

**DEBRECENI EGYETEM**  
**Agrártudományi Centrum**  
Mezőgazdaságtudományi Kar  
Földműveléstani és Területfejlesztési Tanszék

**INTERDISZCIPLINÁRIS AGRÁR- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYOK DOKTORI  
ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:  
**Prof. Dr. Nagy János**  
MTA doktora

Témavezető:  
**Prof. Dr. Nagy János**  
MTA doktora

**"DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI"**

**KÜLÖNBÖZŐ HŐÖSSZECSZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA A  
KUKORICATERMESZTÉSBEN**

Készítette:  
**Dorka Dénes**  
doktorjelölt

**Debrecen**  
**2005**

## 1. BEVEZETÉS

Magyarországon az agrárökológiai potenciál lehetővé teszi az eredményes kukoricatermesztést. A kukoricatermesztés alapvető jelentőséggel bír hazánkban, tekintettel arra, hogy hazánkban az egyik legnagyobb területen termesztett növény, aminek köszönhetően szinte elenyésző azon gazdaságok száma, ahol vagy árutermelési, vagy takarmányozási céllal ne foglalkoznának a termesztésével. Vetésterületi aránya 20-35% között ingadozott az utóbbi 50 évben.

A kukorica jelentőségét nagyrészt a *közvetlen emberi fogyasztás*, az élelmiszer-ipari nyersanyagként történő felhasználás adja, tekintettel magas energiatartalmára és jó emészthetőségére. Másrészt a kukorica *állati takarmányként történő hasznosítása* is nagy jelentőséggel bír. A teljes növényt világszerte *silóként* vagy *zöldtakarmányként* is hasznosítják. A kukorica jelentőségét tovább növeli *széleskörű ipari feldolgozhatósága* és hasznosítása.

A fentiekből következően termesztésének gazdaságosabbá tétele meghatározó jelentőségű a gazdaságok eredményességében. A gazdaságos kukoricatermesztés megvalósításához nélkülözhetetlen a kukorica klimatikus igényeinek pontos ismerete. A *klímaadottságok* megítélésénél figyelembe kell vennünk azt, hogy az egyes klímaelemek eltérő hatással vannak a kukorica termésére.

Az időjárást illetően tehát megállapítható, hogy a kukorica leginkább a következő igényekkel jellemezhető: magas téli csapadéki igény, mely feltétele a talajban raktározott nagy vízkészlet. Áprilisban viszonylag magas átlaghőmérséklet szükséges, amely a korai vetés és az egyenletes, gyors kelés feltétele. Májusban a magas csapadék- és a viszonylag alacsonyabb hőmérséklet- és napfénytartam-igény a kívánatos. Júniusban a magas napfénytartam- és hőmérsékletigény és relatíve alacsonyabb csapadéki igény a kedvező. A július és augusztus hónapok optimális feltételei a nagy csapadék-, hőmérséklet- és napfényigény. A meleg, párás, csapadékos idő igen kedvezően befolyásolja a termékenyülést, a magkötést. Az optimális szeptember hónap száraz, meleg napfényes idővel jellemezhető, amely az asszimiláció, a szemtelítődés és az érés folyamatait segíti elő.

A fentiekből következően is tehát a hőösszeg-számítás nagy jelentőséggel bír a kukoricatermesztés szempontjából.

A 20. század során széleskörűen használták a növényi fejlődési ütem és termésmennyiség behatárolására a hőösszeg-számítási módszereket. A számítások és a

valós termésmennyiség azonban gyakran eltért egymástól, így a módszerek folyamatos fejlesztésre szorultak. Az eltérések mind a számítások pontatlanságának, mind pedig az eltérő környezeti feltételeknek is köszönhetőek voltak. A legnagyobb figyelmet a bázishőmérséklet pontosításának szentelték, amelyen a növényi fejlődés megközelítőleg nullának tudható be, illetve a felső küszöbhőmérsékletnek, ahol a fejlődés a hőstressz miatt már nem folytatódik vagy éppenséggel megindul a hanyatlás. A bázishőmérsékletek és a felső küszöbhőmérsékletek, valamint a napi hasznos hőmérsékletek alakulása szempontjából egyre nagyobb jelentőséggel bír a 20-21. század folyamán az antropogén hatásoknak köszönhetően megindult globális klímaváltozás. Ennek hatására a jövőben nagy valószínűséggel eltolódnak az éghajlati határok. Az emberiség jövőbeni életkörülményei, életlehetőségei, élelmezése szempontjából különös jelentőséggel bír ezen folyamatok modellezése, hiszen a káros folyamatok felismerése, mértékének és várható következményeinek megállapítása, becslése közelebb hozhatja a megoldást és bolygónk elfogadható szinten való élhetőségének lehetőségét.

Az éghajlatváltozással járó és a jövőképek túlnyomó többsége által jóslt általános légköri felmelegedés mezőgazdasági szempontú következménye a növényi kultúrák termeszthetőségi feltételeinek megváltozása. Az általános légköri cirkuláció módosulásával és a klímazónák áthelyeződésével megváltoznak a hőmérsékleti és csapadékviszonyok. Egyes területeken fokozódó szárazsággal, máshol nedvesebb és enyhébb éghajlattal számolhatunk. Emiatt különös jelentőséggel bír az Általános Légköri Modellek (General Circulation Model; GCM) által szimulált jövőbeni éghajlati minták elemzése és értékelése.

Magyarország szempontjából is nagy jelentőséggel bírhat minden ezzel a kérdéskörrel foglalkozó elemzés és vizsgálat tekintettel arra, hogy a Kárpát-medence a nedves óceáni, a száraz kontinentális és a - nyáron száraz, télen nedves - mediterrán éghajlati régiók határán helyezkedik el, e határzóna különösen érzékeny lehet bármilyen kis mértékű éghajlatváltozásra, hiszen a klímaövek kisebb mértékű tartós eltolódása is oda vezethet, hogy a három említett éghajlati régió valamelyike egyeduralkodóvá válhat.

A téma aktualitását és a debreceni körzet kiemelkedő érintettségét tovább hangsúlyozza, hogy hazánknak a globális klímaváltozásra különösen érzékeny két régiója az egyik az Alföld, míg a másik a Közép- és Dél-Dunántúl területe.

Ugyanakkor a földi léptékű változások elemzésére kifejlesztett modellekkel előállított scenáriók térbeli felbontása nem elég nagy, és az éghajlati paraméterek közül egyedül

a hőmérsékleti viszonyok megváltozására adnak a térségünkre vonatkozóan viszonylag egyöntetű becslést. Ez a tény is nagyban hozzájárult ahhoz, hogy ebben a dolgozatban elsősorban a hőmérsékleti értékek kerültek említésre, holott nyilvánvalóan nem húzhatunk éles határvonalat a hőmérsékleti és egyéb éghajlati jellemzők mindenkori alakulása között.

## **2. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK**

A előzőeknek megfelelően doktori dolgozatom céljai az alábbi pontokban foglalhatók össze.

1. A főbb hőösszeg-számítási módszerek típusainak és azok variációinak áttekintése.

Nagyon sokféle hőösszeg-számítási módszer alakult ki az idők során. Az egyes módszerek tipizálása is számos módon történhet attól függően, hogy a vizsgálódó milyen kérdéskörrel foglalkozik és, hogy mire szeretné ráirányítani a figyelmet. Ebben a dolgozatban az alapképleten túl 26 képletet vettem górcső alá. A célom az volt, hogy a képletek tipizálása és csoportosítása az adatsűrűségi vizsgálatok folyamányaként, illetve a fotoperiodikus hatások elemzése miatt az órás, a speciális órás és a napi hőmérsékleti értékek szerint történjen.

2. A számítási módszerek pontosságának és használhatóságának összehasonlítása valós mérési eredmények felhasználásával.

A szakirodalomban elfogadott módszer szerint alkalmazott adatpárosítás használatát tűztem ki célul. Nevezetesen a vizsgált termőhelyi fenológiai adatok és a vizsgálat időpontjában mért hőmérsékleti adatok párosítása eredményeképpen kapott összefüggések kidomborítása a szándékom. A DE-ATC Látóképi Kísérleti Telepén mért fenológiai adatok és a DE-ATC Agrometeorológiai Központ Kismacsi Telepén mért hőmérsékleti adatok közötti korreláció kimutatása. A két telep közötti távolság 8km, így a szakirodalom ilyen típusú mérésekkel szemben támasztott kritériumainak megfelel.

