

DEBRECENI EGYETEM
Agrártudományi Centrum
Mezőgazdaságtudományi Kar
Földműveléstani Tanszék

**INTERDISZCIPLINÁRIS AGRÁR- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYOK DOKTORI
ISKOLA**

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

Témavezető:
Prof. Dr. Nagy János
MTA doktora

KÜLÖNBÖZŐ HŐÖSSZECSZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK
VIZSGÁLATA A KUKORICATERMESZTÉSBEN

Készítette:
Dorka Dénes
doktorjelölt

Debrecen
2005

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	1
2. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK.....	6
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
3.1. A NAPSUGÁRZÁSHOZ KÖTHETŐ BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK.....	8
3.2. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS ALAPPROBLÉMÁJA.....	13
3.3. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK.....	19
3.5.1. Napi lebontású képletek.....	19
3.5.2. Órás lebontású hőösszeg-képletek.....	34
3.5.3. Speciális órás lebontású hőösszeg-számítási módszerek.....	38
3.6. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS LEHETSÉGES HIBAFORRÁSAI.....	39
3.7. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS PONTOSSÁGA.....	40
3.8. GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS.....	43
3.8.1. Klímamodellek.....	44
3.8.1.1. <i>Modelltípusok</i>	44
3.8.1.2. <i>GCM</i>	45
3.8.1.3. <i>Visszacsatolások</i>	48
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	51
4.1. RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ADATOK.....	51
4.1.1. Termőhelyi adatok.....	51
4.1.2. Hőmérsékleti adatok.....	55
4.1.2.1. <i>Az adatsűrűség szerepe a hőösszeg-számítások során</i>	56
4.2. ALKALMAZOTT SZCENÁRIÓK.....	63
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	65
5.1. HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ELEMZÉSE.....	65
5.1.1. Számítási módszerek redukálása.....	65
5.1.2. Június és október hónapok varianciaanalízise.....	69
5.2. ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ KIALAKÍTÁSA.....	73
5.2.1. Optimalizálás teljes tenyészidőszak alapján.....	73

5.3. RÉSZLETES FENOFÁZIS ELEMZÉS.....	78
5.3.1. Fejlődési fokozatok és jellemzésük.....	81
5.4. HŐÖSSZEG-ÉRTÉKEK AZ ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ ALAPJÁN.....	86
5.5. A TALAJHŐMÉRSÉKLET SZEREPE A EGYEDFEJLŐDÉSBEN.....	91
5.6. KLÍMADEFORMÁCIÓK.....	95
5.7.1. UKMO modellek debreceni eredményei.....	95
5.7.1.1. <i>UKHI</i> szcenárió.....	97
5.7.1.2. <i>UKLO</i> szcenárió.....	99
5.7.1.3. <i>UKTR</i> szcenárió.....	101
5.7.2. A felmelegedés általános kukoricatermesztéssel kapcsolatos vonatkozásai.....	103
5.7.2.1. <i>A hőmérsékletnövekedés kukoricatermesztési vonatkozásai.....</i>	103
5.7.2.2. <i>A CO₂ -szint emelkedésének kukoricatermesztési vonatkozásai.....</i>	104
5.7.3. A globális felmelegedés hazai következményei a kukoricatermesztésben.....	105
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	110
6.1. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, ELEMZÉSE.....	111
6.2. AZ ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ KIALAKÍTÁSA.....	114
6.3. A TALAJHŐMÉRSÉKLET SZEREPE A EGYEDFEJLŐDÉSBEN.....	115
6.4. KLÍMADEFORMÁCIÓK.....	115
7. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	118
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	120

1. BEVEZETÉS

Magyarországon az agrárökológiai potenciál lehetővé teszi az eredményes kukoricatermesztést. A kukorica alapvető jelentőséggel bír hazánkban tekintettel arra, hogy 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. A megtermelt kukorica százalékos összetétele szerint a vízmentes szemek kb. 77% keményítőt, 9% fehérjét, 5% olajat, 5% pentozánt, 2% cukrot és 2% hamut tartalmaznak. Az egyes fajták esetében nagy eltérések lehetnek, főleg a fehérje- és olajtartalmat illetően. A fehérjetartalom lehet 15%, de akár 6% is.

Másrészt a kukorica állati takarmányként történő hasznosítása is nagy jelentőséggel bír. A kukoricaszem kiváló, nagy energiatartalmú abraktakarmány. Az ipari céllal feldolgozott kukoricából több melléktermék visszakerül az állattenyésztésbe, így pl. a gluténliszt, a szeszgyártási és söripari felhasználás utáni szárított törköly, olajpogácsa, melasz stb.

A teljes növényt világszerte silóként vagy zöldtakarmányként is hasznosítják, illetve lisztet és brikettet is készítenek belőle, amelyek kitűnő, magas tápértékű takarmányok. Széleskörű elterjedésének a fő oka, hogy a gépesítés és fejlett technológia bevezetésével a kézimunkaerő-szükséglet csökkent. A silókukorica esetében az általános költség 1 ha-ra vetítve 25-50%-kal alacsonyabb, a szárazanyagtermés ugyanakkor mintegy 15%-kal magasabb, mint például a takarmányrépánál. Az elterjedésben nagy jelentősége van a nemesítésnek is.

A kukorica jelentőségét tovább növeli *széleskörű ipari feldolgozhatósága* és hasznosítása. Az ipari feldolgozás főbb területei az elcukrosítás (refinálás), száraz őrlés, darakészítés, desztillálás és erjesztés. Több mint 500 különböző készítmény állítható elő a kukoricából, itt csak a főbb produktumokat említem meg. A refinálás során tiszta feldúsított keményítőt, olajat, antibiotikumok fejlesztéséhez szükséges táptalajokat és B-vitaminokat állítanak elő. A kukoricaolajból étolaj, salátaolaj és margarin készül. A keményítőből nagy finomságú papírt, ragasztóanyagot,

gyümölcstortát, pudingot és zseléket állítanak elő. A textiliparban a fonalak írzésére használják valamint további előnye, hogy eltérően viselkedik savas, illetve hőkezelésre, így a hő vagy kémiai úton más-más tulajdonságot kaphat a preparált szövet. ki lehet használni a kocsonyásodó képességét, nedvszívó képességét, tapadóképességét és ezek jelentősen növelik az alkalmazhatóságát. A metallurgiában az öntősablonnak használt homokot kukoricakeményítővel elegyítik, így a homok nem hullik szét, és jól bírja a magas hőmérsékletet is. A keményítő további feldolgozásával dextrineket állíthatnak elő, amelyeket mindenekelőtt ragasztóanyagként alkalmaznak.

A fentiekből következően a kukoricatermesztés 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. A következő megállapítások tehetők ezzel kapcsolatosan:

- A kukorica *napfénytartam-igénye* június, július és augusztus hónapokban a legnagyobb. Átlag feletti termésekre akkor számíthatunk, ha e hónapok napfényes óráinak összege 260-370 óra között alakul. Azok az évjáratok és termőtájak a legkedvezőbbek, amikor és ahol a vegetációs időszak napfényes óráinak összege 1400-1600 óra között alakul.
- A kukorica *hőmérsékletigénye* legkifejezettebb április hónapban, s a legkedvezőbb az, ha értéke 10-12°C között alakul. A vegetációs időszak átlaghőmérsékletének legkedvezőbb értéktartománya 17-19°C.
- A kukorica *téli csapadék* iránti igénye igen kifejezett. Optimális esetben a csapadék összege el kell hogy érje a 40-65mm-t. Átlag feletti termésekre akkor számíthatunk, ha a vegetációs időszak csapadékösszege 270-410, az évi összes csapadék mennyisége pedig 500-720mm között alakul.
- A vegetációs időszak *hőösszege* igen jelentős mértékben befolyásolja a kukorica termésátlagát. Kedvező, ha értéke 1250-1750°C között alakul. A hőösszeg-csapadék arány (°C/mm) a kukorica számára az 1,9-3,1 értéktartományban a legkedvezőbb, s maximális termésre a 2,5°C/mm érték körül számíthatunk.

Az időjárást illetően tehát megállapítható, hogy a kukorica leginkább a következő igényekkel jellemezhető: magas téli csapadékgigény, mely feltétele a talajban raktározott nagy vízkészlet. Áprilisban viszonylag magas átlaghőmérséklet szükségeltetik, amely a korai vetés és az egyenletes, gyors kelés feltétele. Májusban a magas csapadék nagyobb jelentőséggel bír, míg az alacsonyabb hőmérséklet- és napfénytartamigény fontossága kisebb jelentőségű. Júniusban a magas napfénytartam- és hőmérsékletigény és viszonylag alacsonyabb csapadékgigény 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 és a magkötést. Az optimális szeptember hónap száraz, meleg napfényes idővel jellemezhető, amely az asszimiláció, a szemtelítődés és az érés folyamatait segíti elő. A kukorica klimatikus igényeinek ilyen szintű ismerete lehetőséget ad arra, hogy megállapítsuk, hogy hazánk adottságai mennyiben elégítik ki ezeket az igényeket. Magyarország kukoricatermesztési klímaadottságaival kapcsolatban az az általános megállapítás tehető, hogy a klímaelemek 10 évből 3-4 évben nem érik el, 2-3 évben pedig meghaladják az optimumtartomány határértékeit, vagyis 10 évből 3-4 évben számíthatunk rekordtermésekre. Az egyes klímaelemek vonatkozásában ezek a valószínűségek igen eltérők. A *napfénytartam* 4-5 évben megfelelő a kukorica termesztésére. Legkevésbé az áprilisi napfénytartam elégíti ki a kukorica igényeit, azonban ez a klímaelem viszonylag kis mértékben befolyásolja a kukoricatermesztés eredményességét. Az *átlaghőmérséklet* 10 évből 4-5 évben megfelelő, viszont az áprilisi középhőmérséklet csak 2-3 évben alakul kedvezően.

Ez már komolyabb problémákat okozhat, hiszen a vetésidő és a kelés elhúzódását okozhatja, ami jelentős terméseszkében nyilvánulhat meg. A *csapadékkal* kapcsolatban megállapítható, hogy az évi összes csapadék 5-6 évben, a nyári csapadék és a téli csapadék 3-4 évben ugyan megfelelő, de eloszlása csak ritkán elégíti a kukorica igényeit. Megállapítható, hogy hazánkban 2-5 évben relatív csapadékhiánnyal kell számolnunk.

A legtöbb problémát az *effektív hőösszeg* okozza, ami abból is kitűnik, hogy 10 évből csupán 4 évben megfelelő és 6 évben kevés az eredményes kukoricatermesztéshez. Az effektív hőösszeg és a csapadék egymáshoz viszonyított arányát illetően megállapítható, hogy a legnagyobb termésekre ott és akkor számíthatunk, amikor ez az arány 2,5-nek adódik. Az elfogadhatósági határok e tekintetben 1,9 és 3,1. Az ország 260 pontjának átlagértékei alapján számított hányados 2,1, azaz a tűrés alsó határán van, tehát

általában a csapadékhoz viszonyított *relatív hőhiány* okoz gondokat. Természetesen az ország egyes termőkörzetei között jelentősek az eltérések. Azokon a területeken, ahol ez a hányados túlzottan nagy, vagyis a csapadékhiányból adódó relatív hőtöbblettel kell az évek egy részében számolni, ott a klimatikus feltételeket öntözéssel javíthatjuk. Ahol viszont a hőösszeg/csapadék arány nem éri el az 1,9-et, ott a klimatikus feltételek nem javíthatók, mivel jelenleg a hőmérséklet, illetve a hőösszeg táblaszintű növelésére nincs módunk.

A fentiekből következően 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 köszönhető volt. A legnagyobb figyelmet a bázishőmérséklet pontosításának szentelték, amelyen a növényi fejlődés megközelítőleg nullának tekinthető, 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 hatására a jövőben nagy valószínűséggel eltolódnak az éghajlati határok.

Az *éghajlatváltozással* járó és a *jövőképek* túlnyomó többsége által jóslt általános légköri felmelegedés mezőgazdasági szempontú következménye a növényi kultúrák természetességi 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 közül az egyik az Alföld, míg a másik a Közép- és Dél-Dunántúl területe.

Ugyanakkor a globális 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 kerülnek említésre, holott nyilvánvalóan nem húzhatunk éles határvonalat a hőmérsékleti és egyéb éghajlati jellemzők mindenkori alakulása között.

2. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

Az előző fejezetnek 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 vizsgálandó 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 volt a szándékom, a DE-ATC Látóképi Kísérleti Telepén mért fenológiai adatok és a DE-ATC Agrometeorológiai Központ Kismacsi Telepén mért hőmérsékleti adatok közötti korreláció kimutatásával. 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. Először azt a célt tűztem ki, hogy a szakirodalomban már elfogadott klaszterelemzés módszerének segítségével a már korábban említett 27 képlet közül, a számított hőösszeg-értékek alapján csoportosítsam. Ezek után a hőmérsékleti szélsőértékek elemzésével kialakított

csoporthoz azokat a számítási módszereket elemezzem tovább, amelyek mind a pozitív, mind a negatív szélsőérték csoportosítás során azonos klaszterbe kerültek.

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

A kutatás ezen célkitűzése három klímaszcenário 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 termésalakító hatására a prognózisok mégis támpontot jelenthetnek a jövőbeli terméseredmények szempontjából.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A NAPSUGÁRZÁSHOZ KÖTHETŐ BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az alaphipotézis szerint minden növénynek adott fejlődési fok, illetve az érettség stádiumának eléréséhez szüksége van bizonyos mennyiségű hőre (Monteith, 1981). Ez lehetővé teszi, hogy a kumulált hőmennyiséget mutatószámként használhassuk a növényi fejlődés jellemzésekor (Carr, 1977). Természetesen a genetikailag kódolt és öröklött fejlődési paraméterek, illetve egyéb faktorok is, mint például a napsütéses órák száma, talaj kondíciók is fontos szerepet játszanak a fejlődés során (Hari, 1972; Caprio 1974; Hänninen, 1990). A szakirodalomban számos elnevezés használatos ezen indexszám kifejezésére. Ezek között megemlíthető a hőösszeg (Heat Sum), hőegység (Heat Unit, Thermal Unit), akkumulált hőegység (Accumulated Heat Unit, AHU), hőidő (Thermal Time), a foknap (Degree Day), és az effektív hőösszeg (Effective Temperature Sum, ETS) kifejezés is (Mederski, 1972). Mivel a számítási módszerek általában a tenyészidőszakra vonatkoznak, az egy napra és a tenyészidőszak alatt kumulálódott teljes hőösszegre vonatkozó értékek megnevezése között átfedés mutatható ki. Így fordulhat elő, hogy a foknap kifejezés növekedési foknapként is (Growing Degree Day, Sum Growing Degree Day; GDD, SGDD) is használatos (Bonhomme, 2000). A foknap kifejezés (Degree Day) pontosítása egyes tanulmányokban a hasznos fok kifejezés (Effective Degree) is (Gilmore and Rogers, 1958). Az előbb említett kifejezések általában a vizsgált növény kezdőbetűjét felvéve jelzik az adott növényhez tartozásukat, pl. BHU (Barley Heat Unit), RGDD (Rice Growing Degree Days), CAHU (Corn Accumulated Heat Unit) (Brown and Bootsma, 1993) stb.

A hőösszeg-értékek lebontásakor, pontosításakor ugyanakkor még olyan elnevezésekkel találkozhatunk, mint a HUR (Heat Unit Requirements), teljes tenyészidőszakra vonatkoztatott hőösszeg-igény, vagy DHU (Daily Heat Unit), napi hőegység-érték (Corcuera et al., 2002).

A sokféle elnevezés miatt szükségeszerű lenne egy pontos nomenklatúra bevezetése. Ebben a dolgozatban a napi hőmérsékleti értékek alsó és/vagy felső küszöbhőmérsékletekkel korrigált összegét *hasznos napi hőnek*, míg ennek tenyészidőszakban kumulálódott értékét *hasznos hőösszegnek* nevezem el.

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

- hőmérsékleti adatokat felhasználó képletek (Baker, 1970)
- hőmérsékleti és fotoperiodikus adatokat felhasználó képletek (Valli, 1965)
- hőmérsékleti, fotoperiodikus és napsugárzási adatokat felhasználó képletek (Shibles et al., 1965)

A dolgozatban csak az első két képlettípusra hoztam fel példákat tekintettel az adathiányra és az összehasonlíthatóság feltételeinek biztosítására.

A hőmérséklet szerepe a kukorica egyedfejlődésében

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 (Johnson and Thornley, 1985).

A szakirodalom sok esetben elválasztja egymástól a növekedést és fejlődést, én azzal a tudományos nézettel értek egyet, mely szerint a kettő szervesen összetartozónak tekinthető, hiszen a növekedés szükséges méretváltozás új szövetek képződésével jár együtt. A hőösszeg-számítások fenológiai vonatkozásainak tekintetében azonban előtérbe helyezhető a fejlődés figyelemmel kísérése (Berényi, 1945). Fejlődésen olyan azonosítható események sorozatát értjük, amely minőségi (pl. virágzás) vagy mennyiségi (pl. levélszám) módosulást eredményez a növény szerkezetében (Györfy, 1965).

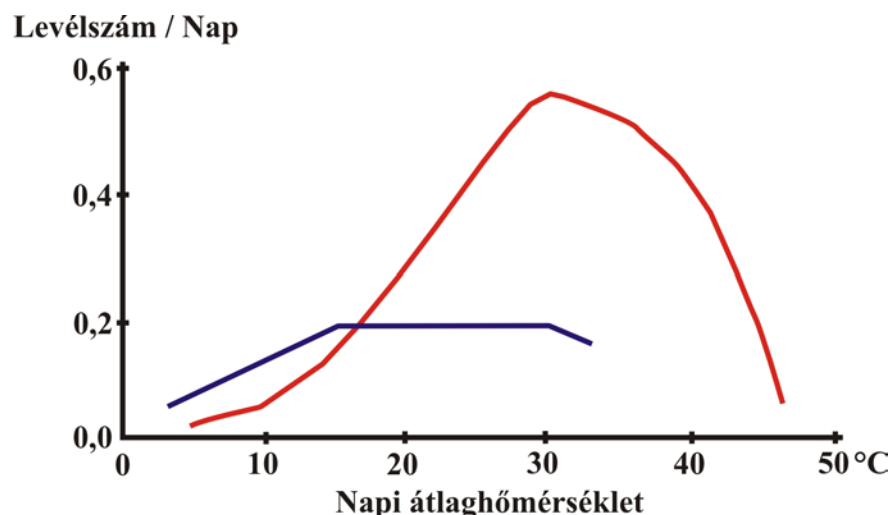
A hőmérséklet növényi működésre kifejtett hatása általában enzimikus folyamatokban jelenik meg (Shaw, 1951). Az enzimek átalakulása a hőmérséklettől függő létfontosságú lépés ezekben a reakciókban (Láng G., 1970). Túl alacsony hőmérsékleten az enzim fehérje nem elég rugalmas, ezért nem alkalmas és nem képes az átalakulásra, túl magas hőmérsékleten pedig kicsapódik és a megváltozott szerkezet miatt nem képes a reakció katalizálására (Láng, 1976).

A kukorica a trópusi, szubtrópusi területek melegkedvelő növénye, mára azonban köszönhetően a nemesítési erőfeszítéseknek a mérsékelt égövi területeken bír a legmagasabb hozammal (Szász, 1968). Ha ugyanazon fajtákat egymást követően

magasabb földrajzi szélességű területeken vetik, magasabbra nőnek és levélszámuk, később pedig virágszámuk is magasabb lesz a főszáron, míg alacsonyabb szélességeken ennek pont az ellenkezője igaz (Szlovák, 1974). Európában a kukorica az 50. szélességi fokig termesztendő. Ahol alacsony a nyári átlaghőmérséklet, ott a kukoricát zöldtakarmányként, vagy silótakarmányként termesztik.

A hőmérséklet a vegetációs időszak alatt jelentősen befolyásolja a szár-gyökér arányt is (Szász, 1970). Lineáris kapcsolat figyelhető meg kumulált hőösszeg-értékek és az utolsó főgyökér tartalmazó fitomer vagy felbukkanó gyökér között (Pellerin, 1993).

