám egésze során, a mérések és kísérletek megtervezésében, értékelésében, valamint az értekezés megírásakor nyújtott igen hasznos szakmai tanácsait és észrevételeit.

Köszönöm mindkét opponensemnek, **Simonné dr. Kiss Ibolya** c. egyetemi tanárnak és **Dr. Pepó Péter** professzor úrnak, hogy a dolgozat előzetes bírálatával hasznos, építő jellegű kritikát fogalmaztak meg, amely nagyban hozzájárult az értekezés végső formájának kialakításához.

NYILATKOZATOK
az értekezés utolsó lapján

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Mezőgazdaságtudományi Karán, a Növénytermesztési és Kertészeti tudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem AMTC MTK doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 200.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Gombos Béla doktorjelölt 1999 – 2007 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 200.....

.....

Dr. Szász Gábor
professor emeritus
témavezető