3. Hazai viszonyokra optimalizált hőösszeg-számítási módszer, képletkombináció kialakítása a hajdúsági termőtájon.

A rendelkezésre álló termőhelyi és hőmérsékleti adatok alapján lehetőség nyílt egy optimalizált képletkombináció kialakítására. Első lépésként a már korábban említett 27 képlet közül a szakirodalomban elfogadott klaszterelemzés segítségével azt a célt tűztem ki, hogy a rendelkezésre álló képleteket a számított hőösszeg-értékek alapján csoportosítsam. A módszer lényege, hogy az új képlet több, eltérő súlyfaktorial rendelkező részképletből álljon össze, minimalizálva így az egyes képletek eltérő hőmérsékleti tartományokban mutatkozó gyengeségeit.

4. Globális éghajlatváltozásnak köszönhető klímadeformációk hatáselemzése Debrecen és környékének relációjában.

A kutatás ezen célkitűzése a három klímaszcenárió algoritmus-rendszere alapján kiszámított hőmérsékleti jövőkép Debrecen és környékére aktualizált adatsorának a felhasználásával valósítható meg. A célom az, hogy az ezen területre leskálázott hőmérsékleti adatsorok alapján a hőösszeg-számítási módszerek felhasználásával három várható jövőképet vázoljak adott tenyészidőszakokra.

5. A jelenkori hőmérséklet és globális éghajlatváltozási prognózisok szerint alakuló hőmérséklet hatása a kukoricatermelésre.

A szakirodalom valamint a kiszámolt és elemzett értékek alapján a kukorica várható termesztési feltételeinek a megváltozott hőmérsékleti paraméterek szerinti alakulása a jövőben. A dolgozat célkitűzései közé tartozik, hogy hazánk kukoricatermesztési feltételeinek jövőbeli alakulásának bemutatására tegyen kísérletet. Habár a termesztési feltételek (napfény, hőmérséklet, csapadék, talaj stb.) nem szeparálhatók el egymástól, tekintettel a hőmérséklet kiemelkedő jelentőségére és terméshatósági hatására a prognózisok mégis támpontot jelenthetnek a jövőbeli terméseredmények szempontjából.

### **3. ANYAG ÉS MÓDSZER**

Antoine Ferchault de Reaumur (1683-1757) francia fizikus említette 1735-ben először, hogy a növényi fejlődés egyes fenofázisainak hossza közvetlen összefüggésben van a hőmérséklettel és az egyes fejlődési szakaszok időtartama leírható a napi átlaghőmérsékletek összegzésével.

Az alaphipotézis szerint tehát minden növénynek adott fejlődési fok, illetve az érettség stádiumának eléréséhez szüksége van bizonyos mennyiségű hőre. Ez lehetővé teszi, hogy a kumulált hőmennyiséget mutatószámként használhassuk a növényi fejlődés jellemzésekor. A hőmérsékletnek sokféle hatása lehet az élettani folyamatokra, mind a kémiai reakciók, jelenségek (diffúzió, viszkozitás, transzlokáció) szintjén, mind a növényi szervek, vagy a növény, vagy akár a teljes növénytermesztés szintjén a fotoszintézisre, respirációra vagy a fejlődés ütemére.

A hőösszeg-számítás így alapvető jelentőséggel bír a szántóföldi növények termesztésekor.

#### **3.1. TERMŐHELYI ADATOK**

A mintavétel DE Látóképi Kísérleti Telepén történt. A háromtényezős (műtrágyázás, öntözés, genotípus) kísérletet a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum a nádudvari KITE-vel együttműködve 1978-ban indította el a DE Látóképi Kísérleti Telepén. A kutatómunkát 1991-től az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatta. Ennek keretében évente 10 kukoricahibrid termőképességét, természetes tápanyag-hasznosító képességét és trágyareakcióját vizsgálták. A kísérlet négy ismétléses, osztott parcellás (split-plot) elrendezésű, a főparcella (120m<sup>2</sup>) a trágyakezelés, az alparcellák (15m<sup>2</sup>) a kukoricahibridek.

A Kísérleti Telep a Hajdúsági Lőszháton található, talaja löszön kialakult, mély humuszos rétegű alföldi mészlepedékes csernozjom. Fizikai talajfélesége középkötött vályog. A talajvíz 5-8 méter mélyen helyezkedik el. A talaj össznitrogén-tartalma 0,15%, ami közepes ellátottsági szintnek felel meg. A művelt réteg AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalma a területen jelentős heterogenitást mutat, a 0-20 cm-es talajréteg átlagértéke (133ppm) alapján közepesen ellátott, AL-oldható K<sub>2</sub>O tartalma (240ppm) alapján jó ellátottsági szintbe sorolható.

A vegetatív szakaszban meghatározásra került a kelés és az 50% nővirágzás időpontja. A generatív szakaszban pedig a fekete réteg kialakulásának időpontja hibridenként és kezelésként. A virágzást követően 1998, 1999-ben hetente, 1997-ben, átlagban 3 naponta történtek a destruktív mintavételek.

A mintavételek alkalmával 4 ismétlésben 4 kukoricacső középső részéről 50 szem tömegét mértük. A szárazanyag-tartalom meghatározása, 60 °C-on szárítószekrényben történt, súlyállandóságig szárítva.

A hibridek vízleadás dinamikáját 90 kg N/ha műtrágyakezelésben elemeztük. Vizsgáltuk a műtrágyázás hatását a kukorica szemtermésére, hat szinten -műtrágyázás nélkül és öt műtrágyadózis- debreceni termésadatokon. A műtrágyaadagok 1N: 0.75 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0.88 K<sub>2</sub>O konstans arányú NPK dózisok, amelyekben az alapdózis 1995-ig 158 kg, 1996-tól 89 kg/ha.. A vizsgált évjáratok 1994-1999 közötti évek voltak.

A vizsgált hibridek közül azokat vontuk be az értékelésbe, melyekről legalább három év termésadataival rendelkezünk. 1998-ban és 1999-ben vizsgáltuk a generatív szakaszban a műtrágyázás hatását a szemtelítődésre, a szemszámra és a vízleadás dinamikájára.

### **3.2. HŐMÉRSÉKLETI ADATOK**

Az adatok vételezése VAISALA HMP45D típusú analóg szondákkal történt. A mérést platina szenzorok (PT 100 IEC 751) végezték. A szenzorok a szondák csúcsain helyezkednek el és membrán filterrel védettek. Méréstartományuk -39,2 és 60°C közötti. Pontosságuk 20°C-on  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .. A szenzoroktól a jelek egy PCLD770-es 8 csatornás multiplex alaplapba futnak be, amelyben 8 db PCLD771-es kártya van elhelyezve, egyik ezek közül a hőmérséklet figyelésére. A mérés során ez a kártya egy 1mA-es erősségű áramot indukál és juttatja el az egyik áramkörön a platina szenzorhoz, ahol a szenzor adott hőmérsékleten adott ellenállással bír, 0°C-on 100 ohmmal, illetve emelkedő hőmérsékleti értékeknél pozitív rezisztenciával. 150-200°C-ig lineárisan növekvő ellenállási karakterisztikával jellemezhető a szenzor. A szenzoron áthaladó áram feszültsége a szenzor hőmérsékletével változik, amely feszültség ingadozás egy másik áramkör révén jut vissza a PCLD771-es kártyába, amelybe még egy feszültségerősítő is be van építve a pontosabb mérés érdekében.

Az analóg mérési eredményeket egy 12 bit pontosságú ( $\pm 1$  bit 0,015%-os értékelésnél) PCLD 812PG MULTILAB kártya kezeli és digitalizálja. A már digitalizált hőmérsékleti értékeket a LINUX kernellel rendelkező METEO elnevezésű program dolgozza fel. A

100kHz-es mintavételezési sűrűséggel működő rendszer minden 6 másodperc adatait átlagolja és 15 percenként adatfájlként lementi őket. Az extrém hőmérsékleti értékeket külön fájlba menti, amely később úgyszintén megtekinthető és kezelhető.