A hőmérsékleti görbéknek tipikusan két oldaluk van, egy növekedési oldal, ahol a molekulák hőaktivitása növeli a reakciók hatékonyságát, és egy süllyedő rész, ahol a magas hőmérséklet fokozatosan inaktívál bizonyos enzimeket. A küszöbhőmérséklet közelében a kapcsolat gyakorlatilag exponenciális, míg a hőmérséklet emelkedésével a fejlődési ráta és a hőmérséklet közötti linearitás csak viszonylag szűk hőmérsékleti határok között figyelemreméltó (Varga-Haszonits, Botos L., 1974). A két oldal között éri el a görbe a csúcspontját, az optimális hőmérsékleti értékeknél (3. ábra). A görbe 45°C fok környékén éri el az abszcissa tengelyt, mivel a maximum érték fajtánként vagy genotípusonként meglehetősen változékony, nagyon kevés biológiai folyamat megy végbe e fölött a hőmérséklet fölött (Menyhért, 1975).



1. ábra: Levélszám és átlaghőmérséklet viszonya kukoricánál (piros) és búzánál (kék)

Sokféle enzim játszik szerepet a növény fejlődésében, a fotoszintézisről gondoskodó enzimek pedig különösen fontosak. Jelentős különbség van a C3-as (pl. búza) és a C4-es (pl. kukorica) növények között, ha a fotoszintézishez használt enzimeket vizsgáljuk

(Coligado, 1974). A piruvát-foszfát dikináz, ami a PEP-et és ezáltal a CO₂ akceptort biztosítja a C4-esekben, érzékeny az alacsony hőmérsékletre, míg a C3-asok alacsony hőmérsékleten is hatékonyak (Edwards, 1986). Az 1. ábra mutatja a búza és kukorica összehasonlított minimum, maximum és optimum hőmérsékleteit.

Tollenaar és társai (1979) kimutatták és kísérletekkel alátámasztották, hogy a hőmérséklet és a levélfejlődés között a kukorica esetében lineáris kapcsolat van, megközelítőleg 15 és 30°C között, míg pl. a búza esetében egy kevésbé kicsúcsosodó hőmérsékleti igénnyel számolhatunk. Duncan és Hesketh (1968) is egy átlagosan 3 leveles növekedést mutattak ki a hőmérséklet 10°C-os emelkedése mellett 15 és 36°C között. Korábbi kutatások eredményei azt is alátámasztották, hogy az egymást követő levélfejlődési állapotok hőmérsékleti igénye hozzávetőlegesen állandó (Brouwer et al., 1973). Arnold (1969) szerint a hőmérséklet a levélszám alakulására a négyleveles állapottól a címerhányásig van hatással.

Általánosságban elmondható, hogy a levélképződés üteme inverze annak az időtartamnak, ami alatt két egymást követő levél képződik (filokron).

A napsugárzás szerepe a kukorica egyedfejlődésében

Habár a növény fejlődése és növekedése nagyrészt a levélzet (ill. szervkezdemény) hőmérsékletétől függ, léghőmérsékleti adatokat kell használnunk, mivel a növény felületéről vett hőmérsékleti adatok általában nem állnak rendelkezésre (Dijkhuis, 1971). A léghőmérséklet és a levélhőmérséklet közötti különbség számos tényezőtől függ. Az egyik legfontosabb ezek közül a vízstressz. Ehrler és társai (1978) kimutatták, hogy a nedves növénytakaró a hőmérséklete akár 4°C-kal is magasabb lehet a léghőmérsékletnél annak ellenére, hogy a vízzel jól ellátott haszonnövények hőmérséklete általában alacsonyabb, mint a levegő hőmérséklete.

A másik növényfelület-hőmérséklet és léghőmérséklet között különbséget növelő tényező a napsugárzás (Felméry, 1974), minél jelentősebb a sugárzás, annál nagyobb a különbség a levélfelület hőmérséklete és a léghőmérséklet között (Lana, 1952). Caprio 1974-es közönséges orgonára (*Syringa Vulgaris*) vonatkozó mérései során találta úgy, hogy azoknak a növényvel borított területeknek volt szüksége magasabb hőösszeg-értékekre a virágzáshoz, amelyeket a tavasz során kevesebb napfény ért. Az adatok elemzése során úgy találta, hogy a virágzáshoz szükséges hőösszeg-értékek (0°C fölött)

esetében magasabb ingadozás volt megfigyelhető, mint a fototermális (hőegység * napsugárzás) értékeknél.

Általánosságban tehát elmondható, hogy egy szoláris változó használata bizonyos körülmények között növelheti a fenofázisok előrejelzésének pontosságát Sierra (1977).

A fotoperiodizmus szerepe a kukorica egyedfejlődésében

A növényfejlődést befolyásoló és szorosan a napsugárzáshoz köthető tényezőként említhetjük még meg a fotoperiodizmust.

A fotoperiodizmus vagy fényszakaszosság a növények válaszreakciója az éjszakák és nappalok hosszúságának változásaira (Kirby, 1995).

A fotoperiodizmus hatása a növényre és ezen belül is a levélszám alakulására még nem teljesen tisztázott (Wilhelm et al., 1995). Egyes kutatók azon a véleményen vannak, mivel a levélszám és ebből kifolyólag a levélfelület nagysága az alapja a fényenergia hasznosításán alapuló fotoszintézisnek és így a növény szervesanyag-tartalom növekedésének is, a fotoperiodizmus nagy jelentőséggel bír a kukorica egyedfejlődésében (Milford et al., 1980; Rawson et al., 1980). Mások szerint (Gmelig Meyling, 1973) a fotoperiodizmus hatása elhanyagolható, mivel kutatásaik során nem találtak jelentős különbséget az órás lebontású termális szolármodell és hőösszegmodell között (Caprio and Snyder, 1989) habár Warrington és Kanemasu (1983) egy kísérlet során megfigyelt egy 6 napos időtartam növekedést a vetés és teljes virágzás között annak hatására, hogy laboratóriumi körülmények között a napfényes órák számát 12-ről 16 óra/napra növelték. Roberts és Struckmeyer (1938) a fotoperiodizmus és hőmérséklet összefüggésére hívták fel a figyelmet, miután 9-és 16-órás nappali fényidőtartam értékek között 21°C-os éjszakai minimum hőmérséklettel nem találtak a fejlődésben jelentős különbséget, míg a minimum hőmérséklet 13°C-ra történő csökkentésével igen. A kérdéskör ellentmondásosságára utal még, hogy az olyan kísérletekben, melyekben a levélszám alakulását tekintették mutatószámoknak Stevenson és Goodman (1972) nem figyelt meg növekvő érzékenységet a fotoperiodikus hatásokra a hőmérséklet emelkedésével. Megfigyeléseik során 16 eltérő földrajzi szélességről (É. SZ. 21°-tól D. SZ. 32°-ig) származó kukoricafajtát vizsgáltak (Kinry, 1983).

A kutatók abban egyetértenek, hogy a legtöbb kukoricafajta levélszám-gyarapodással válaszol a hosszabbodó nappali időszakokra, habár reakciójuk eltérő mértékű, szuperérzékeny, érzékeny és a megközelítően érzéketlen kategóriák azok, amiket ebből

a szempontból felállíthatunk (Francis et al., 1970; Hunter et al., 1974). Általában a későn érő fajták inkább érzékenyek a fotoperiodizmus hatásaira, de a korai érésű fajták között is vannak szuperérzékeny változatok (Rood and Major, 1980).

A válaszreakciók tekintetében a hőmérsékleti reakciókkal ellentétben itt nem figyelhető meg szabályszerűség (Major, 1980). Egyes cikkekben megállapítják, hogy a kukorica csaknem mindegyik vegetációs időszakában érzékeny a fotoperiodikus hatásokra (Galinat and Naylor, 1951). Mind a fotoperiodicitás, mind pedig a hőmérsékleti érzékenység szempontjából a vegetatív fázisban 2 részfázis, a juvenilis és a szenzitív fázis különíthető el (Arnold, 1969). Mivel a kukorica levélszáma a magban lévő levélkezdemények számától és a levélnövekedés ütemétől függ, a címerhányás kezdetére, amely a vegetatív periódusból a reprodukív periódusba való átmenetet jelképezi, már mindegyik primordia kialakul (Watts, 1972). Közvetlenül a címerhányás előtt beszélhetünk még egy a juvenilis fázishoz hasonló, hőmérsékletre és fényszakaszosságra kevésbé érzékeny és meglehetősen rövid időszakról (Porter & Delecolle, 1988). A szakirodalomban tekintettel a fotoperiodizmus számításának nehézségére, ebből a szempontból általában 3 szakaszra bontják a tenyészidőszakot, hosszú, átlagos és rövid fotoperiódusos etapokra (Lappalainen, 1994).

Összefoglalásként elmondható, hogy kukorica érzékeny a fotoperiodizmusra és a hosszabbodó nappalokra, elhúzódó fenofázisokkal válaszol (Sprague, 1934; Rodgers, 1950).

3.2. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS ALAP PROBLÉMÁJA

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 (Schmidlin, Dethier, 1987). A későbbiek folyamán számos kutató is megerősítette (Hanna, 1925), hogy rendkívül szoros az összefüggés az átlaghőmérséklet és a kukorica fejlődése között. Ez a hőmérsékleti normalizálási eljárás a növényfejlődési paraméterek előrejelzése érdekében széles körben alkalmazott volt a XX. században (Baron, 1975). Azon kutatók, akik tanulmányozták a módszer használatát ugyanazon kultúra, de más környezeti körülmények esetében, rengeteg pontatlanságot fedeztek fel benne (Hodges, 1991). Gilmore és Rogers (1958) Texasban megállapította, hogy a képlet a hűvös éjszakák miatt pontatlan a kukorica hőösszegének

megállapításánál, ezért a nap háromórás időszakokra történő felbontását javasolták. A módszer fejlesztésénél a legnagyobb figyelem azt az alsó küszöbhőmérsékletet illetve, amelynél a fejlődés már zérusnak tekinthető, illetve azt a felső hőmérsékleti határt, amelynél a növekedés megáll, vagy már leépülés figyelhető meg (Yin et al, 1995). Számos sikeres számítási módszer született ezzel kapcsolatban.

A sok évtizedes gyakorlati tapasztalatok azt igazolták, hogy a kukorica hőigénye a napi átlagos hőmérsékletek összegzésével kifejezhető. A növények életritmusra, fenológiai fázisokra bonthatók morfológiai jelenségek alapján. A fenofázisok kezdetét mindig egy új szerv megjelenése képezi, így a kukorica fenofázisai az alábbiak:

1. vetés – kelés
2. kelés – címerhányás
3. címerhányás – virágzás
4. érés

Tekintettel arra, hogy a különböző fenofázisok időtartama nagymértékben különbözik, ezért célszerű a további szakaszokra való bontás, ugyanis ezáltal az igényváltozás pontosabban meghatározható. Ez a tétel elsősorban a második és a negyedik fázisra fogadható el. A fenofázisok nem tekinthetők egyértelműen fejlődési szakaszoknak, s az egymást követő fenológiai fázisok csupán külső morfológiai állapotváltozást fejeznek ki, amelyet vizuálisan szokás megállapítani.

Hosszú időn át feltételezett volt, hogy a 0°C feletti napi átlagos hőmérséklet összege fenofázisonként azonos, és ha ezt elosztjuk a fázisstartam napokban kifejezett értékével, eredményként a fok-nap összeget kapjuk meg. A fok-nap faji, illetve fajtajellemző érték, amely kifejezi a növény hőmérsékleti igényét. A fenológiai megfigyelési adatoknak a hasznosítási lehetősége igen sokféle lehet, ugyanis az egyes fenológiai események dinamikáját a környezeti feltételek igény szerinti minősége tükrözi. A fenológiai fázisok tartama szintén faji tulajdonság csoportjába sorolható attól függetlenül, hogy a környezeti tényezők igen nagy különbséget hozhatnak létre. A környezeti tényezők közül ki kell emelni a hőmérsékletet, mint a fázisstartamot meghatározó tényezőt. Az összeg számítását régebben attól a naptári naptól kezdték el, amikor a napi átlaghőmérséklet 0°C-ot meghaladta. Burckhardt és de Candolle 1860-as években végzett kísérletei alapján azt tapasztalta, hogy a vegetációs 0-pont nem azonos a hőmérsékleti 0°C-kal, hanem annál eltérő növényfajoktól függően magasabb. A vegetációs 0-pont fajspecifikus érték, melyet *bázishőmérsékletnek* (T_B) neveznek. A

bázishőmérséklet az a hőmérsékleti pont, amely felett a napi középhőmérsékleti értékek összegzése az alábbiak szerint történik:

$$\Sigma T_B = \sum_i^n (T_i - T_B)$$

A bázishőmérsékletet a növénytermesztési gyakorlatban és bizonyos elméleti megfontolásokban rendszeresen használják, s napjainkban ugyancsak empirikus módon történik meghatározása. A bázishőmérséklet számított értéke és a fenológiai fázis tartama között hiperbolikus összefüggés áll fenn (Szász, 1988.). A hivatkozott munkában közölt összefüggés segítségével a T_B megállapítható, azonban a tapasztalatok alapján évjáratonként el nem hanyagolható különbözőség állapítható meg, így a hasznos hőérték is bizonyos szórást mutat és nem tekinthető állandónak.

A bázishőmérséklet bizonyos fizikai hipotézisekre épül. Általános biofizikai jelenség, hogy a hőmérséklet növekedése – egy meghatározott intervallumban – a növekedést serkenti. Ebből arra lehet következtetni, hogy az ún. aktív hőmérsékletnek alsó és felső határértéke van. Az alsó határérték a bázishőmérséklet, a felső határérték pedig jellemzi annak a termikus tartománynak a felső küszöbét, amelyben az asszimiláció és a disszimiláció (légzési anyagvesztés) egymással egyensúlyban áll. Ebből megállapítható, hogy amikor hőmérsékleti mennyiségről beszélünk, valójában vele arányos energiamennyiségről van szó. Ezt a törvényszerűséget Van't Hoff (1883) fizikailag bebizonyította, melynek lényege az, hogy a hőmérséklet emelkedése a különböző fiziko-kémiai reakciók sebességét fokozza.

Később ezt a törvényszerűséget Arrhenius fejlesztette tovább oly módon, hogy az aktiváló energia és a hőmérséklet közötti összefüggés logaritmikus arányát határozta meg, s eredményként jutott el a Q_{10} -hez:

$$Q_{10} = \exp\left(\frac{10E_a}{RT_r^2}\right)$$

E_a : az aktivációs energia nagysága, R : az egyetemes gázállandó, T_r : a viszonyítási, ún. referencia hőmérsékleti érték. A folyamat-hőmérsékleti válaszában kifejezésére szolgáló k -érték és a Q_{10} faktor között az alábbi összefüggés áll:

$$k = k_r Q_{10}^{[(T-T_r)/10]}$$

amelyben tulajdonképpen a k -érték szerint módosul a hőmérséklettel szembeni érzékenység a Q_{10} függvényében.

A k -érték tehát egy olyan függvény, melyet logaritmizálva lineáris összefüggéshez jutunk el, vagyis:

$$\ln k = \ln k_r + \left(\frac{T - T_r}{10} \right) \ln Q_{10}$$

Ez az összefüggés kimondja, hogy a hőmérséklet emelkedésével milyen mértékben változik a fotoszintézis sebessége. Az aktivációs energia nagysága:

$$E_a = RT^2 \left(\frac{\partial \ln k}{\partial T} \right)$$

Tehát minél nagyobb az aktivációs energia nagysága, a folyamat annál erőteljesebb egy maximális értékig. Ha a hőmérséklet tovább emelkedik, elér egy olyan szélsőértéket, amelytől a hőmérsékleti hatás már csökkenést vált ki.

A felső határérték – amely egyben szélső érték – tapasztalati érték, amely körül lényeges nézetkülönbség nem alakult ki, ugyanis kukoricánál ez 30-35°C közötti. Lényegesen bonyolultabb kérdést képez a bázishőmérséklet értelmezése és annak alkalmazása a gyakorlatban. Az utóbbi évtizedekben a kukorica bázishőmérsékletét 8-10°C értékben állapították meg, s ennek alapján történik a napi középértékek összegzése. Az Arrhenius-törvény a magyarázata annak, hogy különböző bázishőmérsékleteket célszerű használni, elsősorban olyat, amelyik illeszkedik a klimatikus feltételekhez és a növény hőmérsékleti igénye szerint változik a tenyészidőszak folyamán. Az utóbbi kritérium a kukoricánál teljesül, azonban a bázishőmérséklet a tenyészidőszak előrehaladtával a kelést követően folyamatosan emelkedik, majd a tenyészidőszak végén értéke közömbössé válhat tekintettel arra, hogy ekkor már növekedés, fejlődés nincs, mivel a növény fotoszintetikus tevékenységet nem folytat.

A fenofázisok és a növények tenyészidőszakának pontos meghatározása tekinthető a számítási módszerek legeredményesebb alkalmazási területeinek (Abrami, 1972). A szántóföldi kísérletek során manapság egyenesen elengedhetetlen, hogy rendelkezésre álljon egy megbízható hőösszeg-számító módszer, főként ha az adott próbák kifejezetten az alkalmazott kezelések (öntözés, növényvédőszer, műtrágyák) hőmérsékleti összefüggéseire kívánják rávilágítani (Cross and Zuber, 1972).

Mindamellet a hőösszeg-számítás jóval pontosabb értékeléseket tesz lehetővé, összehasonlítva más megközelítésekkel, mint pl. az eltelt naptári napok segítségével történő becslések (Tsotsis, 1958; McMaster and Smika, 1988; Ruselle et al., 1984), vagy az MRMR (Minnesota Relative Maturity Rating). A napokban kifejezett MRMR

relatív osztályozást tesz lehetővé oly módon, hogy a tenyészidőszak során az érettséghez szükséges napok száma szerint kategorizálja a hibrideket, a korábbi évek tapasztalatai alapján (Peterson and Hicks, 1973). Mindazonáltal ahogy a neve is mutatja viszonylagosságát, a naptári módszerhez hasonlóan csak egy instabil becsléshez alkalmazható (Baskerville, 1974).

Számos kísérlet során bebizonyosodott már, hogy az egyes fenofázisok eléréséhez, például az ültetéstől a nővirágzásig (Gunn, 1963) az eltérő környezeti feltételek ellenére közel azonos hőösszeg elérésére van szükség, míg a tenyészidőszak napokban kifejezett hossza a klíma és fajtaadottságotól függően változhat (Andrew, 1956).

Olyan esetekben is lényeges egy jól használható számítási módszer megléte, ahol a gazdálkodónak nem sikerül elvégezni a vetést az optimális időszakban és meg kell becsülni az emiatt a későbbiek folyamán várhatóan kieső termésmennyiséget (Marais, 1989).

Mivel a kukorica egyedfejlődésének egyik legérzékenyebb időszaka a címerhányás, a terméseredményekre nagy hatással van, hogy ebben az időszakban mennyi nedvesség éri a növényt (Denmead and Shaw, 1960; Parks and Knetsch, 1960). Így egy hozzávetőlegesen pontos számítási módszer segítségével gondosabban megtervezhető lehetne az öntözés folyamata, különösen a nedvességérzékeny időszakokban (Raddatz et al., 1994).