### 3.3. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

A hőösszeg-számítási módszerek folyamatos fejlesztése, tökéletesítése során sokféle képlet, képletkombináció született. Mindegyik képletnek vannak előnyei és hátrányai, amelyek a különféle meteorológiai körülmények és eltérő fenológiai stádiumok között eltérő súllyal esnek a latba. Ezen dolgozat fő célja az, hogy egy olyan képletkombinációt hozzon létre, amellyel a már meglévő képletek hiányosságait korrigálva és eltérő mértékben súlyozva fokozza az új képlet megbízhatóságát.

Három fő csoportja van a növényi fejlődést szoláris matematikai összefüggésekkel leíró rendszereknek:

- hőmérsékleti adatokat felhasználó képletek
- hőmérsékleti és fotoperiodikus adatokat felhasználó képletek
- hőmérsékleti, fotoperiodikus és napsugárzási adatokat felhasználó képletek

A dolgozatban csak az első két képlettípusra hoztam fel példákat tekintettel az adathiányra és az összehasonlíthatóság feltételeinek biztosítására. Így összesen 27 számítási módszer került összehasonlításra. Különválogattam a napi minimum és maximum hőmérsékleteket felhasználó hőösszeg-számítási módszereket, és az órás lebontású számítási módszereket. Ezen kívül különválogattam a speciális órás lebontású számítási módszereket, amelyek kiemelten foglalkoznak és különítik el a napi fotoperiódusokat.

A vizsgált számítási módszerek közötti eltérést elsősorban a képletekbe ágyazott küszöbhőmérsékletek (bázishőmérséklet, felső küszöbhőmérséklet) jelentik. Másodsorban a napszakok eltérő súlyozása (pl. Ontárió), vagy a hőmérséklet napi menetének fázisokra bontása (pl. Ritchie). Harmadrészt a fő fenofázisokhoz (vegetatív, generatív szakasz) kapcsolódó eltérő empirikus értékek használata (pl. Stewart).

### 3.4. AZ ADATSŰRŰSÉG SZEREPE A SZÁMÍTÁSOK SORÁN

Hőmérsékleti adatsorok feldolgozása esetén lényeges, hogy mely az az adatsűrűség, amely megfelelő alapot nyújt a számítási módszerek összehasonlításához.

Két különösen jelentős szempont az, amely figyelembe veendő a hőmérsékleti adatok feldolgozása során. Egyrészt mivel a hőmérséklet eltérően más fizikai jelenségektől (pl. csapadék, napsugárzás) állandónak tekinthető - a hőmérsékleti entitás legjellemzőbb tulajdonsága a folytonosság- mérése csak a mintavételezés sűrűségétől, a rendelkezésre álló technológiai háttértől függ, így elvileg felső határa nincs.. Másrészt viszont a felhalmozódó adatmennyiség, illetve az adatmennyiség kezelhetőségének szempontjából nincs értelme a folyamatos mintavételezésnek.

Egy hónap kiválasztásával (1997. június) egy többlépcsős összehasonlítás során kiválasztottam mely adatsűrűség a legmegfelelőbb és legkönnyebben kezelhető a hőösszeg-számítási módszerek 3 év (1997, 1998, 1999) tenyészidőszaka alapján történő értékelésének. A vizsgálathoz három szint hőmérsékleti adatit használtam fel, ebből egy talajhőmérsékleti adatsor (-2cm), kettő pedig léghőmérsékleti (0,5m; 2,0m).

Klaszterelemzéssel döntöttem el, hogy mely adatsűrűség a legmegfelelőbb a számításokhoz. A klaszterelemzés egy többváltozós statisztikai módszer, amely több osztályozó változó alapján alakít ki csoportokat. Az adathalmaz oly módon történő rendezése a cél, hogy a benne rejlő összefüggések feltáruljanak számunkra. Arra törekszünk a csoportok létrehozásakor, hogy olyan csoportok (klaszterek) alakuljanak ki, amelyeknek elemei a lehető legszorosabban kapcsolódnak egymáshoz és viszonylag jobban eltérnek a többi klaszter elemeitől.

Az elemzésbe bevont változók az adatsűrűség technikák, az esetek az egyes hónapok. A klasztermódszerek közül a hierarchikus agglomeratív technikát használtam és ezen belül is a Ward-féle módszert. Ehhez a módszerhez az alábbi euklideszi távolsági mérték használható:

$$[1] \quad d_{ij} = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2$$

<b><math>d_{ij}</math></b>	i és j elem távolsága
<b><math>k</math></b>	futó index
<b><math>p</math></b>	dimenziók száma
<b><math>x_i, x_j</math></b>	koordinátákkal rendelkező elemek

Mind a három szintre (-2cm; 0,5m; 2,0m) külön-külön, és a szinteket együttesen kezelve is elvégeztem az elemzéseket.

Az eredmények alapján az óránkénti 15 perces napi átlag adatsűrűség és felhasználás mellett döntöttem. Ez adatsűrűség hozta a legkiegyensúlyozottabb eredményeket minden mérési szinten. Ennek az adatsűrűségnek több előnye is van. Ideális középutat biztosít mind a megfelelő adatbontás, mind a kezelhetőség és az esetleges hibák kiküszöbölésére, hiszen a minden órában a negyedórás értékekből külön kiszámolt óras átlagokból emeli ki a minimum és maximum hőmérsékletet. Így ha becsúszik 1-2 érzékelési hiba az óra során és kimarad pár érték, a maradék óras értékből átlagolva még mindig elfogadható érték interpolálható, eliminálva így a hibákat. További előnye ezen felbontású adatsornak, hogy speciális, napszakokat összehasonlító és értékelő képletek esetében is használható. Így a speciális és általános képletek összehasonlíthatóvá válnak tekintettel arra, hogy egy korrekt összehasonlítás elengedhetetlen feltétele az azonos háttérű adatsorok használata.

## **4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK**

### **4.1. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK REDUKÁLÁSA**

A rendelkezésemre álló képletek közül mindegyik használható bármilyen adatsűrűséggel és átlagolási eljárással, kivéve a 4 speciális óras lebontású képletet, mivel azok a nap egy bizonyos szakaszára, illetve szakaszaira vonatkoznak. Az általam használt óras adatok azonban lehetővé teszik a 4 speciális képlet többiekkel együtt történő elemzését is.

Elsőkörben az összes napi hőösszeg-számítási módszer és a speciális óras számítási módszerek összehasonlítását végeztem el az 1997-es évre. Mivel a vizsgált hibridek fenofázisai természetszerűleg nincsenek szinkronban egymással és a pár napos, vagy akár hetes eltérések is jelentős bizonytalansági tényezőt jelenthetnek, ezért a leghidegebb és legmelegebb hónapok hőmérsékleti adatainak összehasonlítása mellett döntöttem. Választásomat egyrészt ez, másrészt az is alátámasztotta, hogy a szakirodalmi éves összehasonlító elemzések esetében is havi lebontású összehasonlításokkal találkozhatunk.

Így a június és október hónapok 0,5m-es szinten mért hőmérsékleti adatai tűntek elfogadható alternatívának. Ezen két hónap kiválasztását a szélsőértékek indokolták,

hiszen a tenyészidőszakban ez az a két hónap ahol a leghidegebb, illetve a legmelegebb napok előfordulnak. Június hónapnál a rákövetkező július ugyan melegebb, viszont a rendelkezésemre álló adatok tekintetében jóval megbízhatatlanabb, mivel a júliusi nyári viharoknak és villámcsapásoknak köszönhetően 1997. júliusában nagyobb volt az adathiány, mint júniusban. Mivel a 2 hónap között olyan jelentős hőmérsékleti különbség nincs, ezért júniust választottam.

A 0,5m-es szintválasztás is egyrésztől kompromisszum eredménye, mivel ez az a szint, ahol szinte hiánytalan adatsorok álltak rendelkezésemre, másrésztől a 2cm-es talajhőmérséklet csak a növényfejlődés kezdeti fázisaiban van jelentősebb hatással a növényre. Ugyanílyen okból a 2,0m-es szint pedig a fejlődés során még hosszú időszakon keresztül szolgáltat hamis hőmérsékleti adatokat.