A hőösszeg további alkalmazási területei között említhetjük még a következőket (Ritchie and NeSmith, 1991):

- növények osztályozása virágzási sebesség vagy a fenofázisok hossza alapján (Derieux and Bonhomme, 1982)
- érettségi fok becslése (Gilmore and Rogers, 1958)
- zöltség-betakarítás ütemezése zseneségük függvényében (Katz, 1946)
- fejlődési szakaszok időtartam-becslése élőködők növényvédőszerrel történő megfékezése során (Bernal and Gonzalez, 1993)
- rovarterjedés megelőzése jobb növény-egészségügyi rálátással (Pruess, 1983)
- gabonafélék gombaspóra-képződésének meghatározása (Tyldesley, 1978)
- agroökológiai szempontú területértékelés (Gilmore and Rogers, 1958)
- konzervnövények elnyújtott érés melletti betakaríthatósága (Stewart et al., 1997)
- növényvédőszeres kiszórásának időzítése (Chiang, Sisson, 1968)

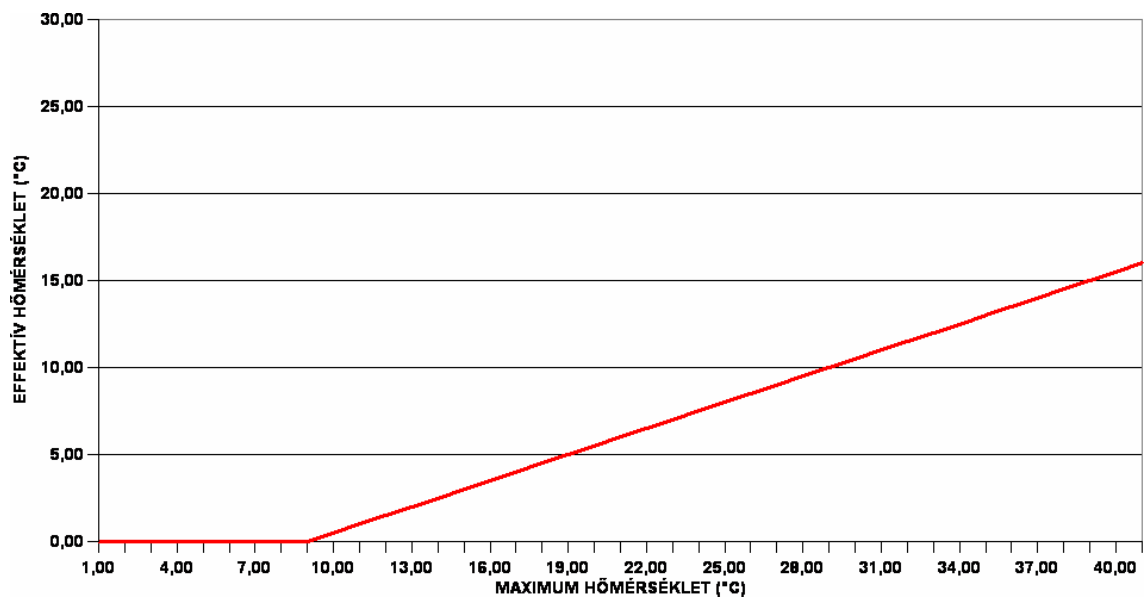
A hőösszeg számításának hagyományos formulája a napi minimum és maximum hőmérsékleteket veszi figyelembe, ezekből számít egy átlaghőmérsékletet, majd értékét csökkenti az adott növényre jellemző bázishőmérséklettel.

$$[1] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (\mathbf{T}_{i,\text{MIN}} + \mathbf{T}_{i,\text{MAX}}) / 2 - \mathbf{T}_B$$

Ha $T_{i,\text{MAX}} < T_B$ akkor $T_{i,\text{MAX}} = T_B$
 Ha $T_{i,\text{MIN}} < T_B$ akkor $T_{i,\text{MIN}} = T_B$

$T_{i,\text{MIN}}$ napi minimum hőmérséklet [°C]
 $T_{i,\text{MAX}}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 T_B bázishőmérséklet [°C]
 n fenofázis hossza [nap]

A fenti képlet alkalmazása akkor tekinthető hatékonynak, ha a nap folyamán a hőmérséklet nem, vagy csak minimális időre süllyed a bázishőmérséklet alá.



2. ábra: A hagyományos bázishőmérséklettel csökkentett átlaghőmérsékleti formula

A kukorica esetében alkalmazott hőösszeg-számítási módszerek közül ez a legelterjedtebb (Baker et al., 1986; Swanson and Wilhelm, 1996; Bauer et al., 1988).

Általános képe nek ábrázolása a $T_{i,MIN}$ 0°C-on tartása mellett, a $T_{i,MAX}$ 0°C és 40°C közötti emelésével történt (2. ábra). A bázishőmérséklet beiktatása miatt a hasznos hőmérsékleti grafikon 9°C-tól indul emelkedésnek.

Az alapformula értelmezésében és alkalmazott feltételek tekintetében is mutatkoznak eltérések, variációk, tovább színesítve ezzel a hőösszeg-számítási módszerek palettáját.

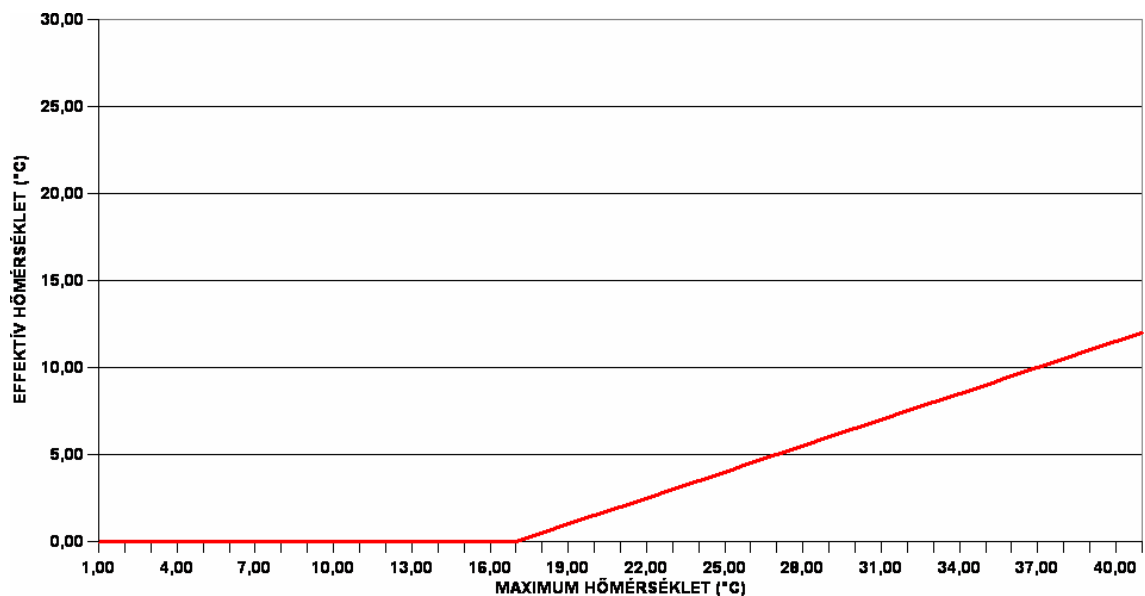
3.5. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

3.5.1. NAPI LEBONTÁSÚ KÉPLETEK

$$[2] \quad HÖ = \sum_i (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B$$

Ha $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 < T_B$ akkor $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 = T_B$

$T_{i,MIN}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
T_B	bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]



3. ábra: A hagyományostól a kitételekkel eltérő számítási módszer képe

A fenti variáció esetében a feltétel nem bontja szét és értelmezi külön-külön a napi minimum és maximum hőmérsékleteket, hanem a kettő átlagával számol, tehát a két képlet között a fő különbség a bázishőmérséklethez való hasonlítás. Az első módszer

esetében a T_B - sal való összehasonlítás az átlag kiszámítása előtt történik, míg a második módszernél már az átlaghőmérsékletet vetjük össze a bázishőmérséklettel. A képlet egyéb jellemzőiben megegyezik az előzővel. A bázishőmérséklet a kukorica esetében általában 5 és 10°C között van. Ez a módszer a legelterjedtebb, különösen a szimulációs modellekben (Davidson and Campbell, 1983; Gallagher, 1979; Nield and Seeley, 1977). Az előző módszerhez képest a különbség a kitételekből fakad, a grafikonon az eltérést a bázishőmérsékleti X-tengellyel párhuzamos szakasz hosszának megduplázódása mutatja, csak 17°C-os $T_{i,MAX}$ -tól indul el fölfelé, de meredeksége megegyezik az előzőével (3. ábra).

ONTÁRIÓ HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁSI MÓDSZER

$$[3] \quad Y_{i,MIN} = \sum_{i=1}^n 1,8 * (T_{i,MIN} - T_{ÉB})$$

$$Y_{i,MAX} = \sum_{i=1}^n 3,33 * (T_{i,MAX} - T_{NB}) - 0,084 * (T_{i,MAX} - T_{NB})^2$$

$$HÖ = \sum_{i=1}^n (Y_{i,MIN} + Y_{i,MAX}) / 2$$

Ha $T_{i,MIN} \leq T_{ÉB}$ akkor $Y_{i,MIN} = 0$

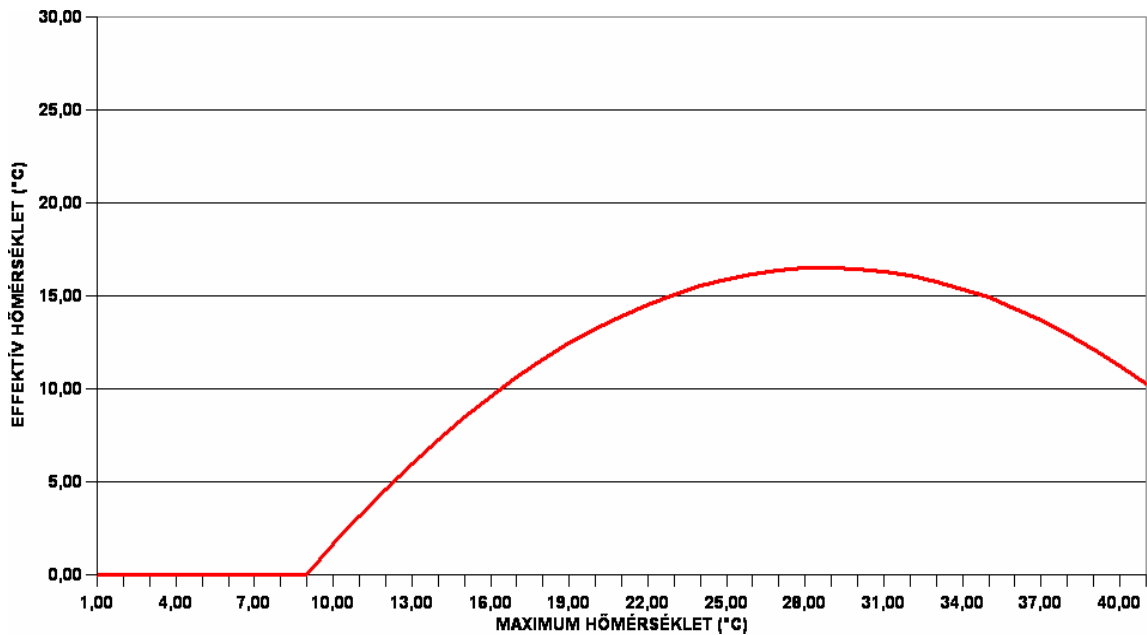
Ha $T_{i,MAX} \leq T_{NB}$ akkor $Y_{i,MAX} = 0$

$Y_{i,MIN}$	éjszakai minimum hőmérsékletből interpolált részeredmény [°C]
$Y_{i,MAX}$	nappali maximum hőmérsékletből interpolált részeredmény [°C]
$T_{i,MIN}$	napi minimális hőmérsékleti érték [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximális hőmérsékleti érték [°C]
$T_{ÉB}$	éjszakai bázishőmérséklet [°C]
T_{NB}	nappali bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]

Ebben az esetben a 24 órás időtartam alatt előforduló, az éjszakai és nappali terminusokban mérhető minimum és maximum hőmérsékletek, valamint empirikus értékek segítségével interpolált adatok adják az effektív hőösszeg eredményeket. Az éjszakai bázishőmérsékletre a kukorica esetében általában 4,4°C-ot, vagy 5,5°C-ot, a nappali bázishőmérsékletre 8 vagy 10°C-ot adnak meg (Edey, 1977).

Ez a képletkombináció felismeri és alkalmazza a növényi válaszreakciók nemlineáris voltát a hőmérsékleti változásokra, azaz a fejlődéshez szükséges optimális hőmérsékleti tartomány meglétét. Az alábbi grafikon jól szemlélteti a 8°C-os bázishőmérsékletet

valamint, hogy a görbének van maximuma (16,5°C), amely után a hasznos hőmérsékleti összeg süllyedésnek indul (4. ábra).



4. ábra: Az Ontárió számítási módszer általános lefutása

A nappali részképlet 10 és 20°C között majdnem lineáris kapcsolatot mutat a fejlődés és hőmérsékleti emelkedés viszonyában, míg 20 és 30°C között egy pozitív, de csökkenő intenzitású fejlődési kapcsolat mutatható ki.

Az éjszakai részképlet 4,4°C fölött lineáris kapcsolatot jelez a fejlődés és hőmérsékleti emelkedés relációjában (Bunting, 1976).

Ezzel a képletkombinációval kapcsolatban több tudományos eredmény is azt mutatta ki, hogy meglehetősen jól használható kukorica fenofázis-becslésnél, kevésbé speciális mikroklímával rendelkező területeken (Brown, 1969).

A képlet rugalmasságát mutatja, hogy még ha nem is alkalmazható minden körülmény között ugyanolyan hatékonysággal, a külön képletbe illesztett éjszakai és nappali bázishőmérsékletek finomításával fokozható a pontosság és alkalmazhatóság. Erre példaként említhető, hogy a 80-as évek végén Cutforth és Shaykewich (1989) manitobai (Kanada) klímakondíciók között próbálták alkalmazni a módszert, amely egy hűvösebb éghajlatú terület és úgy találták, hogy nem voltak állandóak az adott fenofázisok eléréséhez szükséges hőegységértékek. Módosították a rendszert, a $T_{\text{éb}}$ -t 4,4°C-ról 7°C-ra növelték, míg a T_{nb} -t 10°C-ról 15°C-ra emelték.

STEWART-FÉLE HŐINDEX ALGORITMUS

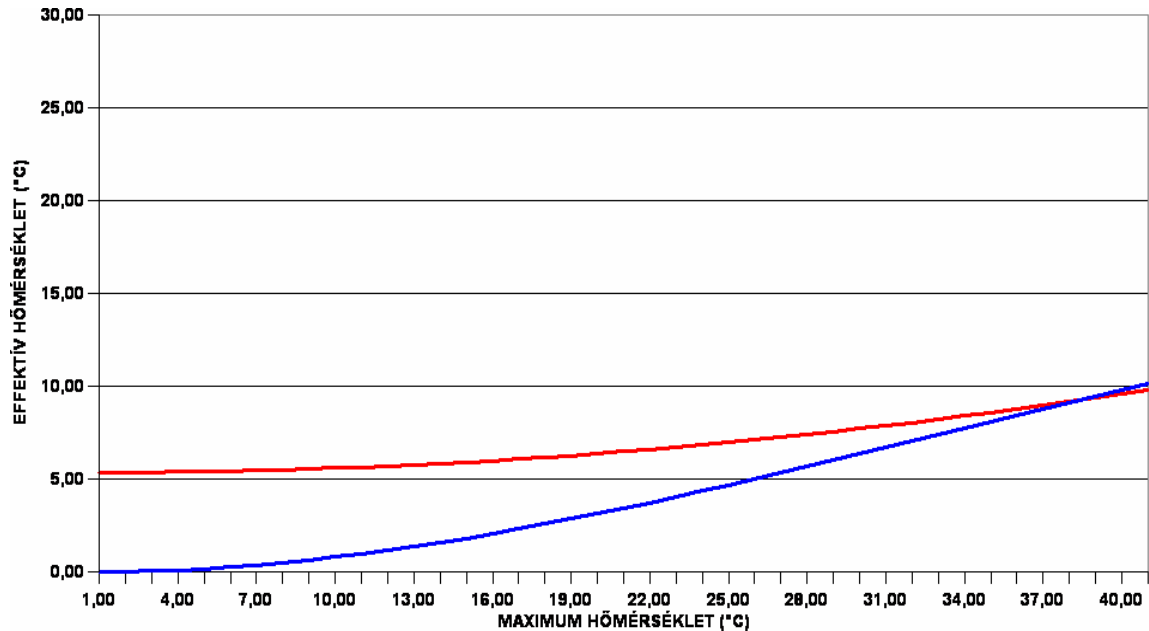
$$[4] \quad \text{HÖ}_{\text{VEG}} = \sum_{i=1}^n 0,0432 * T_{\text{ÁTL}}^2 - 0,000894 * T_{\text{ÁTL}}^3$$

$$\text{HÖ}_{\text{FILL}} = \sum_{i=1}^n 5,358 + 0,011178 * T_{\text{ÁTL}}^2$$

HÖ_{VEG}	növekedési időszakra vonatkozó hőegység [°C]
HÖ_{FILL}	szemképződési időszakra vonatkozó hőegység [°C]
T_{ÁTL}	napi átlaghőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]

A Stewart-féle kombináció egy harmadfokú polinomiális hőfunkciós képlet, vagy más néven általános hőindex (General Thermal Index, GTI) (Stewart et al., 1998).

A hőegység-számítási módszereket nagyon sok kritika érte azzal kapcsolatban, hogy a növények a különböző fenofázisokban eltérő mértékben reagálnak akár pontosan ugyanarra a környezeti hatásra is (Katz, 1946; Holmes and Robertson, 1959). További problémát jelent, hogy a növény felső és alsó küszöbhőmérsékletei is folyamatosan változnak az érés során (Wang, 1960; Chang, 1968).



5. ábra: A Stewart-féle számítási módszer fenofázisokra bontva

Ezt hivatott kiküszöbölni a Stewart-féle összefüggés (5. ábra). A 2 fő fenofázisban eltérő empirikus állandókkal és összefüggéssel számol (Kish et al., 1972; Dwyer and Stewart, 1999). A növény vegetatív szakaszában használandó képlethez tartozó alsó

görbe (kék szín) 0,0432°C-ról való indulás után lassú emelkedéssel szinte teljesen lineáris dinamikával emelkedik törés nélkül a végén. A reproduktív szakaszhoz tartozó felső görbe (piros szín) a képlet 5,358°C-ról indul és a vegetatív fenofázishoz tartozó görbéhez képest kevésbé dinamikusan emelkedik.

RITCHIE-FÉLE ALGORITMUS

$$[5] \quad \mathbf{H\ddot{O}} = \sum_{i=1}^n (\mathbf{30} - \mathbf{T_B}) * (\mathbf{1} - (\mathbf{T_{i,TMP}} - \mathbf{30}) / \mathbf{10}) / \mathbf{8}$$

$$\mathbf{T_{i,TMP}} = \mathbf{T_{i,MIN}} + \mathbf{T_{i,MFAC}} * (\mathbf{T_{i,MIN}} - \mathbf{T_{i,MAX}})$$

$$\mathbf{T_{i,MFAC}} = \mathbf{0,931} + \mathbf{0,114} * \mathbf{i} - \mathbf{0,0703} * \mathbf{i}^2 + \mathbf{0,0053} * \mathbf{i}^3$$

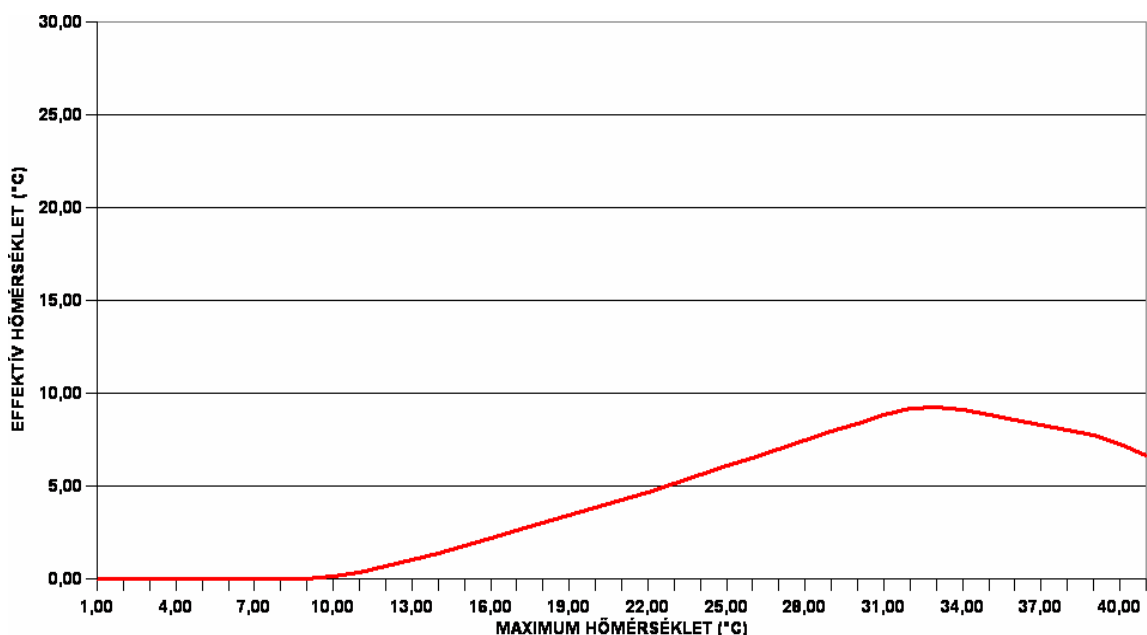
$$\mathbf{i} = \mathbf{1 \dots 8}$$

Ha	$\mathbf{T_{i,MAX}} < \mathbf{T_B}$	akkor	$\mathbf{H\ddot{O}} = \mathbf{0}$
Ha	$\mathbf{T_B} < \mathbf{T_{i,TMP}} \leq \mathbf{30}$	akkor	$\mathbf{H\ddot{O}} = \mathbf{H\ddot{O}} + (\mathbf{T_{i,TMP}} - \mathbf{T_B}) / \mathbf{8}$
Ha	$\mathbf{30} < \mathbf{T_{i,TMP}} < \mathbf{44}$	akkor	$\mathbf{H\ddot{O}} = \mathbf{H\ddot{O}} + (\mathbf{30} - \mathbf{T_B}) * (\mathbf{1} - (\mathbf{T_{i,TMP}} - \mathbf{30}) / \mathbf{10}) / \mathbf{8}$

$\mathbf{T_{i,MIN}}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$\mathbf{T_{i,MAX}}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
$\mathbf{T_B}$	bázishőmérséklet [°C]
$\mathbf{T_{i,TMP}}$	az i-edik időtartam számított hőmérséklete [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

A Ritchie-féle hőegység számítási metódus a napot nyolc, háromórás időtartamra bontja fel és súlyozza őket. Ezt egy harmadfokú egyenlettel valósítja meg, kiküszöbölve így a fejezet elején említett alapképlet azon hibáját, miszerint a hőmérséklet napi eloszlása nem szimmetrikus, a napi minimumból és maximumból számított átlaghőmérséklet és a tényleges átlaghőmérséklet között számottevő különbség is lehet. Az i-edik időtartam átlaghőmérséklete a képletkombináció második sorával, a háromórás időtartamok együtthatóinak kiszámítása az algoritmus harmadik sorával történik.

A fentiek alapján attól függően, hogy milyen magas az aktuális háromórás időtartam hőmérsékleti értéke, az egyenlet módosul. Ha a maximum hőmérséklet a bázishőmérséklet alatt van a hasznos hőegység nulla. Ha a számított időtartam hőmérséklete az optimális tartományon belül van, egynolcad súllyal növeli a napi hasznos hőegységet. Ha a háromórás időtartam hőmérséklete 30 és 44 °C közé esik, csökkenti a hasznos hőmérsékletet egy 0,1 – 1,0 közé eső korrekciós együtthatóval.



6. ábra: Ritchie-féle algoritmus általános futási képe

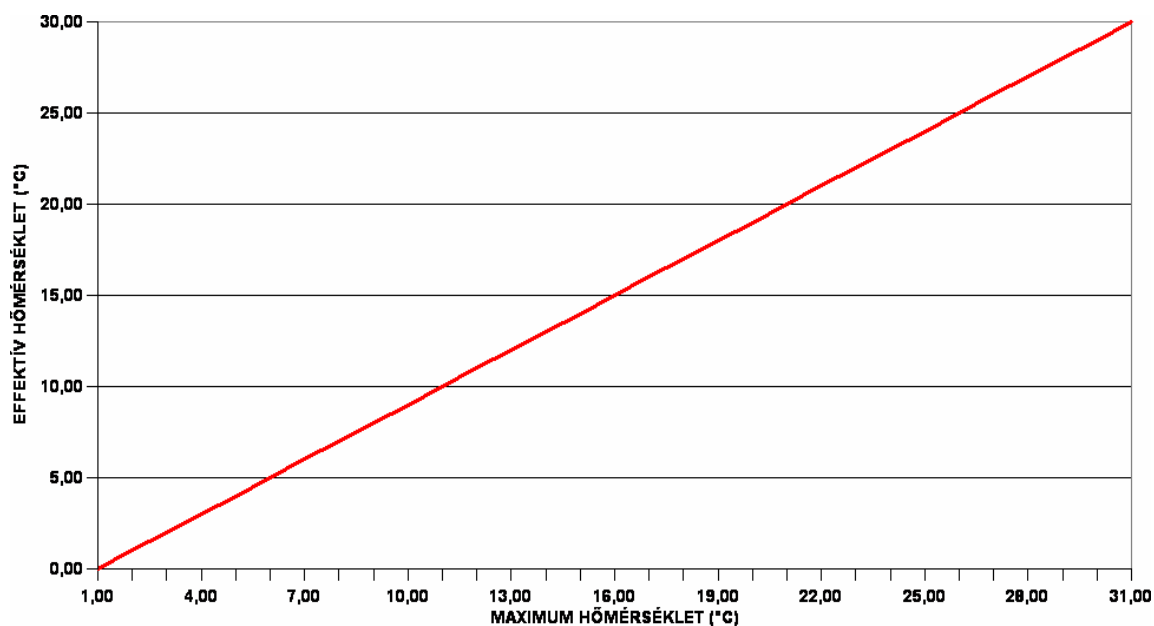
Ebben a képletkombinációban tehát már két felső küszöbhőmérséklet található, amely egy átmeneti hőmérsékleti változóval (T_{tmp}) van jelen a képletekben. Ezek szerint beszélhetünk egy felső küszöbhőmérsékletről, amely fölött lassul a fejlődés, illetve egy maximális felsőértékről, amely fölött bizonyos mértékű vitalitáscsökkenés figyelhető meg a növény esetében. Ez jól látszik a képletkombináció általános futásában (6. ábra), jól megfigyelhető a 30°C fok fölötti az effektív hőmérséklet süllyedni kezd, 44°C fok környékén pedig egy meredekebb zuhanásba megy át.

NAPI FELSŐKUMULÁCIÓS HŐÖSSZEG

Az alábbiakban olyan hőösszeg-számítási képletvariációkat mutatok be, melyek egy-egy főbb számítási módszerhez tartoznak, de mégsem képviselnek önálló, markánsan eltérő irányvonalat a sokféle eljárás között. A napi hőmérsékleti maximumokat adja össze és összesíti a tenyészidőszakra vonatkozóan. Az általános lefutásból jól látszik, hogy a korábbi képletektől eltérően nem tartalmaz semmiféle korlátozást, azonban a véges hőmérsékletekre kevésbé érzékeny növények esetében jól használható (7. ábra).

$$[6] \quad HÖ = \sum_{i=1}^n T_{i,MAX}$$

$T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 n fenofázis hossza [nap]

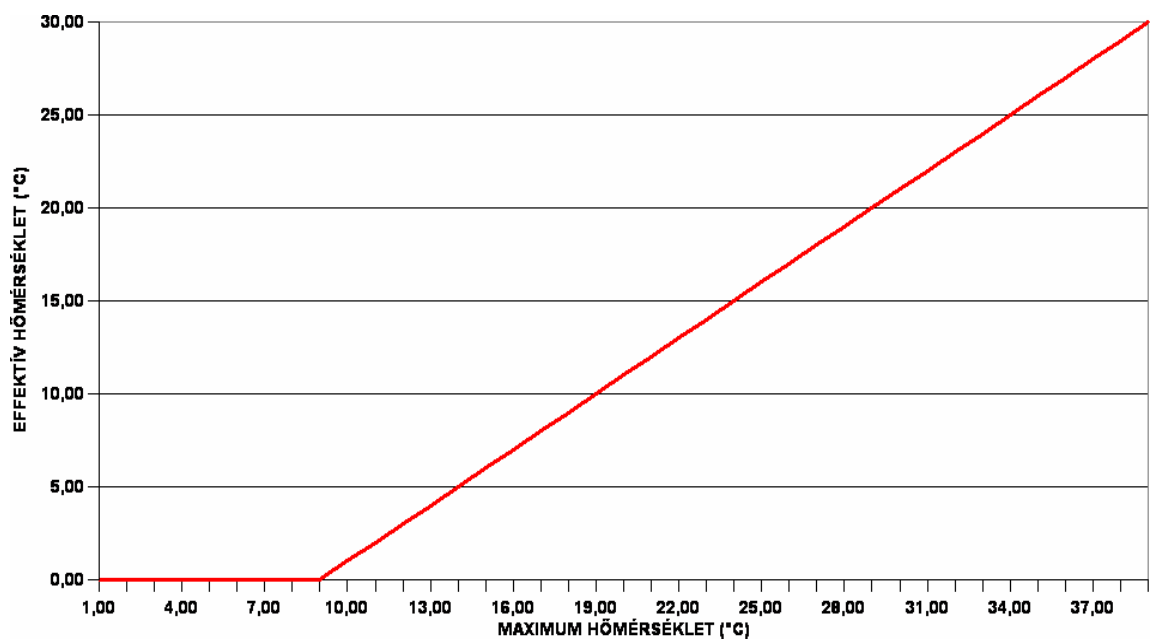


7. ábra: A napi felsőkumulációs hőösszeg általános lefutása

NAPI KORRIGÁLT FELSŐKUMULÁCIÓS HŐÖSSZEG

$$[7] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n T_{i,MAX} - T_B$$

$T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 T_B bázishőmérséklet [°C]
 n fenofázis hossza [nap]



8. ábra: Korrigált felsőkumulációs hőösszeg-számítás általános lefutása

A napi maximális hőmérsékleti értékeket korrigálja a bázishőmérséklet kivonásával. vonatkozóan. Az összegzés hasonlóan a napi maximális hőmérsékletekre vonatkozik. A grafikonból jól látszik, hogy csak akkor kezdi számolni a hasznos hőfokokat, amikor a $T_{i,MAX}$ már túllépett a korábban megállapított bázishőmérsékleten, jelen esetben a $8^{\circ}C$ -on (8. ábra).

NAPI ALSÓ KUMULÁCIÓS HŐÖSSZEG

$$[8] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n T_{i,MIN}$$

$T_{i,MIN}$ napi minimum hőmérséklet [$^{\circ}C$]
n fenofázis hossza [nap]

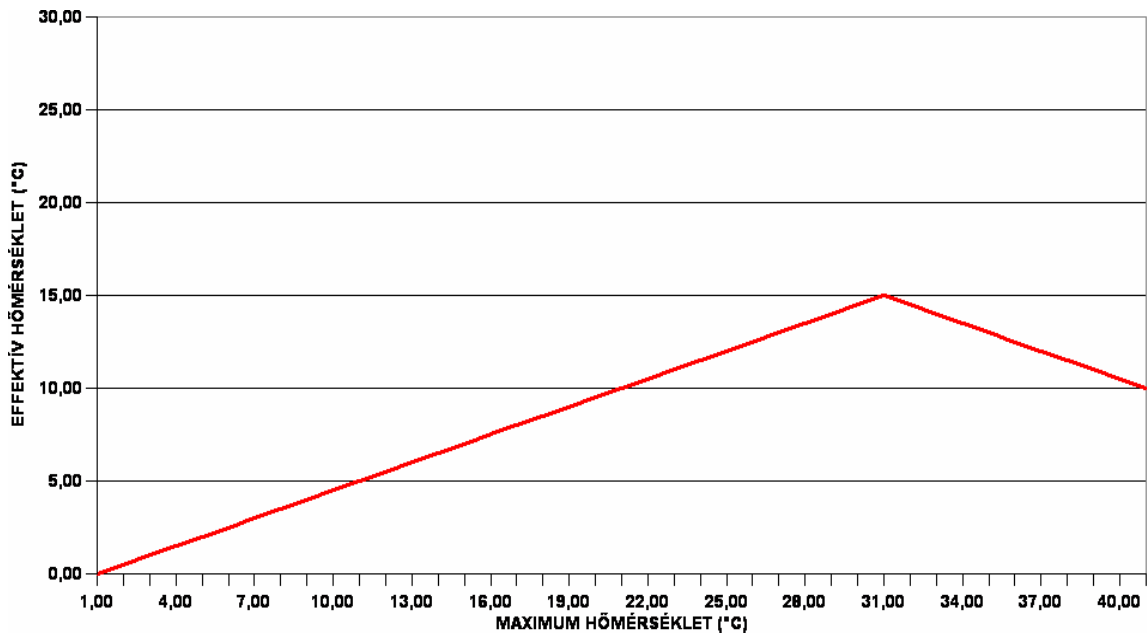
A napi hőmérsékleti minimumokat adja össze a tenyészidőszakra. Általános lefutásának képe megegyezik a napi felsőkumulációs hőösszeggel (9. ábra), ha a vízszintes tengelyre a T_{MIN} kerül. Jelentősége az alacsonyabb hőmérsékleti tartományban fejlődőképesebb növények esetében domborodik ki.

NAPI HŐSTRESSZEN ALAPULÓ ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[9] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2$$

Ha $T_{i,MAX} < T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{i,MAX}$
 Ha $T_{i,MAX} > T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{FK} - (T_{i,MAX} - T_{FK})$

$T_{i,MIN}$ napi minimum hőmérséklet [$^{\circ}C$]
 $T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [$^{\circ}C$]
 T_{FK} felső küszöbhőmérséklet [$^{\circ}C$]
n fenofázis hossza [nap]



9. ábra: Napi hőstresszen alapuló átlaghőmérsékleti hőösszeg

Tekintettel a 30°C-os felső küszöbhőmérsékletre és az átlagolásra 15°C-nál süllyedésnek indul az effektív hőösszeg, természetesen csak akkor ha a $T_{i,MIN}$ -t végig 0°C-on tartjuk. Nagyon szépen kirajzolódik a görbén a felső hőterhelésből származó feltételezett fejlődéscsökkenés (9. ábra).

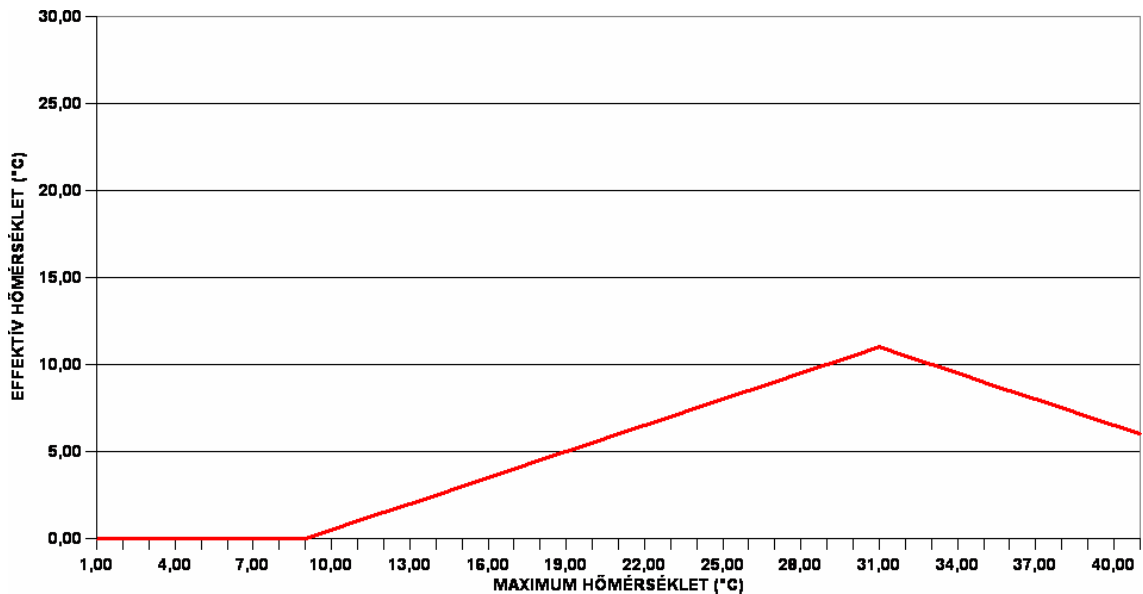
A kitételeknek megfelelően, ha a $T_{i,MAX}$ a felső küszöbhőmérséklet alatt marad, akkor nem történik beavatkozás a hőmérsékleti értékekbe, viszont ha túllépi a felső küszöbhőmérsékletet a mért adat, akkor a T_{FK} -ből kivonja a mért maximum hőmérséklet felső küszöbhőmérséklettel csökkentett értékét, és behelyettesíti a $T_{i,MAX}$ helyére.

NAPI KORRIGÁLT HŐSTRESSZEN ALAPULÓ HŐÖSSZEG

$$[10] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B$$

Ha	$T_{i,MAX} < T_{FK}$	akkor	$T_{i,MAX} = T_{i,MAX}$
Ha	$T_{i,MAX} > T_{FK}$	akkor	$T_{i,MAX} = T_{FK} - (T_{i,MAX} - T_{FK})$
Ha	$T_{i,MIN} < T_B$	akkor	$T_{i,MIN} = T_B$
Ha	$T_{i,MIN} > T_B$	akkor	$T_{i,MIN} = T_{i,MIN}$

$T_{i,MIN}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
T_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
T_B	bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]



10. ábra: Bázishőmérséklettel korrigált hőstresszen alapuló hőösszeg általános képe

Az alapképlet a tradicionális képlet eltérő kitételekkel. A 8°C-os bázishőmérsékletreől indul emelkedésnek a diagram. 0°C-os minimum hőmérsékletnél az effektív hőösszeg 19°C-ig emelkedik, aztán süllyedésnek indul (10. ábra).

A kitételeknek megfelelően, ha a $T_{i,MAX}$ a felső küszöbhőmérséklet alatt marad, akkor nem történik beavatkozás a hőmérsékleti értékekbe, viszont ha túllépi a felső küszöbhőmérsékletet a mért adat, akkor a T_{FK} -ből kivonja a mért maximum hőmérséklet felső küszöbhőmérséklettel csökkentett értékét, és behelyettesíti a $T_{i,MAX}$ helyére.

Ezen kívül a képlet bázishőmérséklettel történő korrekciója értelmében, ha a $T_{i,MIN}$ kisebb a bázishőmérsékletnél, akkor nem engedi a számított minimum hőmérsékletet a bázishőmérséklet alá.

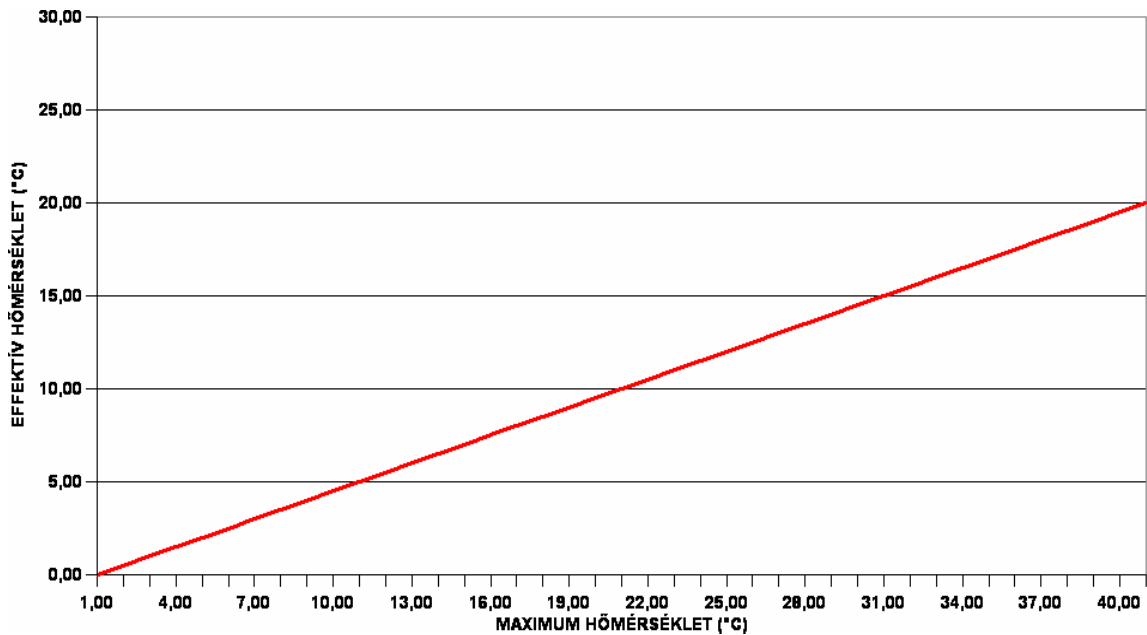
NAPI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[11] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2$$

$T_{i,MIN}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]

A napi átlaghőmérsékleteket adja össze a tenyészidőszak folyamán. Az átlaghőmérsékleti számításnak és a 0°C-on tartott minimumnak köszönhetően az

effektív hőösszeg a $T_{i,MAX}$ felét éri el, ebből kifolyólag egy kevésbé meredeken emelkedő diagram képében (11. ábra).