Az algoritmusok elemzése során a módosított napi Ontárió-hőösszegszámítást [15] elvettem, mivel nagyon eltérő értéket produkált a többi képlethez képest. Június hónapra  $-3023,06^{\circ}\text{C}$ , szemben a többi képlet által adott  $300-800^{\circ}\text{C}$ -os adatokkal, míg októberre  $-2373,82^{\circ}\text{C}$ -ot, ellentétben a többi képlet által adott  $100-400^{\circ}\text{C}$ -kal.

Ezt a képletet tehát teljes egészében kivettem az elemzésből, mivel jelentősen eltorzította volna a többi eredményt. A későbbiek során mindhárom év (1997, 1998, 1999) teljes tenyészidőszakában hőösszeg-számolásra felhasznált algoritmusok számának és típusának meghatározása végett klaszteranalízist és varianciaanalízist alkalmaztam. A két módszer együtt tette lehetővé, hogy ki tudtam választani azt a 9 számítási-módszert, ami alapján folytathattam az elemzést. Ezen módszerekkel arra is választ kaptam, hogy mely mutatók értékei egyeznek meg, melyek hasonlítanak leginkább egymáshoz. A 9 mutató kiválasztásánál igyekeztem eltérő csoportokból kiválasztani a mutatókat, majd ezek alapján egy egységes mutatót hoztam létre, mely legjobban jellemzi a térség adatait.

## **4.2. JÚNIUS ÉS OKTÓBER HÓNAPOK VARIANCIAANALÍZISE**

Adottak 2 hónap (1997. június, október) hőösszegei különböző módszerek alapján kiszámolva. Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy van-e jelentős különbség az egyes mutatók átlagértékei között, illetve egy-egy mutatóértéken belüli szórás és a mutatók közötti szórás eltér-e. Az elemzés mind a két hónapnál azt mutatja, hogy a számítási módszerek között jelentős különbségek adódtak.

Ezek után az eredmények pontosítása végett mindkét hónapra elvégeztem a már korábban alkalmazott klaszterelemzéseket is. A két hónapra elvégzett klaszterelemzés eredményei majdnem pontosan ugyanazok. A klaszterelemzés alapján kialakított csoportokból kiválasztottam az azonosakat, illetve a metodikájában inkább elütő és mégis hasonló eredményt produkáló képleteket.

Minden csoportból minimum 1 pár olyan képlet került kiválasztásra, amely mind júniusban, mind pedig októberben benne volt az adott csoportban. Így a következő módszerek kerültek kiválasztásra:

- Konvencionális, bázishőmérséklettel korrigált átlaghőmérséklet [1]
- Ontárió hőösszeg-számítási módszer [3]
- Stewart-féle hőösszeg-számítási módszer [4]
- Ritchie-féle hőösszeg-számítási módszer [5]
- Napi hőstresszen alapuló átlaghőmérsékleti számítási módszer [9]
- Newman-féle hőösszeg-számítási módszer [16]
- Nappali átlaghőmérsékleti órás hőösszeg [25]
- Éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg [26]
- Nappali-éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg [27]

### **4.3. ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ KIALAKÍTÁSA**

Az optimalizáció során, az új képletkombináció kialakításakor az előzőekben varianciaanalízissel és klaszterelemzéssel létrehozott csoportokra illetve a csoportokból kiválasztott 9db hőösszeg-számítási módszerre alapoztam. A minimalizálást az Microsoft Excel Solver programjával valósítottam meg.

A Solver program segítségével megvizsgálhatjuk, hogy a célcellában lévő értékek megváltoztatása hogyan hatna a képlet által meghatározott értékekre az Excel munkalapon.

Ezen eljárás segítségével egy adott cellában megadott képlet optimális értékeit kereshetjük meg (maximum, minimum). A Solver mindehhez olyan cellacsoportokat használ fel, amelyek az adott képletre hivatkoznak.

A solveres optimalizálás során az alapkoncepció az volt, hogy a tenyészidőszakokban kiszámolt hőösszeg-értékek mennyire ingadoznak az egyes módszerek szerint. Az optimalizálás során az ingadozási érték minimalizálása volt a fő cél.

Első lépésként vettem az összes, teljes tenyészidőszakban (1997, 1998, 1999) a 9 kiválasztott képlettel megkapott hőösszeg-értéket a 0,5m-es szintre. Nem használhattam mindhárom szint értékeit az optimalizáció során, mivel minden szinten mindegyik módszer tulajdonképpen eltérő algoritmusnak minősül. Ezért a fél méteres szint mellett döntöttem, mert egyrészt a növény szempontjából különösen lényeges fenofázisok idején a növény magassága a 3 vizsgált szint közül ehhez áll a legközelebb. Másrészt az ezen a szinten mért adatsorok hiánytalanok. Külön csoportosítottam őket számítási módszerek szerint, tehát egy oszlopba vettem az összes tenyészidőszak (1997, 1998, 1999) 0,5m-es szint számítási módszerenként kapott értékeit. Így módszerenként 9 hőösszeg-számítási értéket kaptam.

Majd vettem ezen értékek szórását és átlagát. Ezután a relatív szórásukat úgy kaptam meg, hogy a korábban kiszámolt szórást elosztottam az átlaggal. Ezt elkészítettem mind a 9 módszer esetében, így kaptam 9 relatív szórási értéket.

Ezután kiszámoltam a kapott 9 relatív szórás átlagát, és ezt állítottam be a Solver esetében célcellaként. Korlátozó tényezőként az  $0 < X < 1$  intervallumot állítottam be, valamint alapsúlyozásnak minden képlethez 1-et rendeltem.

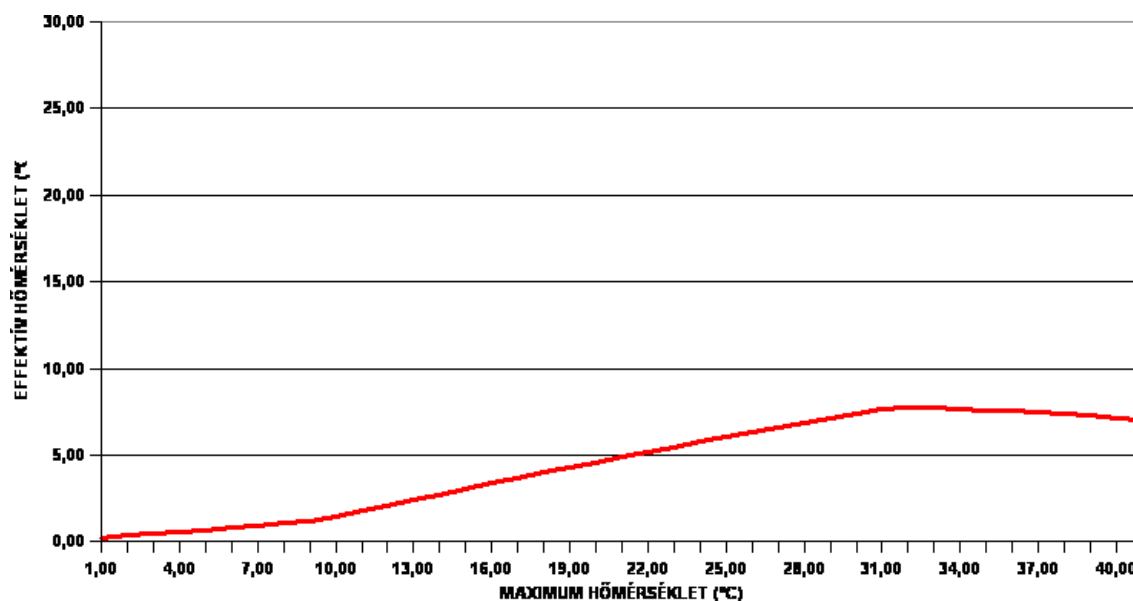
Ezután a solveres minimalizálás során kapott értékek összegével elosztottam mindegyiket külön-külön, így az összegük 1-et kell hogy adjon, amely megadja, hogy a 9 képletet hogyan kell súlyoznom együttes használatuk esetén (1. táblázat).