11. ábra: Átlaghőmérsékleti hőösszeg általános képe

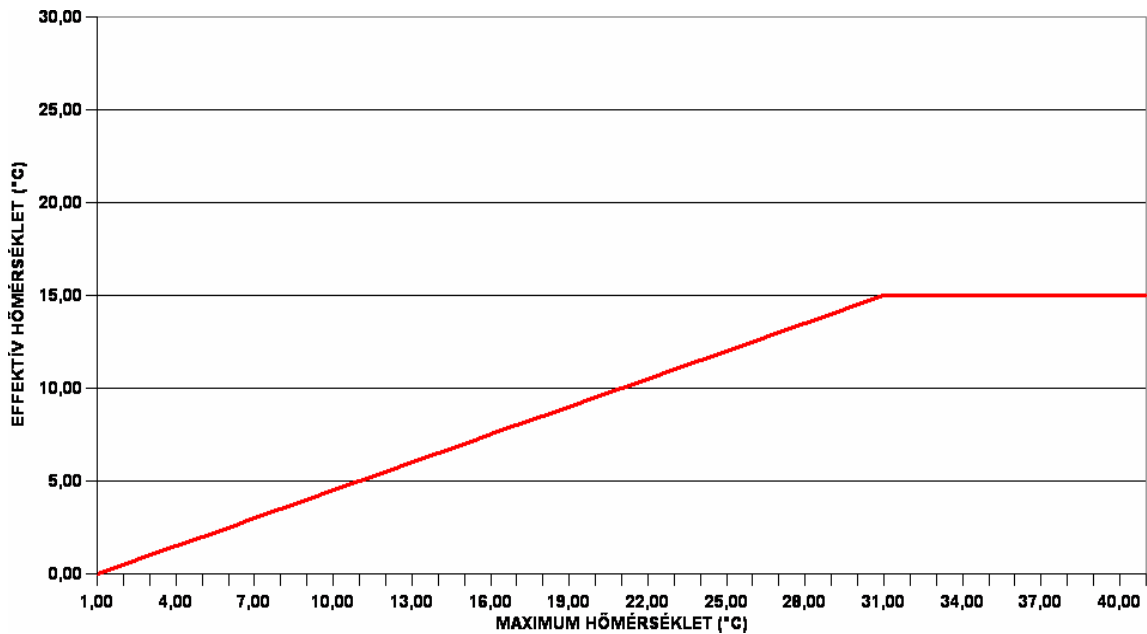
NAPI FELÜLRŐL KORLÁTOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[12] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2$$

Ha $T_{i,MAX} < T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{i,MAX}$
 Ha $T_{i,MAX} > T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{FK}$

$T_{i,MIN}$ napi minimum hőmérséklet [°C]
 $T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 T_{FK} felső küszöbhőmérséklet [C]
 n fenofázis hossza [nap]

A napi átlaghőmérsékleteket módosítja a feltételeken keresztül. A felső küszöbhőmérséklet elérésekor az egyenlet egyszerűen a $T_{i,MAX}$ -ot egyenlővé teszi a felső küszöbvel, így megáll az effektív hőmérséklet további emelkedése. Természetesen itt is, mint a többi képletnél a T_{FK} fajtaspecifikus, kukorica esetében 30°C az általánosan elfogadott felső küszöb (12. ábra).



12. ábra: Felülről korlátos átlaghőmérsékleti hőösszeg általános lefolyása

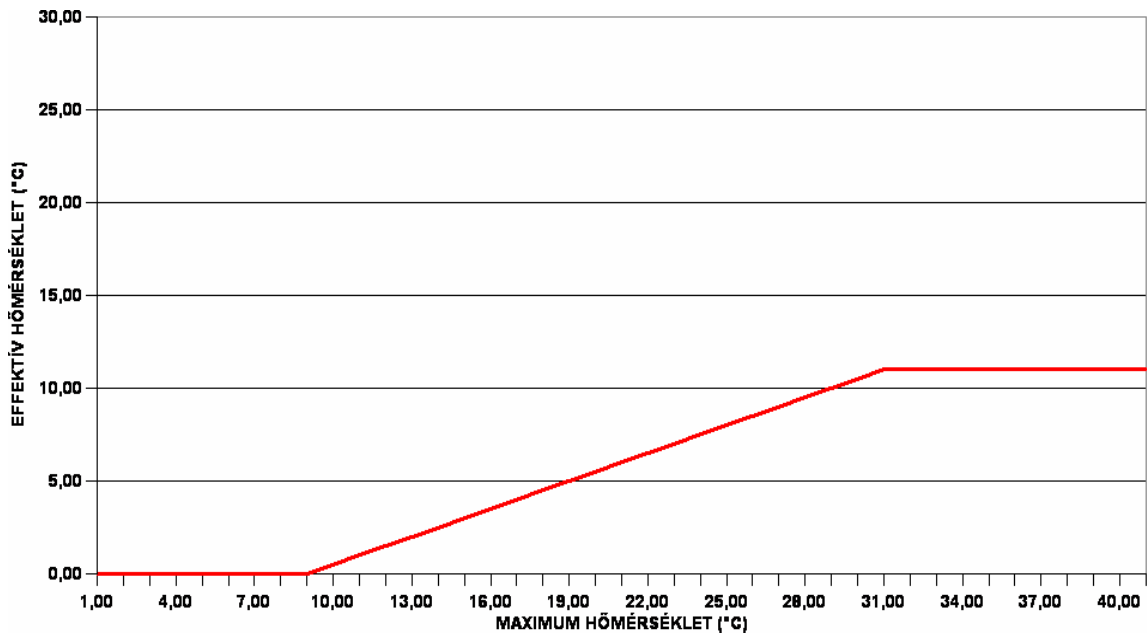
NAPI MÓDOSÍTOTT FELÜLRŐL KORLÁTOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[13] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B$$

Ha	$T_{i,MAX} < T_{FK}$	akkor	$T_{i,MAX} = T_{i,MAX}$
Ha	$T_{i,MAX} > T_{FK}$	akkor	$T_{i,MAX} = T_{FK}$
Ha	$T_{i,MIN} > T_B$	akkor	$T_{i,MIN} = T_{i,MIN}$
Ha	$T_{i,MIN} < T_B$	akkor	$T_{i,MIN} = T_B$

$T_{i,MIN}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
T_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
T_B	bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]

A napi átlaghőmérséklet és a felső küszöbhőmérséklet relációjában számol. Ha a bázishőmérsékletnek 8°C-ot adunk meg, a felső küszöbhőmérsékletnek pedig 30°C-ot, valamint az általános példánál maradva csak a $T_{i,MAX}$ -ot emeljük, akkor a hasznos hőösszeg a 8°C-tól emelkedik 30°C-ig (13. ábra).



13. ábra: Bázishőmérséklettel módosított felülről korlátos átlaghőmérsékleti hőösszeg

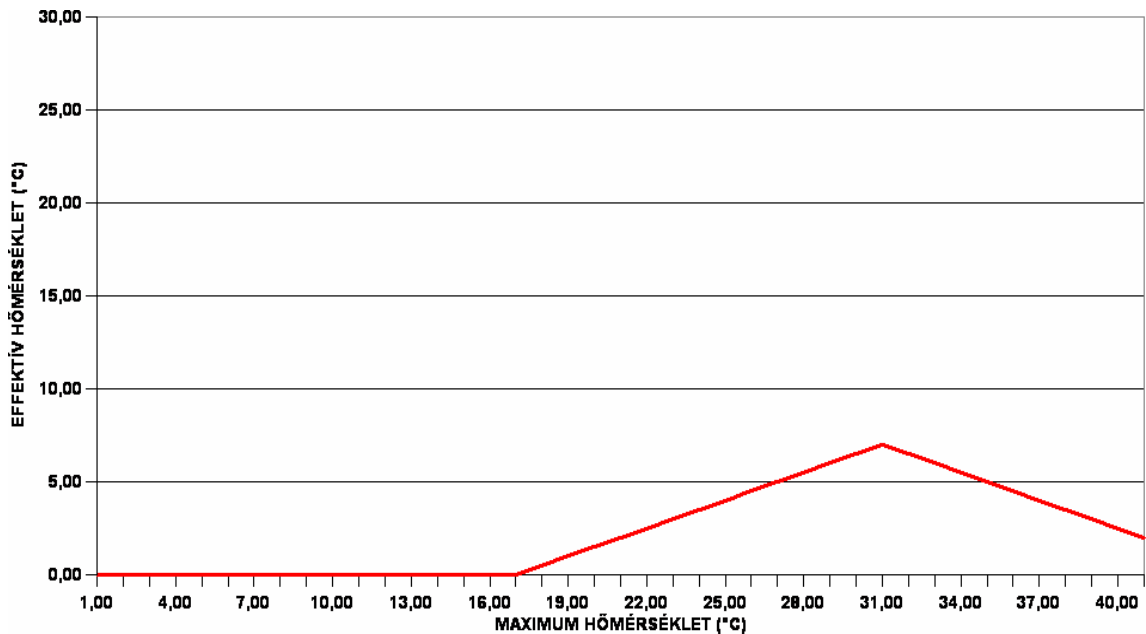
NAPI FELÜLRŐL CSÖKKENTETT KORRIGÁLT ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[14] \quad HÖ = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B$$

Ha $T_{i,MAX} < T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{i,MAX}$
 Ha $T_{i,MAX} > T_{FK}$ akkor $T_{i,MAX} = T_{FK} - (T_{i,MAX} - T_{FK})$

$T_{i,MIN}$ napi minimum hőmérséklet [°C]
 $T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 T_{FK} felső küszöbhőmérséklet [°C]
 T_B bázishőmérséklet [°C]
 n fenofázis hossza [nap]

A napi átlaghőmérséklettel és bázishőmérséklettel számol. A felső küszöbhőmérsékletet a képletben kívül meg kell adni. A T_B miatti korrekcióból kifolyólag a hasznos hőmérséklet csak 17°C-tól kezd el növekedni a minimum hőmérséklet 0°C-on tartása mellett. A 30°C-os felső küszöb elérése után az effektív hőmérséklet értéke a feltételeknek megfelelően csökkenni kezd (14. ábra).



14. ábra: **Felülről csökkentett bázishőmérséklettel korrigált hőösszeg**

A kiteveleknek megfelelően, ha a $T_{i,MAX}$ a felső küszöbhőmérséklet alatt marad, akkor nem történik beavatkozás a hőmérsékleti értékekbe, viszont ha túllépi a felső küszöbhőmérsékletet a mért adat, akkor a T_{FK} -ből kivonja a mért maximum hőmérséklet felső küszöbhőmérséklettel csökkentett értékét, és behelyettesíti a $T_{i,MAX}$ helyére.

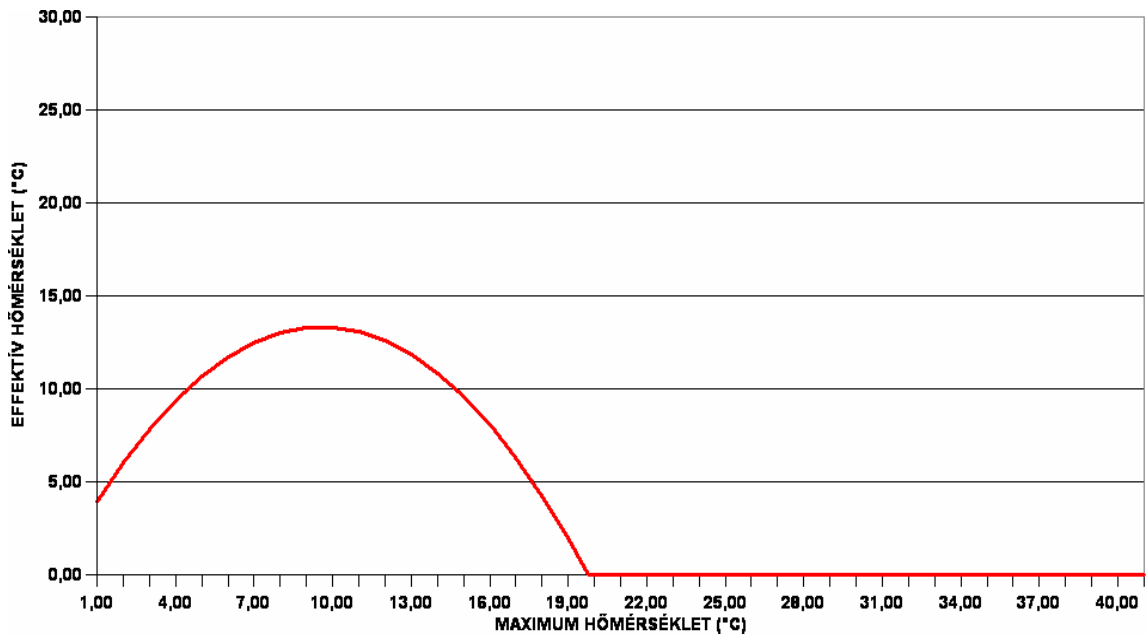
NAPI MÓDOSÍTOTT ONTÁRIÓ HŐÖSSZEG

$$[15] \quad HÖ = \sum_{i=1}^n (-0,256 T_{i,MAX}^2 + 4,39 T_{i,MAX} - 155,18 + T_{i,MIN}) / 2$$

Ha $T_{i,MIN} > T_B$ akkor $T_{i,MIN} = T_{i,MIN}$
 Ha $T_{i,MIN} < T_B$ akkor $T_{i,MIN} = T_B$

$T_{i,MIN}$ napi minimum hőmérséklet [°C]
 $T_{i,MAX}$ napi maximum hőmérséklet [°C]
 T_B bázishőmérséklet [°C]
 n fenofázis hossza [nap]

A korábban említett Ontárió hőösszeg-számítási módszer módosítása. Az egyik legfőbb különbség, hogy összevonta a képleteket és eltérő állandókkal egészítette ki azt. A korábbi képletben külön volt lehetőség az éjszakai és nappali bázishőmérsékletek megadására, míg itt csak egy bázis adható meg. A maximum is minimum hőmérsékletek súlyozása hasonló.



15. ábra: **Módosított napi Ontárió hőösszeg általános lefutása**

A görbe a maximumát 13,31°C-nál éri el a $T_{i,MIN}$ nullán tartása és a $T_{i,MAX}$ folyamatos emelése mellett, ellentétben az eredeti módszer 16,5°C-os maximumával ugyanilyen feltételeknél (15. ábra). Szembeötlő különbség továbbá, hogy 3,92°C-os belépő értéke van a hasznos hőösszegnek, szemben a másik 0°C-ról indulásának. Összességében tehát az mondható el, hogy kevésbé melegigényes növények esetében érdemes ezzel a képlettel számolnunk.

NEWMAN KÉPLET

$$[16] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B$$

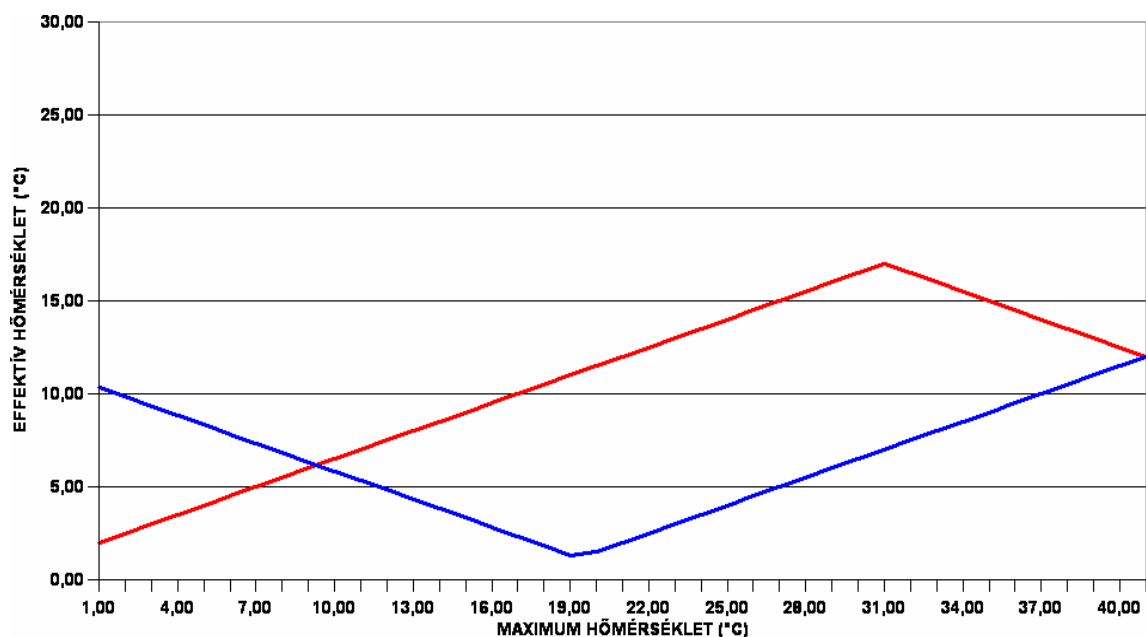
Ha $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B > 16,6^{\circ}\text{C}$; $T_{i,MAX} > T_{FK}$ akkor

$$\mathbf{HÖ} = (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B - (T_{i,MAX} - T_{FK})$$

Ha $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B \leq 2,8^{\circ}\text{C}$; $T_{i,MAX} < 18,33^{\circ}\text{C}$ akkor

$$\mathbf{HÖ} = (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B - (T_{i,MAX} - 18,33^{\circ}\text{C})$$

$T_{i,MIN}$	napi minimum hőmérséklet [°C]
$T_{i,MAX}$	napi maximum hőmérséklet [°C]
T_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
T_B	bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]



16. ábra: A Newman-képlet általános összefüggései

Az alapképlet a tradicionális képlet, viszont a kitételekben jelentősek az eltérések. A grafikon felső vonala (piros szín) az első feltételkombinációt fogantatosítja, amint eléri a képlet a $16,6^{\circ}\text{C}$ -os határt, illetve azzal egyidőben a $T_{i,\text{MAX}}$ magasabb lesz a felső küszöbhőmérsékletnél (30°C), életbe lép a $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B - (T_{i,\text{MAX}} - T_{\text{FK}})$ képlet korlátozása (16. ábra). Az alsó (kék) vonal a második feltételkombinációt reprezentálja. Amint az alapképlet kisebb, vagy egyenlő lesz $2,8^{\circ}\text{C}$ -kal és a $T_{i,\text{MAX}}$ $18,33^{\circ}\text{C}$ alá süllyed, életbe lép a $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B - (T_{i,\text{MAX}} - 18,33^{\circ}\text{C})$ képlet korlátozása. A két korlátozást csak úgy tudtam egy grafikonban ábrázolni, hogy az első korlátozás esetében a minimum hőmérsékleteket nem 0°C -kal, hanem 20°C -kal tettem egyenlővé. Nagyon szépen kirajzolódik a két grafikon által közrezárt terület, ahová az effektív hőmérsékleti értékek csoportosíthatók.