Időszak	Módszer sorszám								
	1	3	4	5	9	16	25	26	27
'97., '98., '99.	0,11	0,06	0,14	0,13	0,08	0,13	0,06	0,09	0,19

1. táblázat: Az új képlet paraméterei a Solver program segítségével

Így a súlyozott képletkombináció a teljes tenyészidőszakra kiszámolt súlyfaktorok alapján a következő:

$$[2] \quad [1] * 0,12 + [3] * 0,06 + [4] * 0,13 + [5] * 0,12 + [9] * 0,07 + [16] * 0,12 + [25] * 0,06 + [26] * 0,09 + [27] * 0,22$$



1. ábra: Az optimalizált képletkombináció általános lefutása

Az új képletkombináció az egyes képletek gyengeségeit hivatott kiküszöbölni eltérő éghajlati körülmények és fenofázisok között.

A 1. ábra jól érzékelteti, hogy az új algoritmus elsimította a kiugró értékeket. Lefutása legközelebb a Ritchie-féle számítási módszerhez áll, amely az összes képlet közül a napi hőmérséklet alakulását illetően a legkifinomultabb. A fő különbség a két képlet futása között az, hogy az új képlet érzékenyebben reagál mind az alacsonyabb, mind a magasabb hőmérsékletekre.

#### 4.4. RÉSZLETES FENOFÁZIS ELEMZÉS

Az új algoritmuskombináció megbízhatóságát többek között részletes fenofázis elemzéssel is alátámasztottam.

Az 50%-os növirágzás időpontjai állnak rendelkezésre mindhárom évből a részletesebb elemzéshez, míg ennél részletesebb megfigyelések csak az 1997-es évben történtek.

A vizsgált 1997-es évben a kukoricahibridek átlagos levélszám-változásait elemeztem ebben a 2. táblázatban a 0,5m-en mért hőmérsékleti értékek alapján. A már korábban klaszterelemzéssel kiválasztott 9 hőösszeg-számítási képlet által az adott mintavételezési napokig kiszámoltam a hőösszeg-értékeket, és a vizsgált hibridek által az aznapig produkált átlagos levélszámmal elosztva megkaptam az egy levél teljes kifejlődéséhez szükséges hasznos hőmérsékleti értéket. Majd az átlagaikat elosztva a

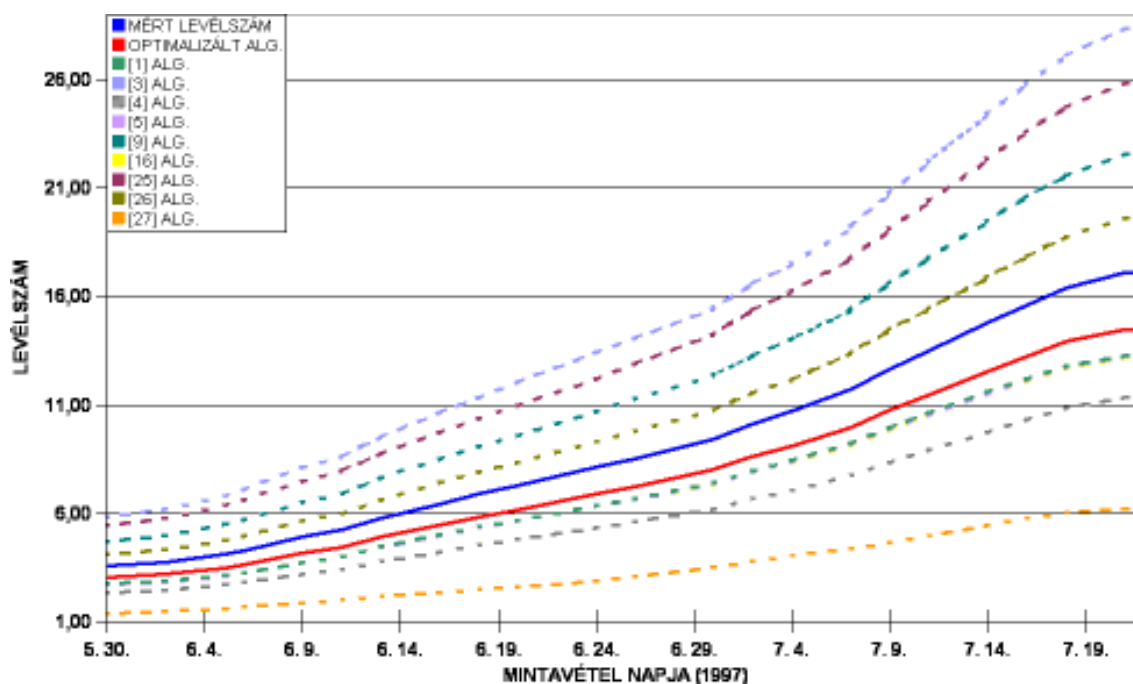
számolt hösszeg-értékkel kiszámoltam, hogy a mintavételezés során mért levélszám, számítási módszerenként mennyire felel meg a valóságnak.

1997	Mért Átlag	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	[25]	[26]	[27]	Solver	Eltérés
05.02.	vetés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05.12.	kelés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05.30.	<b>3,56</b>	2,76	5,85	2,35	2,74	4,72	2,73	5,45	4,08	1,37	<b>3,03</b>	<b>0,53</b>
06.02.	<b>3,74</b>	2,86	6,18	2,45	2,83	4,99	2,83	5,76	4,31	1,46	<b>3,17</b>	<b>0,57</b>
06.05.	<b>4,11</b>	3,13	6,80	2,69	3,10	5,48	3,10	6,34	4,73	1,60	<b>3,49</b>	<b>0,62</b>
06.06.	<b>4,29</b>	3,27	7,11	2,81	3,24	5,72	3,24	6,61	4,94	1,67	<b>3,64</b>	<b>0,65</b>
06.09.	<b>4,89</b>	3,74	8,11	3,21	3,72	6,51	3,71	7,50	5,64	1,87	<b>4,15</b>	<b>0,74</b>
06.11.	<b>5,21</b>	4,01	8,63	3,42	3,98	6,92	3,98	7,98	5,99	1,99	<b>4,42</b>	<b>0,79</b>
06.13.	<b>5,76</b>	4,46	9,52	3,79	4,43	7,64	4,43	8,79	6,63	2,16	<b>4,89</b>	<b>0,87</b>
06.16.	<b>6,43</b>	5,02	10,63	4,24	4,99	8,51	4,98	9,75	7,41	2,34	<b>5,46</b>	<b>0,97</b>
06.18.	<b>6,87</b>	5,37	11,36	4,53	5,34	9,09	5,34	10,40	7,91	2,48	<b>5,83</b>	<b>1,04</b>
06.20.	<b>7,26</b>	5,68	12,03	4,79	5,65	9,60	5,65	10,97	8,36	2,61	<b>6,16</b>	<b>1,10</b>
06.24.	<b>8,11</b>	6,37	13,42	5,36	6,34	10,72	6,33	12,23	9,33	2,89	<b>6,88</b>	<b>1,23</b>
06.26.	<b>8,53</b>	6,68	14,10	5,63	6,65	11,27	6,64	12,89	9,79	3,11	<b>7,24</b>	<b>1,29</b>
06.30.	<b>9,41</b>	7,42	15,42	6,22	7,37	12,36	7,34	14,27	10,74	3,53	<b>8,01</b>	<b>1,40</b>
07.02.	<b>10,13</b>	7,99	16,61	6,70	7,94	13,31	7,91	15,36	11,56	3,80	<b>8,62</b>	<b>1,51</b>
07.04.	<b>10,69</b>	8,44	17,48	7,07	8,38	14,03	8,35	16,23	12,18	4,05	<b>9,10</b>	<b>1,59</b>
07.07.	<b>11,71</b>	9,24	19,19	7,75	9,19	15,39	9,16	17,74	13,37	4,37	<b>9,97</b>	<b>1,74</b>
07.09.	<b>12,63</b>	9,96	20,77	8,36	9,90	16,62	9,87	19,10	14,45	4,66	<b>10,74</b>	<b>1,89</b>
07.11.	<b>13,49</b>	10,63	22,22	8,93	10,57	17,76	10,53	20,39	15,43	4,96	<b>11,47</b>	<b>2,02</b>
07.14.	<b>14,76</b>	11,60	24,38	9,76	11,53	19,46	11,50	22,31	16,88	5,43	<b>12,54</b>	<b>2,22</b>
07.16.	<b>15,59</b>	12,23	25,78	10,32	12,16	20,56	12,12	23,57	17,82	5,75	<b>13,25</b>	<b>2,34</b>
07.18.	<b>16,37</b>	12,81	27,11	10,84	12,74	21,60	12,70	24,77	18,74	6,02	<b>13,91</b>	<b>2,46</b>
07.21.	<b>17,07</b>	13,31	28,35	11,34	13,24	22,57	13,20	25,82	19,60	6,22	<b>14,49</b>	<b>2,58</b>
07.22.	<b>17,10</b>	13,32	28,42	11,37	13,25	22,62	13,21	25,86	19,65	6,22	<b>14,51</b>	<b>2,59</b>

2. táblázat: **Mért és számolt levélszám értékek 0,5m-en (1997)**

Ha megvizsgáljuk a Solver programmal optimalizált képletkombináció eredményeit, a valós levélszám és a számított levélszámok közötti eltérés alapján egyértelművé válik, hogy a súlyozott képletkombináció pontosabb jóslást tesz lehetővé, mint bármelyik egyéb képlet. Az is kitűnik a táblázatból, hogy a tenyészidőszak előrehaladtával a képlet pontossága fokozatosan csökken, az eltérések nőnek.

Az összes kukorica hibriden átlagosan 3 naponta történt mintavételezés során megfigyelt átlagos levélszám és az optimalizált képletkombináció által kiszámolt levélszámok közötti korreláció magasnak tekinthető, ugyanakkor folyamatosan csökken a fiziológiai érés előrehaladtával (2. ábra).



2. ábra: Mért és számított levélfok-értékek összehasonlítása (1997)

Mintegy 37 alkalommal történt meg a vizsgált kukoricahibridek pontos levélszám-elemzése 1997-ben. Így a vizsgált 1997-es évben a kukoricahibridek átlagos levélszám-változásait elemeztem ebben a 30. ábrán a 0,5m-en mért hőmérsékleti értékek alapján. A már korábban klaszterelemzéssel kiválasztott 9 hőösszeg-számítási képlet által az adott mintavételezési napokig kiszámoltam a hőösszeg-értékeket, és a vizsgált hibridek által az addig a napig produkált átlagos levélszámmal elosztva megkaptam az egy levél teljes kifejlődéséhez szükséges hasznos hőmérsékleti értéket. Majd az átlagaikat elosztva a számolt hőösszeg-értékkel kiszámoltam, hogy a mintavételezés során mért levélszám, számítási módszerenként mennyire felel meg a valóságnak.

Ha megvizsgáljuk a Solver programmal optimalizált képletkombináció eredményeit, a valós levélszám és a számított levélszámok közötti eltérés alapján egyértelművé válik, hogy a súlyozott képletkombináció pontosabb jóslást tesz lehetővé, mint bármelyik egyéb képlet. Az is kitűnik az ábrából, hogy a tenyésztési időszak előrehaladtával a képlet pontossága fokozatosan csökken, az eltérések nőnek.

Az összes kukoricahibriden átlagosan 3 naponta történt mintavételezés során megfigyelt átlagos levélszám és az optimalizált képletkombináció által kiszámolt levélszámok közötti korreláció magasnak tekinthető, ugyanakkor folyamatosan csökken a fiziológiai érés előrehaladtával.

#### 4.5. A TALAJHŐMÉRSÉKLET SZEREPE AZ EGYEDFEJLŐDÉSBEN

A viszonylag nagyobb pontosságú hőösszeg-számításokhoz nélkülözhetetlen a talajhőmérsékleti értékek ismerete is. A fejlődés korai stádiumában a talajhőmérséklet szerepe jelentősebb lehet a léghőmérséklet szerepénél is. Már a vetéskor lényeges, hogy milyen hőmérsékletű a talaj, különösen tavaszi vetéskor a küszöbhőmérsékletek környékén ingadozó értékek esetén vezethet nagyfokú eltéréshez a hőösszeg-számítások során. A tenyészidőszak pontos hőösszeg-számítása során tehát elengedhetetlen, hogy a fejlődés kezdeti szakaszaiban vegyük számba a talajhőmérsékleti értékeket is.

Ebben a fejezetben arra kerestem hogy milyen eltéréseket okozhat a növény fejlődése szempontjából a nem kellő körültekintéssel kiválogatott hőmérsékleti adatok felhasználása.

Első lépésben a három tenyészidőszak átlaghőmérsékleteit hasonlítottam össze mindhárom szinten (-2cm, 0,5m, 2,0m). Mindhárom év tenyészidő-szakaiban jól látható, hogy a talajhőmérsékleti értékek és a léghőmérsékleti értékek között jelentős az eltérés. Kijelenthetjük, hogy az esetek nagy többségében az talajhőmérsékleti értékek magasabbak a léghőmérsékleti adatoknál, amely különösen nagy jelentőséggel bír a növény fejlődésének kezdeti időszakában.

A részletes fejlődési fokozatokat bemutató fenofázis mérések (1997) és a szakirodalom alapján két esetet vizsgáltam meg egyszer a 6, majd a 12 leveles állapotok eléréséig számoltam talajhőmérsékleti adatokkal, majd összevettem a kapott értékeket az egységes mérési eredményekkel.

Mivel itt nem a számítási módszerek összehasonlítása volt a feladat, hanem az eltérő szintek eltérő hőmérsékleteivel való számolás, ezért csak az átlaghőmérsékleteket használtam fel az összehasonlítások során (3. táblázat).

1997	Talaj			Kombinált
	Normál	6 levél	12 levél	
-2cm	3432,58	-	-	2922,82
0,5m	2980,87	2978,56	3083,15	
2,0m	2869,60	2922,09	3006,13	
Eltérések	-	2,31	102,28	58,05
	-	52,49	136,53	53,22

3. táblázat: Átlaghőmérsékleti hőösszeg-eltérések szintvariációknál (°C)

Összefoglalásként elmondható, hogy a pontosabb hőösszeg-értékek kiszámítása végett ha rendelkezésünkre áll, érdemes differenciáltabb hőmérsékleti adatokkal dolgoznunk, tekintettel a nem elhanyagolható különbségre.

#### **4.6 A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS HAZAI KÖVETKEZMÉNYEI A KUKORICATERMESZTÉSBEN**

Mivel a Kárpát-medencében is éreztetni fogja hatását a globális felmelegedés, aminek következtében a növények növekedési feltételei megváltoznak, gazdasági szempontból is rendkívül lényeges, hogy milyen változásokra számíthatunk a hőösszegeket illetően. Különösen igaz ez az éghajlat szélsőségesebbé válásával, hiszen a szélsőségesebb és változékonyabb klímával szükségképpen nő a hőösszeg algoritmusokban alkalmazott küszöbhőmérsékleteknek jelentősége is.

Mindazonáltal óvatosan kell kezelnünk a tervezett klimatológiai trendeket, hiszen a scenáriók gyakran pontatlanok a meteorológiai állomások műszerezettségének elavultsága, illetve cseréje és helytelen kalibrációja miatt.

Magyarország a nedves óceáni, a száraz kontinentális és a - nyáron száraz, télen nedves - mediterrán éghajlati régiók határán helyezkedik el. E határzóna különösen érzékeny lehet bármilyen kis mértékű éghajlatváltozásra, hiszen a klímaövek kisebb mértékű tartós eltolódása jelentősen torzíthatja a klimatológiai adottságokat.

Tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy a globális éghajlatváltozás által veszélyeztetett régiók között van a kelet-közép-európai térség és ezen belül is különösen érzékeny az Alföld, mint hazánk fő mezőgazdasági termőterülete is. A nemzetközi és hazai kutatások alapján hazánk térségében az üvegházhatás erősödésével a globális átlagnál is nagyobb mértékű hőemelkedésre kell számítanunk.