3.5.2. ÓRÁS LEBONTÁSÚ HŐÖSSZEG KÉPLETEK

Az alábbi órás lebontású, szakirodalomban fellelhető hőösszeg-számítási képletek valamilyen típusú órás (egyméréses, negyedórás stb.) adatsort dolgoznak fel. Mindazonáltal az itt külön felsorolt órás képletektől függetlenül mindegyik képlet használhat órás hőmérsékleti adatokat. A felhasználó, illetve a felhasználó által mérlegelt körülmények azok, amelyek alapján el kell döntenünk, hogy milyen adatsűrűsége és pontosságra van szükségünk.

Ha a vízszintes tengely és a függőleges tengely paramétereit a korábbi grafikonoknak megfelelően állítjuk be, akkor ezeknek a hőösszeg-képleteknek az általános lefutása nagyon hasonló a korábbiakhoz, így itt ezeket már nem ábrázoltam.

ÓRÁS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[17] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 24 \right)$$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$ i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
n fenofázis hossza [nap]

Ez az órás lebontású hasznos hőmérsékleti értékeket számító képlet egyszerűen a minden órában mért hőmérsékleti adatokat átlagolja, és adja össze a nap során.

ÓRÁS KORRIGÁLT ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[18] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 24 \right)$$

Ha $T_B < T_{i,j,ÓRA} < T_{FK}$ akkor $T_{i,j,ÓRA} = T_{i,j,ÓRA}$
 Ha $T_{i,j,ÓRA} > T_{FK}$ akkor $T_{i,j,ÓRA} = T_{FK}$
 Ha $T_{i,j,ÓRA} < T_B$ akkor $T_{i,j,ÓRA} = T_B$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$ i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
 \mathbf{T}_{FK} felső küszöbhőmérséklet [°C]
 \mathbf{T}_B bázishőmérséklet [°C]
n fenofázis hossza [nap]

Az előző képlettől a bázishőmérséklet és a felső küszöbhőmérséklet kitételekként történő bevezetésével különbözik. Minden egyes órás adatot értékel ebből a szempontból is. A felső küszöbhőmérséklet és a bázishőmérséklet nincs beépítve a képletbe, csak a feltételekbe.

ÓRÁS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG BÁZISHŐMÉRSÉKLETTEL KORRIGÁLVA

$$[19] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 24 - \mathbf{T}_B \right)$$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
\mathbf{T}_B	bázishőmérséklet [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

A bázishőmérséklettel történő korrekció ezen képlet esetében be van építve a képletbe, ellentétben az előző órás képlettel.

ÓRÁS FELÜLRŐL KORLÁTOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[20] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 24 \right)$$

Ha	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} < \mathbf{T}_{FK}$	akkor	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} = \mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$
Ha	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} > \mathbf{T}_{FK}$	akkor	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} = \mathbf{T}_{FK}$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
\mathbf{T}_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

Ennél a képletnél nincs bázishőmérséklet beépítve, csak felső küszöbhőmérséklet, az is csak a kitevélek között szerepel. Ha az órás átlaghőmérséklet meghaladja a felső küszöbhőmérsékletet, akkor a felső küszöbvel teszi egyenlővé azt.

ÓRÁS FELÜLRŐL CSÖKKENTETT ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[21] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 24 \right)$$

Ha	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} < \mathbf{T}_{FK}$	akkor	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} = \mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$
Ha	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} > \mathbf{T}_{FK}$	akkor	$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} = \mathbf{T}_{FK} - (\mathbf{T}_{i,j,ÓRA} - \mathbf{T}_{FK})$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
\mathbf{T}_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

A kiteteleknek megfelelően, ha a $T_{i,j,ÓRA}$ a felső küszöbhőmérséklet alatt marad, akkor nem történik beavatkozás a hőmérsékleti értékekbe, viszont ha túllépi a felső küszöbhőmérsékletet a mért adat, akkor a T_{FK} -ből kivonja a mért maximum hőmérséklet felső küszöbhőmérséklettel csökkentett értékét, és behelyettesíti a $T_{i,j,ÓRA}$ helyére.

ÓRÁS FELÜLRŐL CSÖKKENTETT ÉS KORRIGÁLT ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[22] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n (j \sum_{i=1}^{24} T_{i,j,ÓRA} / 24) - T_B$$

Ha	$T_{i,j,ÓRA} < T_{FK}$	akkor	$T_{i,j,ÓRA} = T_{i,j,ÓRA}$
Ha	$T_{i,j,ÓRA} > T_{FK}$	akkor	$T_{i,j,ÓRA} = T_{FK} - (T_{i,j,ÓRA} - T_{FK})$

$T_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
T_{FK}	felső küszöbhőmérséklet [°C]
T_B	bázishőmérséklet [°C]
n	fenofázis hossza [nap]

A bázishőmérséklettel történő korrekció után a feltételek ellenőrzése is megtörténik minden egyes órában. Így a kiteteleknek megfelelően, ha a $T_{i,j,ÓRA}$ a felső küszöbhőmérséklet alatt marad, akkor nem történik beavatkozás a hőmérsékleti értékekbe, viszont ha túllépi a felső küszöbhőmérsékletet a mért adat, akkor a T_{FK} -ből kivonja a mért maximum hőmérséklet felső küszöbhőmérséklettel csökkentett értékét, és behelyettesíti a $T_{i,j,ÓRA}$ helyére.

MÓDOSÍTOTT ÓRÁS ONTÁRIÓ HŐÖSSZEG

$$[23] \quad H\ddot{O} = \sum_{i=1}^n (j \sum_{i=1}^{24} T_{i,j,ONT} / 24)$$

Ha	$T_B < T_{i,j,ONT} < T_{FK}$	akkor	$T_{i,j,ONT} = T_{i,j,ÓRA}$
Ha	$T_{i,j,ÓRA} < T_B$	akkor	$T_{i,j,ONT} = T_B$
Ha	$T_{i,j,ÓRA} > T_B$	akkor	$T_{i,j,ONT} = -0,256 T_{i,j,ÓRA}^2 + 4,39 T_{i,j,ÓRA} - 155,18$

3.5.3. A SPECIÁLIS ÓRÁS LEBONTÁSÚ HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

Speciális órás lebontású hőösszeg-számítás alatt az egyes napszakokra koncentráltó számítási módszereket értem. Számos esetben ezek a módszerek megfelelőbbek és pontosabb eredményt adnak, mint a teljes naphosszra vonatkoztatott képletek.

REGGELI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[24] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (\mathbf{T}_{i,2,ÓRA} + \mathbf{T}_{i,7,ÓRA} + 2 * \mathbf{T}_{i,9,ÓRA}) / 4$$

$\mathbf{T}_{i,2,ÓRA}$	02 ⁰⁰ órakor mért hőmérséklet [°C]
$\mathbf{T}_{i,7,ÓRA}$	07 ⁰⁰ órakor mért hőmérséklet [°C]
$\mathbf{T}_{i,9,ÓRA}$	09 ⁰⁰ órakor mért hőmérséklet [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

A 02⁰⁰ órakor, 07⁰⁰ órakor és 09⁰⁰ órakor mért hőmérsékleti adatokkal számol. A 9 órás reggeli hőmérsékletet duplán súlyozza.

NAPPALI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[25] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (j \sum_{j=7}^{19} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} / 13)$$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

A nappali (07⁰⁰ – 19⁰⁰ óra) időszak óráinak átlaghőmérsékletét számolja.

ÉJSZAKAI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[26] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n (j \sum_{j=1}^6 \mathbf{T}_{i,j,ÓRA} + j \sum_{j=20}^{24} \mathbf{T}_{i,j,ÓRA}) / 11$$

$\mathbf{T}_{i,j,ÓRA}$	i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [°C]
\mathbf{n}	fenofázis hossza [nap]

Az éjszakai (01⁰⁰ – 06⁰⁰; 20⁰⁰ – 24⁰⁰ óra) időszak óráinak átlaghőmérsékletét számolja.

NAPPALI-ÉJSZAKAI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETI HŐÖSSZEG

$$[27] \quad \mathbf{HÖ} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=7}^{13} T_{i,j,\text{ÓRA}} / 13 \right) - \left(\sum_{j=1}^6 T_{i,j,\text{ÓRA}} + \sum_{j=20}^{24} T_{i,j,\text{ÓRA}} \right) / 11$$

$T_{i,j,\text{ÓRA}}$ i-edik nap j-edik órájának hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
 n fenofázis hossza [nap]

A nappali (07⁰⁰ – 19⁰⁰ óra) időszak óráinak átlaghőmérséklete és az éjszakai (01⁰⁰ - 06⁰⁰; 20⁰⁰ - 24⁰⁰ óra) időszak óráinak átlaghőmérséklete közötti különbséget számolja.

3.6. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS LEHETSÉGES HIBAFORRÁSAI

A leggyakoribb rendelkezésre álló adatok a minimum és maximum hőmérsékletek, melyeket külön hőmérőkön, hőmérőházban mérnek. Az egyik legfőbb hibalehetősége ezeknek az adatoknak a begyűjtésekor, a hőmérséklet leolvasási időpontjának rossz megválasztása (Schaal and Dale, 1977). Ez mind a minimum, mind a maximum hőmérsékletek leolvasásakor előfordulhat. Ha nem állítjuk vissza a hőmérsékleti érték leolvasása után a hőmérőt, akkor a következő napon előfordulhat, hogy az előző napi értékeket jegyezzük fel újra (Snyder, 1985). Ez abban az esetben kerülhető el, ha a másnapi értékek meghaladják a korábbi értékeket. A tévedés mind a mérendő értékben, mind az átlaghőmérsékletben megmutatkozik.

Még jelentősebb hibaforrás, hogyha az adatok felvétele a napi hőmérsékleti járás szélsőértékeinek beállása körül történik. Ez különösen gyakori a nyári hónapokban, amikor a leolvasás időpontjának csúszása miatt nem az aznapi valós értéket jegyezzük fel. A komputerizált mérési módszerek bevezetése előtt, az ilyesfajta mérési hibákból akár 100 $^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg különbségek is adódhattak egy tenyészidőszakban (Carberry, 1989).

Hibás mérést eredményez az is, ha a napi minimum vagy maximum hőmérsékletek előfordulási idején hirtelen hidegebb vagy melegebb légtömegek áramlanak a vizsgált területre, jelentős torzulást okozva ezzel mind a szélsőértékek pontosságát illetően, mind pedig bármely más ebből származtatott adatban (Bacsó, 1958).

Az előzőhöz hasonló hibaforrást jelenthet, különösen melegebb területeken az öntözés, vagy csapadék, tekintettel a hőmérsékletet befolyásoló hatására.

Termés szimulációs modellek esetében gyakori hibaforrás, ha a modellezés során használt hőösszeg-számítási módszer és a szimuláció kalibrálásakor használt számítási módszerek nem azonosak (Kiniry and Bonhomme, 1991; Rickman et al., 1995; Weir et al., 1984). Tulajdonképpen a fő probléma, hogy a szimulációs modellek kalibrálása elsősorban irodalmi adatok alapján történik, a forrásműben pedig sokszor nem térnek ki rá, hogy milyen számítási módszer alapján történt a kalibráció (Jones, Kiniry, 1986). További hibaforrás, hogy a mérőállomás magasságában mért hőmérséklet jelentősen eltérhet a növény szintben mérhető értékektől. A növénynek vannak olyan kiemelt területei, ahol a növényi felület hőmérséklete különösen nagy jelentőséggel bír, ezek az ún. fejlődési zónák, ahol a sejtosztódás és a sejtnövekedés nagyjából megfigyelhető. A Watts (1972), Beauchamp és Lathwell (1966) által eltérő gyöker-, hajtás- és csúcsmerisztéma hőmérsékleteknél végzett kukorica levélfejlődési kísérletek eredménye az volt, hogy a csúcsmerisztéma töve az a terület, amely leginkább érzékeny a léghőmérsékletre. A fentiekén kívül számos kutató ilyen irányú kísérletének volt az az eredménye (Law and Cooper, 1976), hogy a kukoricapalánták a 12-leveles állapotukig inkább érzékenyek a talajhőmérsékletre, mint a léghőmérsékletre. Swan (1987) szerint a 6-leveles stádiumig érdemes a talajhőmérsékletet alapul venni és később áttérni a léghőmérsékletre. A talaj- és léghőmérséklet közötti különbség elérheti akár a 100°C-ot is, ha a 12-leveles állapot eléréséig számoljuk az értékeket (Wierenga et al., 1982).

3.7. A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁS PONTOSSÁGA

A hőösszeg-számítási módszerek alapvetően a napi maximum és minimum hőmérsékletre épülnek. Ez abból is eredeztethető, hogy a módszer kidolgozásakor és a későbbiek folyamán is, egészen a 20. század technológiai forradalmáig, a rendelkezésre álló technika nem tette lehetővé a nagy pontosságú méréseket. Empirikus módszerekkel megállapították, hogy a hőmérséklet napi járása során mikor van a legmelegebb és a leghűvösebb, majd a méréseket már csak ezekben az időpontokban végezték el. Arról nem is beszélve, hogy a műszerek pontossága és kalibráltsága is jóval bizonytalanabb volt (Arnold, 1960).

Manapság a számítógépes adatvételezés és automatizáltság lehetővé teszi, hogy a hőmérsékletet folyamatosan mérhessük, jóval nagyobb adatbiztonságot és adatsűrűséget elérve ezzel (Lindsey, 1976). A kutatók már az 1950-es években alkalmazták az

óránkénti mérési technikákat, és sokan közülük külön ki is emelték, hogy így nagyobb pontosság érhető el (Andrew et al., 1956).

Gilmore és Rogers (1958) egy 15 hőösszeg-számítási módszert összehasonlító tanulmányban úgy találta, hogy az alacsony és magas hőmérsékletek korrekciója tovább pontosíthatja a számítások eredményeit. Ők voltak az elsők azt a megállapítást illetően is, miszerint a 3 órás időintervallumokban végzett kalkulációk finomabb és reálisabb képet festenek a növény által hasznosított hőmennyiségről.

Tsotsis (1958) kiemelte a számítási paraméterek nagyfokú fajtaspecifikusságát, az ültetés időpontjának lényegességét és az eltérő fenofázisokban megjelenő eltérő igényeket. Megállapításai szerint egyes növényfajták hőmérsékleti –és fényigényei jobban, másokéi kevésbé ingadoznak a tenyészidőszak során.

Stauber és társai egy kifinomultabb módszert dolgoztak ki 1968-ban, melynek eredményeképpen, az ültetést követő 35 nap maximum hőmérsékleteinek összegéből 96%-os pontossággal képesek voltak megjósolni a teljes virágzás időpontját. Habár az alkalmazott módszer széleskörű hasznosíthatósága fajtaspecifikus jellege miatt jelentősen korlátozott volt.

A használhatóság és pontosság tekintetében jelentős problémát jelent, hogy a hőösszeg-számítások nem veszik figyelembe a bázishőmérséklet alatti problémákat, ha ez alatt történik valamilyen növekedést befolyásoló esemény, az nem jelenik meg a képletekben, pl. késői fagyok, melyek zavart és károsodást is okozhatnak a növényi fejlődésben (Gilmore and Rogers, 1958).

A pontosság tekintetében nagy jelentőséggel bír még, hogy a mért hőmérsékleti adatok mennyire felelnek meg a valóságnak (Kiesselbach, 1950). Értem ezalatt, hogy számos esetben a termőhely és a meteorológiai állomás, vagy mérőhely között akár 20-30km vagy még nagyobb távolságok is lehetnek (Dobosi, Dunkel, 1977). Ezekben az esetekben akár teljesen hasznavehetetlen eredményeket is kaphatunk különösen erősen tagolt, intenzív reliefenergiájú és eltérő kitettségű tájakon (Baker, 1975). A leírtakból következően a pontosság növelése a mérőállomás és a termőhely távolságának csökkentésével növelhető. Tőlünk nyugatra már azt is megvalósították, hogy minden parcellán, esetenként a parcellákon belül is több mérőállomással a végletekig fokozzák a pontosságot (Byrd, 1985). Lass és társai (1993) kísérleteik során megállapították, hogy komplex hőösszeg-számítás teszteknel 30%-kal növelhető az adatok megbízhatósága a parcellák negyedelésével, egyszerű hőösszeg-elemzéseknél pedig akár a duplájára is növelhető a pontosság (Gall et al., 1992). Analóg mérőeszközökkel a

hőegység-számításon alapuló előrejelzés pontossága 80%-kal nőtt a parcellák negyedelésével.

Tovább növelheti a pontosságot a Gilmore és Rogers által 1958-ban bevezetett *optimális napok* alkalmazása. E szerint a kukoricafajtától és klímakörülményektől függően megállapíthatunk egy olyan optimális hőmérsékleti értéket, amely mellett a növénynövekedés a maximális értéken marad. Azok a napok, amelyeken a hőmérséklet nagyrészt ezen az optimális hőmérsékleten, vagy ehhez nagyon közel volt az az ún. optimális nap. Tollenaar 1983-as kutatásai során a 23°C-os hőmérsékleten történő levélfelület-növekedést mérte legjelentősebbnek, megállapítva ezzel, hogy laboratóriumi körülmények között alacsonyabb hőmérsékleti értékek azok, melyek optimálisnak tekinthetők a kukorica fejlődése szempontjából.

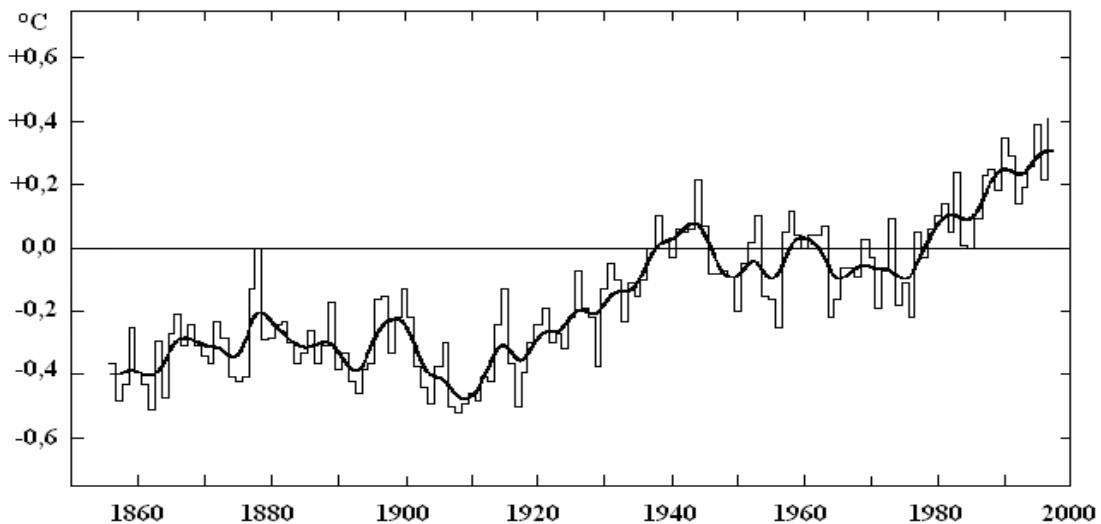
Nagyon fontos egy adott módszer pontosságának fokozásához a megfelelő küszöbhőmérsékletek alkalmazása (Birch, 1996). A küszöbhőmérsékletek megválasztása nagyfokú körültekintést igényel, az sem mindegy milyen típusú információra van szükségünk a hőösszeg-számítás során (Malet et al., 1997). Egyes szerzők műveiben azokat a hőmérsékleti küszöbértékeket kutatják, amelyek a legjobb előrejelzést adhatják a fejlődési szakaszokról. Mások a fajták vagy genotípusok fejlődésében (pl. virágzás vagy érés, levél megjelenési arány) a hőmérséklettől függő különbségeket igyekeznek bemutatni (Kleinendorst, Brouwer, 1970).

A küszöbhőmérsékletek értékei óvatosan kezelendők, mivel egyrészt statisztikai értéke másrészt egy a fiziológiai éréshez köthető biológiai értéke is van. Azok a hőmérsékleti küszöbértékek, amelyek egy adott fejlődési időszakra a legjobb előrejelzést nyújtják, általában igen alacsonyak (Gbur et al., 1979).