Ebben a dolgozatban a nagy-britanniai meteorológiai központ (UKMO) által használt nagyfelbontású ún. egyensúlyi (equilibrium) klímamodell (UKHI), a kisfelbontású egyensúlyi klímamodell (UKLO) és a nagyfelbontású átmeneti (tranzien) klímamodell (UKTR) által Debrecenre és környékére leskálázott 30 éves hőmérsékleti adatsorokat dolgoztam fel. Az UKMO modellek jellemzőiket tekintve elsősorban a felbontásban, illetve az óceán modellezésében térnek el. Az óceánok különösen nagy jelentőséggel bírnak a modell felépítésében, hiszen a Föld felszínének 71%-át foglalják el, ezért jelentős kritérium, hogy egy-egy modellben a szimulált szerkezetük minél inkább közelítsen a valósághoz. Az UKTR modellek felbontása már eléri a 300-1000km-t és a

20 egymás fölött párhuzamosan futó rétegszámot az atmoszférában és a földfelszín/vízfelszín alatt.

Az egzakt összehasonlíthatóság érdekében minden esetben az 1997-es év tenyészidőszakának korábban megállapított értékeit vettem alapul, május 2-ai vetéssel és október 3-ai fekete réteg képződéssel. Ez minden esetben egy 154 napos tenyészidőszak-időtartamot jelent. Maguknak az értékeknek a vizsgálatokor, illetve a trendvonalak elemzésekor minden esetben figyelembe kell vennünk, hogy az értékek a fentiek értelmében csak a tenyészidőszakokra vonatkoznak, tehát a téli, illetve a hidegebb hónapok adatait nem tartalmazzák. Ez azért lényeges, mert a jövőbeni összkép így torzított, hiszen a téli hőmérsékleti értékek- egyéb meteorológiai paraméterekkel összefüggésben- is befolyással vannak a várható terméseredményekre.

A Debrecenre és környékére leskálázott jövőbeni napi minimum és maximum értékeinek felhasználásával számoltam ki a hőösszegeket. A hőmérsékleti scenáriók validációja a Budapesten 1785 óta mért és feljegyzett historikus adatok alapján történt.

A hőösszeg-értékek kiszámolásakor a korábbi fejezetekben klaszterelemzéssel kiválasztott és csoportosított módszerei közül a napi felbontású adatokkal is alkalmazható módszereket használtam fel:

- Konvencionális, bázishőmérséklettel korrigált átlaghőmérséklet [1]
- Ontárió hőösszeg-számítási módszer [3]
- Stewart-féle hőösszeg-számítási módszer [4]
- Ritchie-féle hőösszeg-számítási módszer [5]
- Napi hőstresszen alapuló átlaghőmérsékleti számítási módszer [9]
- Newman-féle hőösszeg-számítási módszer [16]

A hőösszeg-értékek kiszámolásakor minden egyes hőmérsékleti változót a múltbéli konkrét évek (1997, 1998, 1999) hőösszeg-értékeinek elemzésekor megadott szinteken hagytam. Így minden esetben 8°C-os bázishőmérséklettel, 30°C-os felső küszöbhőmérséklettel, illetve az Ontárió módszer esetében 4,4°C-os éjszakai bázishőmérséklettel és szintén 8°C-os nappali bázissal számoltam. A Newman-képlet esetében is megmaradtam a 2,8°C, 16,6°C és 18,33°C-os empirikus értékeknél. Minden esetben jóval magasabb értékeket kaptam mindegyik hőösszeg-számítási módszer esetében annak ellenére, hogy az elemzett időszakok 154 napos időtartama

tulajdonképpen az év teljes időtartamához képest rendkívül rövid, azonkívül az évnek csak a melegebb időszakára vonatkozik, és a globális hőmérsékletnövekedés várhatóan inkább a hidegebb hónapok enyhülésének lesz majd betudható, mint ahogy azt már jelenleg is tapasztalhatjuk.

Éghajlatunk szárazabbá és napfényben gazdagabbá válik, legalábbis a globális felmelegedés kezdeti néhány évtizedében. Ezzel ellentétben, ha ez továbbra is ilyen ütemben folytatódik, akkor a nagyobb mértékű hőmérséklet-emelkedés csapadéktöbblettel is járhat. Pl. 0,5-1,5°C-os hőmérséklet emelkedéssel szárazabbá válna a Kárpát-medence éghajlata, míg akár 40-400mm-rel is emelkedhet az évi csapadékmennyiség egy 4-5°C-os éves hőmérséklet-emelkedés esetében.

Az elemzett scenáriók tenyészidőszakokra vonatkozó hőmérsékleti adataiból kiindulva jelentősebb mértékű felmelegedés várható Debrecen és környékén.

Ennek következményeként Magyarországon egyértelműen a hosszabb tenyészidejű (közép és késői érésű; FAO 4-500) hibridek termesztésére nyílik majd lehetőség a hőmérséklet növekedésével, illetve a tavaszi és őszi hónapok enyhülésének köszönhető hosszabbodó fagymentes időszakoknak.

A tranziens GCM-modell szerint egy 3-4°C-os hőmérséklet emelkedéssel párosuló 10-15%-os csapadék emelkedés az agrárzónákat észak-felé tolná el. Ha a hőmérséklet emelkedés nem párosul a csapadék-mennyiség növekedésével, akkor a kukorica termelési kockázata tovább nőne.

Magyarországon Budapest relációjában 1785-től állnak rendelkezésre napi minimum és maximum hőmérsékleti adatok. A csapadék mennyiségét 1845 óta kísérik figyelemmel. A historikus adatok elemzése során 1785 és 1985 között az évi középhőmérsékleteket illetően egy 2°C-os fluktuáció volt megfigyelhető, a téli és nyári félévek közötti 3-4°C-os átlaghőmérséklet-ingadozással. A rendelkezésre álló adatok szerint az 1800-as évek elejére inkább a lehülés volt a jellemző. A téli (október-március) és a nyári (április-szeptember) félévek részletesebb elemzése azt mutatja, hogy a hőmérsékletcsökkenés inkább a nyári hónapokat jellemezte, habár a század vége felé már a téli félévek is hűvösebbek voltak a normálisnál.

A 20. század közepétől figyelhető meg egy lassú emelkedés az éves középhőmérsékletek tekintetében. A történelmi adatokat elemezve megállapítható, hogy a legmelegebb évek az 1951-52-es esztendőök voltak. A vegetációs időszakot figyelembe véve a legmelegebb év az 1952-es volt, amely az egész országban jelentős aszályjal járt együtt. A terméseredmények 50%-kal voltak alacsonyabbak az akkori átlagoknál.

A scenáriók szerint további egyértelmű hőmérséklet növekedés várható, az UKTR jóslatok szerint az éves átlaghőmérsékletek akár 3°C-kal is magasabbak lehetnek, mint a jelenlegi átlagok, amely szignifikáns különbségnek mondható. Az aszály egyre gyakoribb lesz, ami a terméseredményekben is jelentkezni fog.

Az előrejelzések az 1951-1990-es időszakban megfigyelt maximális értékeknél jóval magasabb hőösszeg-értékeket jósolnak, és mivel a csapadékot illetően nem várható ezzel arányosan növekvő tendencia, a kukorica számára kedvezőtlenebbek lesznek a körülmények, csakúgy mint az 1952-es évben volt.

Két tényező játszik majd fő szerepet. Egyrészt a nagyon magas nyári hőmérséklet, amely rekord számú extrém hőségnappal járt ( $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ), a másik az ezzel járó szárazság.

A kukorica szempontjából a szárazság-terméseredmény kapcsolatát illetően az alábbi 3 fokozat válik majd a jövőben egyre dominánsabbá:

- *A jelentős aszály a számottevően csökkenő téli csapadékkal* párosul, illetve a májusi, június-júliusi hónapok bármelyikében is legalább 30%-kal alacsonyabb a csapadék a sokéves átlagnál.
- *Az aszályos nyári hónapok* a májusi, június-júliusi hónapok valamelyikében egy a sokéves átlagnál legalább 30%-kal alacsonyabb csapadékmennyiséggel társulnak.
- *Kevésbé jelentős nyári aszály, a téli hónapok is átlagos csapadékuak*, de a májusi, június-júliusi hónapok valamelyikében a sokéves átlagnál legalább 30%-kal alacsonyabb a csapadék.