A jövőben a pontosság növelése a növényi szerkezetek energetikai egyensúlyának modellezéséhez köthető. Ilyen pl. az apex, vagy a levélfejlődési zóna, melyek közvetlen hőmérsékleti ellenőrzése lehetővé tenné, hogy az egyszerű meteorológiai hőmérsékleti értékek magyarázása és extrapolálása helyett konkrét növényhőmérsékleti értékekkel számolhassunk (Cellier et al., 1993).

3.8. GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS

Nagyon sok tanulmány foglalkozik azzal és mutatja ki, hogy a földi klíma változóban van. Számos kutató szerint (Nicholls et al., 1996; Paper et al., 1996; Chattopadhyay and Hulme, 1997) az üvegházhatásnak köszönhető felmelegedés az atmoszféra jelentős globális felmelegedését okozhatja 2000 és 2100 között (33. ábra) (Allaby, 1989).



33. ábra: A földfelszín globális átlagos léghőmérsékletének változása (Kerényi A., 1988 alapján módosította: Dorka D.)

1988-ban alakult meg az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), amely azóta is folyamatosan értékeli a világ éghajlati adatait, illetve az ezzel kapcsolatos kutatások eredményeit. 1992-ben az ENSZ Riói Konferenciáján fogadták el az Éghajlatváltozási Keretegyezményt, sajnos konkrét határidők és kötelezettségek nélkül.

Ebben az egyezményben elsősorban az üvegházhatású gázok növekvő kibocsátása miatti globális környezetállapot-változás kockázatának csökkentése, a kibocsátások mérséklése szerepelt az első helyen. Az együttműködés az elővigyázatosság alapelveire épül, amely szerint már most cselekedni kell a globális környezetváltozás kockázatának mérséklése érdekében. 1997-ben Kiotóban 38 iparosodott, illetve átalakuló gazdaságú ország vállalta a kibocsátások átlagos 5,2%-os csökkentését a 2008-2012 közötti időszakra. A jegyzőkönyv 6 üvegházhatású gázra vonatkozik (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, illetve 3 fluortartalmú vegyületcsoport). Napjainkra 119 ország ratifikálta a dokumentumot. A jegyzőkönyv hatálybalépésének egyik feltétele az, hogy

legalább annyi iparosodott állam írja azt alá, amelynek együttes CO₂-kibocsátása 1990-ben az összes iparosodott állam emissziójának legalább az 55%-a. Mivel a jegyzőkönyvet eddig nem ellenjegyezte a Föld egyik legnagyobb szennyezője, az Egyesült Államok, hatálybalépése az orosz ratifikációtól függ. Oroszország a Johannesburgban (2002) megrendezett Fenntartható Fejlődési Világtalálkozón erre ígéretet tett, de a mai napig nem került sor rá.

Az elkövetkezendőkben röviden azokról a globális klímaváltozással kapcsolatos kérdésekről lesz szó, amelyek közvetve vagy közvetlenül befolyásolhatják a magyarországi mezőgazdasági folyamatok évszázadok óta kialakult rendjét.

3.8.1. KLÍMAMODELLEK

3.8.1.1. MODELLTÍPUSOK

A klímamodelleket (Harvey, 2000) nyomán a következőképpen csoportosíthatjuk:

Egydimenziós légköri modellek: Horizontális átlagolású modelltípusok, a légkörön belül több egymás fölötti réteggel számoló, a szoláris és az infravörös sugárzás légköri transzfer folyamatait nagy részletességgel leíró modelltípus.

Egydimenziós óceán modellek: A modellben a légkört az óceánnal és a szárazfölddel hőcserét folytató zárt rendszerként értelmezi (Hoffert, 1980). Az óceánt egy egydimenziós oszlopként kezeli, amely a valódi óceánból horizontális átlagértéket reprezentál.

Egydimenziós energia-egyensúlyi modellek: Csak a földrajzi szélességgel számol, a légkör pedig Ny-K-i irányban vertikálisan átlagolt.

Kétdimenziós légköri és óceán modellek: Több különböző 2D-os légköri és óceán modellt fejlesztettek ki. Ezek a modellek a horizontális hőtranszport fizikailag megalapozottabb számítását teszik lehetővé.

Háromdimenziós légkör-óceán általános légkörzési modellek: Ezek a legkomplexebb légkör-óceán modellek (GCM). A légkört és az óceánt 2-4°-os longitudinális és latitudinális körönkénti felbontású hálóra bontják. Akár 20-40 réteg (layer) is szerepelhet a legkorszerűbb modellekben, ezt a számítási teljesítmény is behatárolhatja.

Mind a széljárást, tengeráramlást és sok egyéb légköri és óceáni folyamatot pontosan beleépítenek a modellekbe (Downton, Katz, 1991).

3.8.1.2. GCM

GCM-típus	Alkalmazó Intézmény	Ország
BMRC-EQ	Bureau of Meteorology Research Centre	Ausztrália
CCC-EQ	Canadian Climate Centre	Kanada
CCSR-NIES	Center for Climate Research Studies / NIES Transient	Japán
CGCM1-TR	Canadian Climate Centre for Modelling and Anal. 1 Trans.	Kanada
CSIRO1-EQ	Commonwealth Scientific and Ind. Res. Org., Mark 1	Ausztrália
CSIRO2-EQ	Commonwealth Scientific and Ind. Res. Org., Mark 2	Ausztrália
CSIRO-TR	Commonwealth Scientific and Ind. Res. Org., Transient	Ausztrália
ECHAM1	European Centre/Hamburg Model 1 Transient	Németország
ECHAM3	European Centre/Hamburg Model 3 Transient	Németország
ECHAM4	European Centre/Hamburg Model 4 Transient	Németország
GFDL-TR	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Transient	USA
HADCM2	Hadley Centre Unified Model 2 Transient Ensemble-mean	UK
NCAR-DOE	National Center for Atmospheric Research (DoE) Transient	USA
UIUC-EQ	Univ. of Illinois at Urbana-Champaign	USA
UKHI-EQ	UK Met. Office High Resolution	UK
UKLO-EQ	UK Met. Office Low Resolution	UK
UKTR	UK Met. Office/Hadley Centre Transient	UK

22. táblázat: A MAGIC/SCENGEN programcsomag által hozzáférhető GCM-ek

A GCM-modellek tehát a legmegbízhatóbb és legkomplexebb modell típusok (22. táblázat). A modellegyenletek az energiát, a momentumokat, a tömeg- és vízgőzviszonyokat, a hő- és nedvességáramlás folyamatait írják le, ezenkívül egy általános felhőzet modul is beépítésre került (Schlesinger, W. H., 1993).

Az atmoszferikus viszonyokat a Föld felszínére feszített rácsháló pontjaiban adják meg, a felszíntől felfelé, szabott magassági szinteken. A fizikai-kémiai-matematikai egyenleteket is a rácsháló ezen pontjaira oldják meg, a rácsháló területeken pedig interpolációt alkalmaznak (Kertész A, et al., 1998). A klímarendszer nagyon sok eleme a néhány száz km-es felbontásnál kisebb léptékű (pl. felhők, topográfia). A

klímamodellnek viszont ezeket az ún. subgrid folyamatokat is figyelembe kell vennie. Ezen kisléptékű folyamatok hatásának formulációja nagy léptékben az ún. parametrizáció. Ebben az esetben az alap felbontóképességnél kisebb léptékű jelenségeket a modell nem tudja egyenként értelmezni, csak a felbontásnak megfelelő összhatással számol (Kertész Á, 2001).

A klímaszcenáriók felállításának két fő módszertana van:

- empirikus adatok alapján történő előrejelzés
- folyamat-orientált előrejelzés

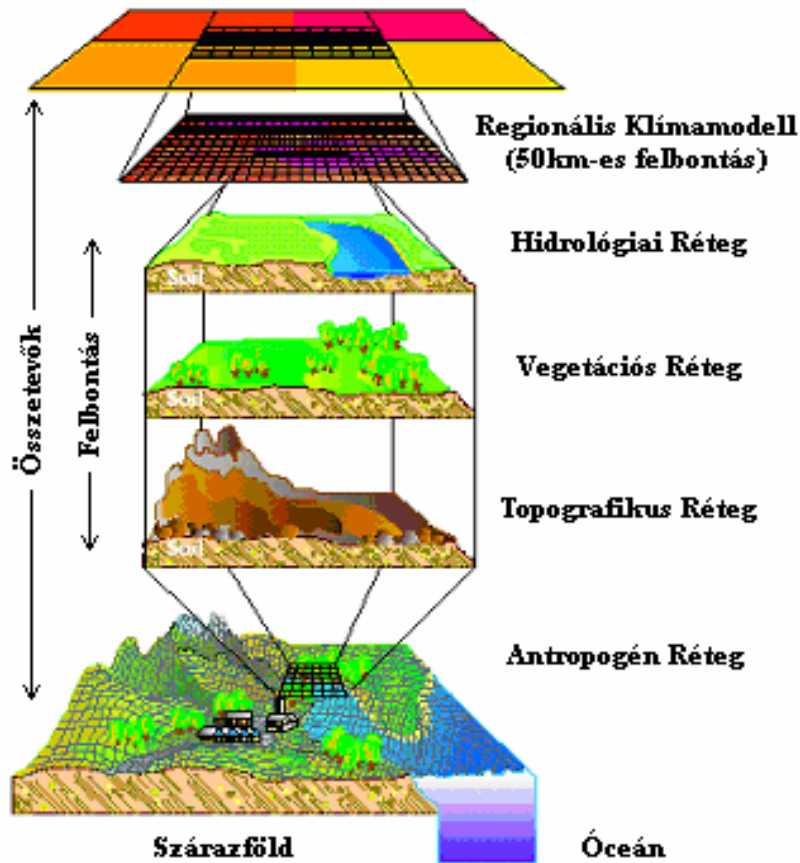
Az empirikus adatok alapján történő előrejelzés műszeres összehasonlításokon, ösföldrajzi összehasonlításokon klímaközpontú térbeli analógiákon alapulnak. Magyarán keresünk a Földön egy olyan pontot, amelynek jelenlegi éghajlati paraméterei hasonlóak ahhoz, mint amilyenek az általunk vizsgált pont paraméterei lesznek a klímaváltozás eredményeképpen, mondjuk 50 év múlva. Tehát a földrajzi analógia módszerével feltételezhetjük, hogy pl. Izland éghajlata a mai Skóciáéhoz lesz hasonlatos, vagy egy magyarországi régió éghajlata Közép-Olaszorszáéhoz.

A folyamat-orientált előrejelzések a klímarendszer hierarchikusan egymásba ágyazott matematikai modellsorait veszik alapul. Az IPCC hozzáállása az, hogy a folyamat-orientált szcenárióanalízis inkább alkalmasabb távlati klímabecslések felvázolására.

A 34. ábrán látható sematikus rajz jó szemlélteti a klímamodellek általános felépítését.

A folyamatorientált klímabecsléshez használt modelltípusoknak további két fő fajtája van, az egyensúlyi és az ún. tranziens modellek. Az egyensúlyi modelleknél a modellépítésből hiányoznak azok az elemek, ahogy az éghajlat fokozatosan reagál a növekvő üvegházgázok hatására (Kertész A., 2001).

Ezekben a modellekben a CO₂-szintet először az ipari forradalmat megelőző idők koncentrációs szintjére helyezik, majd a modellek minden esetben addig futnak, amíg a felhalmozódott energia és felszíni hőmérséklet szempontjából egy stabil egyensúlyi állapot alakul ki (Hufnagel L. & Gaál, M., 2005).



34. ábra: **Globális Klíma Modellek felbontása**
(Forrás: UEA, Norwich, 1997 alapján módosította: Dorka D.)

Ez a tulajdonképpeni kontrollfuttatás. Ezután az atmoszferikus CO₂-szint megduplázódását veszik alapul. A két futtatás közötti különbség az üvegházhatásra bekövetkező változásként értelmezhető. Valójában a "greenhouse" gázok koncentrációja folyamatosan emelkedik, a légköri viszonyok és ezáltal az éghajlat változása ezt az óceánok szerepe miatt késleltetve követi.

Az egyensúlyi GCM-ekkel kapcsolatban ezenkívül számos egyéb probléma van (Goodess & Palutikoff , 1993 alapján):

- gyenge térbeli felbontóképesség
- rácsháló felbontóképességénél kisebb léptékű folyamatok gyenge reprezentációja
- topográfia alacsony részletezettsége
- visszacsatolási folyamatok alacsony hangsúlyozottsága
- felhőzet alábecslése

- jelen éghajlati részletek alacsony reprodukciója
- megváltozott klímamodellezésnél regionális egyenetlenségek (pl. csapadék)
- óceánok termális inerciájának adekvát figyelembevétele
- üvegházgázok hatásainak átmeneti jellegének alacsony értelmezettsége

Ezért nem az egyensúlyi modellek hanem a tranziens modellek adják a legjobb megközelítést, mivel ezek változásokat folyamatosan figyelembe veszik és beépítik a modellértékelésbe.

A GCM-ek empirikus-statisztikai eljárásokkal általában egy adott kiemelt régióra vannak leskálázva (35. ábra).

3.8.1.3. VISSZACSATOLÁSOK

A modellalkotás egyik legfontosabb összetevője a visszacsatolás (feedback). Ez egy olyan mechanizmus, amely alapján a rendszer egy outputja inputként visszairányul a rendszerbe. Két típusa van:

- destabilizáló (pozitív) visszacsatolási folyamat
- stabilizáló (negatív) visszacsatolási folyamat

A globális klímaváltozással foglalkozó kutatók nagy része állítja, hogy a korábban említett légkörbe jutó antropogén eredetű üvegházhatású gázok geológiai léptékkal mérve gyors és jelentős éghajlatváltozást fognak előidézni (Houghton et al, 1995). A 21. században a pozitív visszacsatolási mechanizmusoknak köszönhetően ezek a folyamatok még inkább fel fognak erősödni (Mitchell, J. F. B. et al., 1987).

Ilyen pozitív visszacsatolási folyamatok:

- a vízpárolgás során az atmoszféra víztartalma megnő, a vízgőz pedig üvegházhatású
- a melegedő légkör miatt kevesebb hó és jég képződik, így a beérkező napsugarakból kevesebbet ver vissza, a sötétebb felszín pedig több hőt abszorbeál
- az óceánhőmérséklet is pozitív visszacsatolásként működik, hiszen az óceán hőmérsékletnövekedésével CO₂-oldóképessége csökken, így kevesebb CO₂-ot von ki a légkörből

- a nagy tengeráramlások szétterítik a melegebb tengervizet, ez tovább stabilizálja a víz hőmérsékleti rétegződését, megakadályozza a függőleges keveredést, így csökken a CO₂-ot megkötő planktonszám
- a növekvő műtrágyahasználat során a nitrogén megállítja a metán oxidációját a talajokban, így csökkenti a CH₄ fogyasztást
- az emelkedő hőmérséklet növeli a légzést és a fotoszintézist, így viszont több CO₂ termelődik, mint amennyi elfogy
- a sarkok felé irányuló növényzet-vándorlás csökkenti a felszíni albedót
- az UVB-sugárzás nagyobb áteresztése csökkenti a tengeri fitoplankton-képződést és a szárazföldi növényi-produktivitást is
- az elárasztásos rizsföldek területnövekedése növeli a metán emissziót
- a felmelegedő permafrost talajrétegek növelni fogják mind a szerves anyag lebomlását, mind a metánkibocsátást
- a partmenti permafrost metánhidrát rezervoárokból az olvadással kiszabadul a metán

A GCM programokat alkalmazva arra a következtetésre jutottak, hogy a 21. sz. közepére megduplázódhat az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja (Houghton et al., 1983). Ha ez bekövetkezne, az azt jelentené, hogy a geológiai korokból ismert változások ütemét legalább egy nagyságrenddel meghaladná a hőmérséklet változásának üteme (Kerényi A., 1989).

A fentiekkel ellentétben néhány meteorológus szerint a CO₂ és egyéb üvegházhatású gáz által okozott klímamelegedéssel kapcsolatos félelmek egy része indokolatlan. Szerintük a Föld önszabályozó képessége fenn tudja tartani a jelenlegi állapotot. Ezt a nézetet vallja például Idso, S. B. (1989) is ezzel foglalkozó munkájában melyben kifejti, hogy a GCM-ek egy teljes nagyságrenddel túlbecsülték bolygónk klímaérzékenységét. Elsősorban a felhők negatív visszacsatoló mechanizmusát hangsúlyozza, melyet a modellek nem tudnak figyelembe venni. A fő probléma ezzel az, hogy a felhők mind pozitív, mind negatív irányú "feedback"-et létrehozhatnak.

Másrésről nem csak a felhők folyamaterősítő vagy folyamatgyengítő hatása bizonytalan a GCM modellekben. Hasonlóképpen nehezen megítélhető a világűr felé történő kisugárzás kérdésköre, hiszen egy melegebb Föld-légkör rendszer több hőt sugároz ki a világűr felé is.

A korábban már tárgyalt aeroszol részecskék is jelentős bizonytalanságot jelentenek, hiszen a szulfát és nitrát aeroszokok hűtik a Földet. Ezek viszont a savasodás folyamatából származnak, amely jelentősen károsítja az ökoszisztémákat, ezáltal csökkentve a flóra és fauna CO₂-felvevő képességét, ami pedig úgyszint melegedést okoz (Haszpra, 1998).

Az óceánok biogeokémiai ciklusainak is kérdéses a szerepe, hiszen az óceánok anyagdinamikáját megzavarhatják a hőmérséklet-változások, hatásukat nem lehet kiszámítani. A GCM modellek nehezen tudják figyelembe venni az óceánok kevert rétege és a mélyebb rétegek közötti hőcserét.

Kérdéses az eutrofizáció szerepköre is. A N és P műtrágyák a mezőgazdaságból kiszabadulva elősegítik az algák szaporodását és növekedését az édesvizekben, így a több alga több CO₂-t köt meg.

A talajnedvesség is elmozdíthatja mindkét irányba a mérleg nyelvét, hiszen befolyásolja a CO₂, N₂O és CH₄-felvételt és abszorpciót a hőmérséklet (Favis-Mortlock, 1994).

A fenti hiányosságok ellenére a jövőre nézve mégiscsak egy jól használható támpontot adnak a GCM modellek, amelynek segítségével több esélyünk van bolygónk megértésére és adottságainak megőrzésére.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

A hősszeg-számítási eljárások összehasonlító elemzésénél ügyelni kell arra, hogy egyrészt a klimatikus adottságoknak olyanoknak kell lenniük, hogy a környezeti tényezők értékei széles skálán mozogjanak és változékonyak legyenek, másrészt a tanulmánynak a tenyészidőszak teljes hosszára kell vonatkoznia, tekintettel arra, hogy a fenofázisok időtartama inkább hajlamosabb az ingadozásra, mint a teljes tenyészidőszak (Mederski, 1972). Az itt szereplő tanulmány mindkettőnek eleget tesz, hiszen a kontinentális éghajlati adottságok szélsőségei és változékonysága közismert, illetve mindhárom vizsgált év során a teljes tenyészidőszak adatai rögzítésre kerültek. A módszerek összehasonlítása során lényeges még, hogy mekkora az az adatsűrűség, amely optimális mind a kezelhetőség, mind az eredmények megbízhatósága szempontjából.

4.1. RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ADATOK

4.1.1. TERMŐHELYI ADATOK

A mintavétel DE Látóképi Kísérleti Telepén történt (Dobos et al., 2003). 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 destruktív mintavételekhez azonos méretű parcellákat alkalmaztunk (Dobos-Nagy, 1999).

A Kísérleti Telep a Hajdúsági Lőszháton található, talaja löszön kialakult, mély humuszos rétegű alföldi mészlepedékes csernozjom (Nagy, 1994, 1996). Fizikai talajfélesége középkötött vályog (Dobos, 2003). A talajvíz 5-8 méter mélyen helyezkedik el. A kísérleti terület talajának fontosabb fizikai és kémiai jellemzőit az 1. és 2. táblázatban foglaltam össze.