A dolgozatban elemzett és a szakirodalmi adatok is azt mutatják, hogy a nagy szárazság jelentős terméseszkökenést okoz majd mindenhol az országban, még a csapadékosabb nyugat-dunántúli területeken is, különösképpen Hajdú-Biharban.

Enyhe szárazság Hajdú-Biharban általában négyévente fordul elő. Az enyhén aszályos évek 80%-ában figyelhető meg terméseszkökenés. 1951 és 1980 között az aszályos évek aránya 9% (súlyos) és 17% (enyhe) között ingadozott, amely értékek várhatóan növekedni fognak.

A leginkább terméseszkökenő faktorok a kukorica esetében: rövid vegetációs időszak, amelyet a fagymentes időszak hossza határol be, illetve a hőségnapok aránya ( $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ).

A fagymentes napokat illetően nincs szignifikáns eltérés az utóbbi 40 évben Debrecen és környékén. 1951 és 1990 között a napi minimumhőmérsékletek általában  $-10^{\circ}\text{C}$  és  $15^{\circ}\text{C}$  között alakultak.

A fagymentes időszakok általában február vége és március közepe között kezdődnek és tartanak november, december elejéig. 1951-1993 között a fagymentes napok száma folyamatosan 8-10 nappal csökkent, köszönhetően az egyre korábbi, november eleje felé tolódó fagyoknak.

A hőségnapok számában az 1975-ös évtől figyelhető meg emelkedő tendencia. Az 1990-es években rekordszámú hőségnapot rögzítettek.

Tehát összefoglalásként megállapítható, hogy az utóbbi 20-30 évben a klíma száraz jellege erőteljesebb lett, gyakoribb aszályokkal és termésesökkenéssel, ami várhatóan folytatódni fog, ezért az időjárási kockázat és az extrém meteorológiai események állnak a kutatók érdeklődésének a középpontjában.

Az összehasonlító elemzések során a következő konklúziók vonhatók le:

- A kedvezőtlen évek növekvő dominanciája az utóbbi 20-30 évben szignifikánsan kimutatható és scenáriók szerint várhatóan fokozódni fog, ami 5-10%-os termésesökkenéssel jár majd együtt.
- A kukoricatermelés szempontjából kedvezőtlen lesz a nyári hőösszegek extrém emelkedése, ami még az 1951-1990-es periódus maximális hőösszegeinél is jóval magasabb lesz. Különösen annak tükrében súlyosbítja ez a kukoricatermelés helyzetét, hogy várhatóan nem párosul csapadéknövekménnyel.

Így Magyarország szempontjából a globális klímaváltozás egyik leginkább szembetűnő hozadéka a *mezőgazdasági termelés változékonyabbá válása* lesz.

## 5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A hőösszeg-számítási módszerek hazai viszonyokra alkalmazott részletes elemzése, csoportosítása, rendszerezése a kukorica hőmérsékletre, napsugárzásra és fotoperiodizmusra történő reakcióin keresztül.
2. Optimális adatsűrűségi elemzés elvégzése konkrét tenyészidőszakokra vonatkozó hőmérsékleti adatok alapján. Ezek során megállapítottam, hogy az optimális adatsűrűség, illetve számítási módszer az óránként mért 15 perces napi átlag, amely alkalmazása során minden óra negyedórás értékéből kerülnek kiválogatásra a minimum és maximum értékek. Az órás átlaghőmérséklet kiszámolása is a negyedórás érték átlagolásával valósul meg, viszont a napi átlaghőmérséklet nem a teljes órás adatok igénybevételével történik, hanem a napi órás szélsőértékek átlagolásával.
3. Hőösszeg-számítási módszerek összehasonlítása és csoportosítása során klaszterelemzéssel a főbb számítási módszerek elkülönítése és a tenyészidőszakok hőmérsékleti szélsőértékeit felvonultató hónapok közötti módszerátfedések elemzése, a módosított napi ONTÁRIÓ-hőösszeg magyarországi használhatóságának elvetése.
4. Klaszterelemzéssel és szakmai indokok alapján kiválasztott képletek eltérő súlyozásával egy olyan új képletkombináció létrehozása, amely alkalmazása esetén kisebb ingadozás és nagyobb pontosság érhető el a hőösszeg-számítások során.
5. Az optimalizált képletkombináció pontosságának és megbízhatóságának vizsgálata konkrét fenofázis és foknap értékelés alapján, amely során a feltételezett kisebb szórás igazolást nyert. A mért levélszám-index és az optimalizált képletkombinációval számított levélszám-index szoros korrelációja bizonyítja a fokozott megbízhatóságot.
6. Több szinten mért és elemzett hőösszeg-értékek alapján a talajhőmérsékleti értékek hőösszeg-számításba való felvételére tett javaslat, mely szerint a kukorica 8 leveles állapotáig számolhatunk talajhőmérsékleti (-2cm) értékekkel, 12 leveles állapotáig

0,5m-es értékekkel, majd a későbbi fenofázisok során az általánosan elterjedt 2,0m-es értékekkel.

7. GCM modellek elemzése során Debrecen és környékére leskálázott hőmérsékleti adatok elemzése a korábban kiválogatott hőösszeg-számítási módszerek felhasználásával.
8. A kapott értékek alapján várható scenáriók kukoricatermesztésre gyakorolt hatásainak elemzése a 30 éves időtartamra kiszámított hőösszeg-értékek emelkedése alapján.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT ELŐADÁSOK ÉS POSZTEREK KONFERENCIÁKON

1. **DORKA, D.:** Hőösszeg-számítás a kukoricatermesztésben. Tavaszi Szél konferencia. Debrecen, 2005. (*in print*)
2. **DORKA, D.:** Két hőösszeg-számítási módszer vizsgálata a kukoricatermesztésben. PhD konferencia. Debrecen, 2004. (*in print*)
3. NAGY, J. - DOBOS, A. - **DORKA, D.** - NAGY, P.: Talajművelést támogató talajinformációs rendszer felépítése. Földminősítés és földhasználati információ tudományos konferencia. Keszthely, 2003. december 11-12. Kiadvány: 231-237.
4. DOBOS, A. – PÁZMÁNYI, S. – NAGY, P. – NYIZSALOVSKAI, R. – KOVÁCS, M. - **DORKA, D.:** Kukoricatermesztés a precíziós gazdálkodásban. 50 Éves A Magyar Hibrid Kukorica. Martonvásár, 2003. szeptember 30. Kiadvány: 113-121.o.
5. NAGY, J. – NYIZSALOVSKAI, R. – KOVÁCS, M. – DOBOS, A. –. - **DORKA, D.:** Talajinformációs rendszer kialakítása a mezőgazdaságban. VI. Falukonferencia. Pécs, 2003. Kiadvány: 270-275.
6. **DORKA, D. :** Döntéstámogató talajinformációs rendszer kialakítása a mezőgazdaságban. PhD konferencia. Debrecen, 2004. Agrártudományi közlemények, 2004. (*in print*)
7. **DORKA, D. :** Talajinformációs rendszer kialakítása a mezőgazdaságban. PhD konferencia. Debrecen, 2003. Agrártudományi közlemények, 2003. 60-63.
8. **DORKA, D. :** A területfejlesztést támogató többszintű térinformatikai rendszer kialakítása a mezőgazdaságban. PhD Konferencia. Debrecen, 2001. Agrártudományi közlemények különszám, 2002. 19-21.
9. NAGY, J. – DOBOS, A. – SZABÓ, J. – HARSÁNYI, E. – NAGY, P. – TARACKÖZI, K. – PÁSZOR, L. - **DORKA, D.:** GPS/GIS technológiai alkalmazási lehetőségei a növénytermesztésben. Nyíregyházi Tájtermék Kiállítás. Nyíregyháza, 2003. Kiadvány: 28-29.