Mélység	Leiszapolható rész	Arany-félekötöttségi szám	Higroszkóposság	Térfogat-tömeg	Pórus-térfogat	Minimális vízkapacitás	Holtvíz
cm	Li%	szám K_A	hy	g/cm^3	P%	VK _{mintf%}	HV _{tf%}
0-20	56,8	42	2,25	1,41	46,7	33,7	12,69
20-40	58,6	43	2,25	1,43	46	31,1	12,87
40-60	57,1	43	2,13	1,31	50,5	29,1	11,16
60-80	57,5	44	2,51	1,29	51,3	28,6	12,51
80-100	58,6	48	2,07	1,30	50,9	29,1	10,76
100-120	54,1	47	2,18	1,24	53,3	27,4	10,81
120-140	55,3	46	1,91	1,24	53,3	27,8	9,47

1. táblázat: A kísérleti terület talajának fontosabb fizikai tulajdonságai

A talaj össznitrogén-tartalma 0,15%, ami közepes ellátottsági szintnek felel meg (2. táblázat). A művelt réteg AL-oldható P_2O_5 tartalma a területen jelentős heterogenitást mutat, a 0-20 cm-es talajréteg átlagértéke (133ppm) alapján közepesen ellátott, AL-oldható K_2O tartalma (240ppm) alapján jó ellátottsági szintbe sorolható.

Mélység	Kémhatás		CaCO ₃	Humusz	Össz.N	AL-oldható	
	H ₂ O	KCl	%	%	%	P ₂ O ₅	K ₂ O
	ppm						
0-20	7,3	5,6	0	2,72	0,150	133,4	240
20-40	7,2	5,4	0	2,31	0,120	48,0	173,6
40-60	7,2	5,8	0	1,68	0,100	40,4	123,0
60-80	8,0	7,2	1,1	1,02	0,086	32,4	96,5
80-100	8,4	7,5	11,64	0,81	0,083	39,8	93,6
100-120	8,4	7,5	10,63	-		40,6	86,1
120-140	8,4	7,5	7,5	-		31,6	78,0

2. táblázat: A kísérleti terület talajának fontosabb kémiai tulajdonságai

- A szint:** 0-25 cm, barnásfekete színű, laza, morzsás szerkezetű vályog, nyirkos, növényi maradványokat tartalmaz.
- A₁ szint:** 25-50 cm, barnásfekete, tömődött, morzsás szerkezetű vályog, nedves, szénsavas meszet nem tartalmaz, sósavval nem pezseg, egyenletesen humuszos, gilisztajáratokkal tarkított, átmenet a következő szintbe fokozatos.
- B szint:** 50-60 cm, barnásfekete, gyengén tömődött, morzsás szerkezetű vályog, nedves, humusztartalom a mélységgel fokozatosan csökken. Szénsavas mész a szint alján jelenik meg a szerkezeti elemek felületén szürke lepedék formájában, sósavval gyengén pezseg. Gilisztajáratokkal tarkított.
- BC szint:** 60-90 cm, sárgásbarna, gyengén tömődött, nedves, szénsavas meszet tartalmaz, sósavval erősen pezseg, mézserek és mészkonkréciók is találhatóak, krotovinákkal, gilisztajáratokkal tarkított.
- C szint:** 90 cm-: színe sárga, sárgásbarna lösz, gyengén tömődött, agyagos vályog, nedves, sósavval erősen pezseg, mészkonkréciókat tartalmaz, krotovinákkal tarkított.

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 (3. táblázat).

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

Mintavételek	1997	1998	1999
1.	augusztus. 13.	július. 25.	július. 25.
2.	augusztus. 15.	augusztus. 06.	augusztus. 16.
3.	augusztus. 18.	augusztus. 28.	augusztus. 27.
4.	augusztus. 22.	szeptember. 02.	szeptember. 02.
5.	augusztus. 25.	szeptember. 11.	szeptember. 10.
6.	augusztus. 27.	szeptember. 25.	szeptember. 16.
7.	augusztus. 29.	október. 15.	szeptember. 24.
8.	szeptember. 01.	-	szeptember. 30.
9.	szeptember. 03.	-	október. 07.
10.	szeptember. 05.	-	október. 15.
11.	szeptember. 08.	-	-
12.	szeptember. 10.	-	-
13.	szeptember. 12.	-	-
14.	szeptember. 15.	-	-
15.	szeptember. 17.	-	-
16.	szeptember. 19.	-	-
17.	szeptember. 22.	-	-
18.	szeptember. 24.	-	-
19.	szeptember. 29.	-	-
20.	október. 01.	-	-
21.	október. 03.	-	-
22.	október. 06.	-	-

3. táblázat: **Mintavételi időpontok (1997-1999)**

Hibrid	FAO szám	Vizsgált évek száma
KANADA	300	3
SZE 277	320	4
DB 351	340	2
LG 2298	340	3
AW 043	380	4
DB 377	380	2
OCCITAN	380	6
DK 471	410	6
MV 484	450	6
FLORENCIA	530	3

4. táblázat: **A vizsgálatba bevont kukorica hibridek**

A vizsgált hibridek közül azokat vontuk be az értékelésbe, melyekről legalább három év termésadataival rendelkezünk. A vizsgálatba eltérő genotípusú kukorica hibrideket vontam be 4 éréscsoportból (4. táblázat).

4.1.2. HŐMÉRSÉKLETI ADATOK

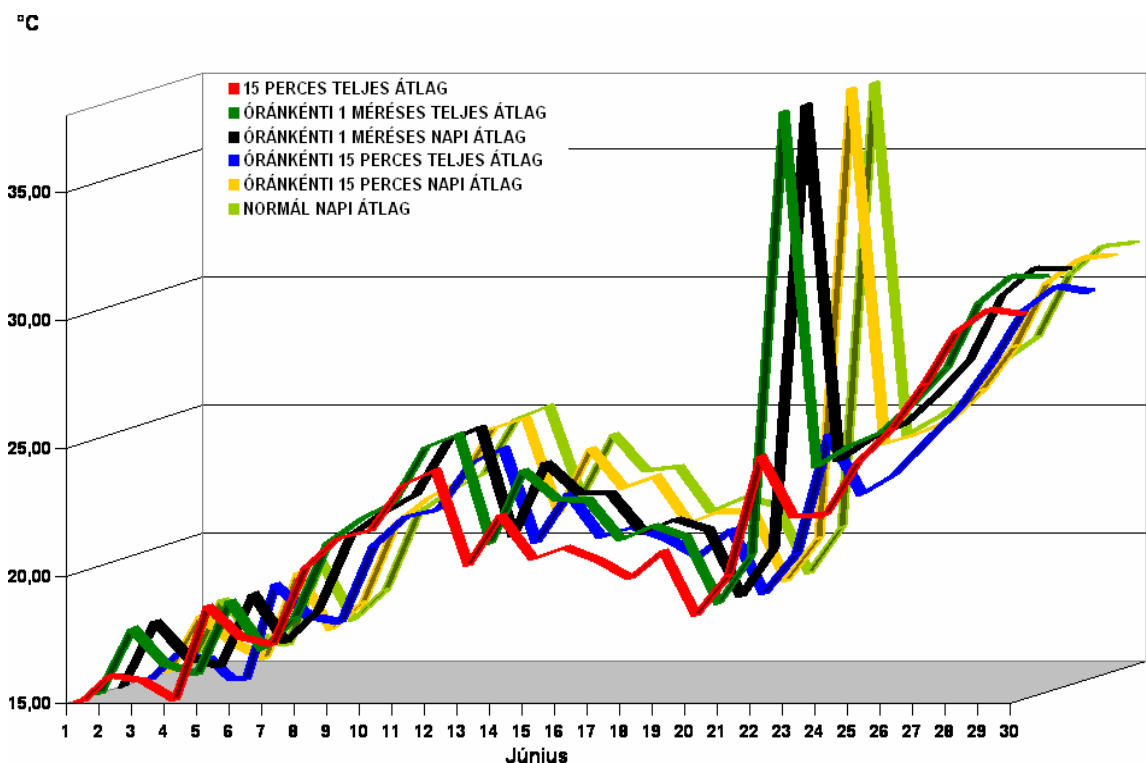
Az adatok vételezése VAISALA HMP45D típusú analóg szondákkal történt. A mérést platina szenzorok (PT 100 IEC 751) végezték. A szenzorok a szondák csúcsain helyezkednek el és membrán filterrel védettek. Méréstartományuk $-39,2$ és 60°C közötti. Pontosságuk 20°C -on $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. A szenzoroktól 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 (± 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 percnként adatfájlként lementi őket. Az extrém hőmérsékleti értékeket külön fájlba menti, amely később úgyszintén megtekinthető és kezelhető.

4.1.2.1. AZ ADATSŰRŰSÉG SZEREPE A HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁSOK SORÁN

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.

Meg kell említenem itt, hogy lényeges az adatok reprezentativitása. Azonos környezetben, azonos eszközökkel és körülmények között, valamint azonos napmagasság (napszak) mellett vételezett adatokat hasonlítottam össze.



17. ábra: Talaj átlaghőmérsékletei június hónapra 2cm mélyen (1997)

Az első lépcsőben a rendelkezésre álló hőmérsékleti adatokból számtani átlagszámítást végeztem három a fent említett hónap adataiból, tekintettel arra, hogy a hőösszeg-számítási eljárásokban az átlaghőmérsékletek kiemelkedő jelentőséggel bírnak. 1 talajhőmérsékleti adatsor és 2 léghőmérsékleti adatsor alapján történt az értékelés. A talajhőmérséklet 2cm mélyen (17. ábra), a léghőmérséklet 0,5 (18. ábra) illetve 2m-es (19. ábra) magasságban volt mérve.

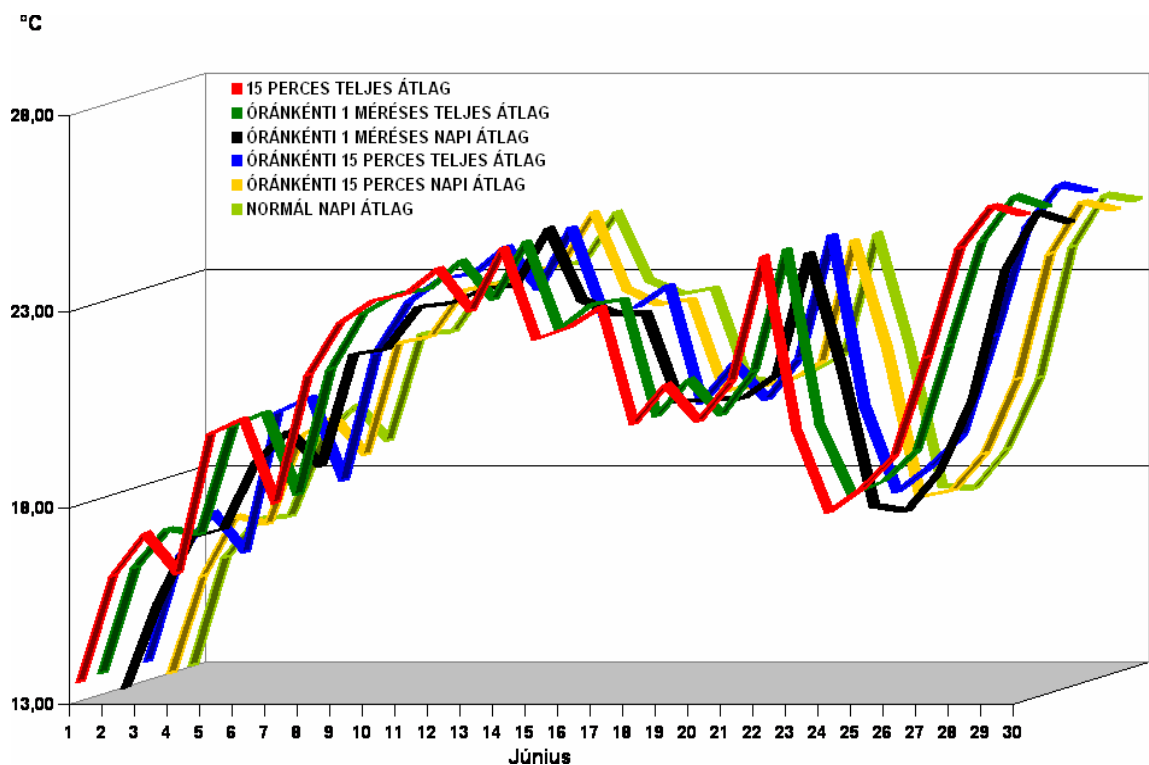
Az 1997-es év június hónapjának választását az indokolta, hogy ezen időszakból áll rendelkezésre a legteljesebb adatsor.

A mérések és átlaghőmérséklet-számítások a következő módszerek szerint történtek:

- 15 perces teljes átlag (A): a nap 24 órájának minden 15 percére mért átlaghőmérséklet alapján. A napi minimum és maximum is ezekből a 15 perces értékekből van kiválogatva. Az átlaghőmérséklet is a teljes 15 perces adatsorból történő extrapoláció eredménye.

$$[28] \quad T_{\text{ÁTL,NAP}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{i,15} + T_{i,30} + T_{i,45} + T_{i,60}) / 96$$

$T_{i,15}$	i-edik óra 15. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,30}$	i-edik óra 30. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,45}$	i-edik óra 45. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,60}$	i-edik óra 60. percében rögzített hőmérsékleti érték



18. ábra: 0,5m-es léghőmérsékleti átlagok június hónapra (1997)

- Óránkénti 1 mérés teljes átlag (B): a nap 24 órájának minden 45. percében mért óránkénti hőmérsékletek alapján. A napi minimum és maximum hőmérsékletek is ezekből az órás adatokból vannak kiválogatva. Az átlaghőmérséklet is a teljes, minden óra 45. percében mért adatsor összes elemének átlaga.

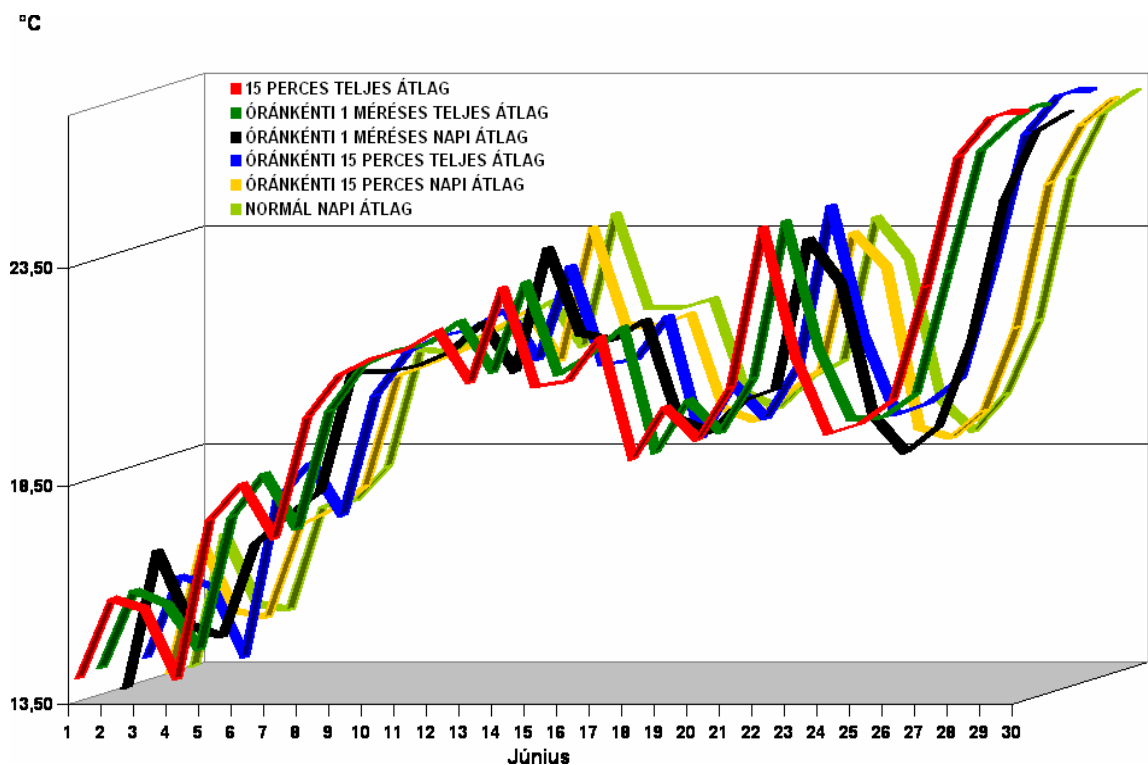
$$[29] \quad T_{\text{ÁTL,NAP}} = \sum_{i=1}^{24} T_{i,45} / 24$$

$T_{i,45}$ i-edik óra 45. percében rögzített hőmérsékleti érték

- Óránkénti 1 mérés napi átlag (C): megegyezik az előzővel azzal a kivétellel, hogy az átlaghőmérsékletet nem a teljes adatsor felhasználásával számoltam ki, hanem minden óra 45. percében mért hőmérsékleti értékei alapján kapott minimum és maximum hőmérsékletek átlagolásával nyertem.

$$[30] \quad T_{\text{ÁTL,NAP}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{i,\text{MIN},45} + T_{i,\text{MAX},45}) / 2$$

$T_{i,\text{MIN},45}$ i-edik óra 45. percében rögzített értékek közül a minimum
 $T_{i,\text{MAX},45}$ i-edik óra 45. percében rögzített értékek közül a maximum



19. ábra: 2,0m-es léghőmérsékleti átlagok június hónapra (1997)

- Óránkénti 15 perces teljes átlag (D): órára vannak lebontva mind a minimum, maximum és átlagértékek is. Minden óra negyedórás értékéből kerültek kiválogatásra a minimum és maximum értékek. Az órás

átlaghőmérséklet kiszámolása is a negyedórás érték átlagolásával valósult meg. A napi minimum és maximum hőmérséklet is a korábban kiszámolt órás átlagértékekből vannak kiválogatva. A napi átlaghőmérséklet az órás átlagok átlaga.

$$[31] \quad T_{\text{ÁTL,ÓRA}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{i,15} + T_{i,30} + T_{i,45} + T_{i,60}) / 4$$

$$T_{\text{ÁTL,NAP}} = \sum_{i=1}^{24} T_{i,\text{ÁTL,ÓRA}} / 24$$

$T_{i,15}$	i-edik óra 15. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,30}$	i-edik óra 30. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,45}$	i-edik óra 45. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,60}$	i-edik óra 60. percében rögzített hőmérsékleti érték

- Óránkénti 15 perces napi átlag (E): az eljárás megegyezik az előző módszerrel a napi minimum és maximum hőmérséklet kiszámolását illetően, viszont a napi átlaghőmérséklet nem a teljes órás adatok igénybevételével történt, hanem a napi órás szélsőértékek átlagolásával.

$$[32] \quad T_{\text{ÁTL,ÓRA}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{i,15} + T_{i,30} + T_{i,45} + T_{i,60}) / 4$$

$$T_{\text{ÁTL,NAP}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{i,\text{ÁTL,MIN,ÓRA}} + T_{i,\text{ÁTL,MAX,ÓRA}}) / 2$$

$T_{i,15}$	i-edik óra 15. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,30}$	i-edik óra 30. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,45}$	i-edik óra 45. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,60}$	i-edik óra 60. percében rögzített hőmérsékleti érték
$T_{i,\text{ÁTL,MIN,ÓRA}}$	legalacsonyabb órás átlaghőmérséklet
$T_{i,\text{ÁTL,MAX,ÓRA}}$	legmagasabb órás átlaghőmérséklet

- Normál napi átlag (F): az eljárás megegyezik a legelső módszerrel azzal a különbséggel, hogy az átlaghőmérséklet a teljes 15 perces adatsorból kiválogatott szélsőértékek átlaga és nem pedig a teljes adatsor átlaga. A „normál” elnevezés arra utal, hogy hagyományos napi átlaghőmérséklet-számolásról van szó.

$$[33] \quad T_{\text{ÁTL,NAP}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} (T_{i,\text{MIN,NAP}} + T_{i,\text{MAX,NAP}})}{2}$$

$T_{i,\text{MIN,NAP}}$ napi minimum hőmérséklet
 $T_{i,\text{MAX,NAP}}$ napi maximum hőmérséklet

A talajhőmérsékleti értékek összehasonlítása során a kapott értékeknek két fő csoportja mutatható ki, a 640°C (A, D) és a 680°C (B, C, E, F) körüli. Az A és D görbe futása rendkívül közel áll egymáshoz. Az E és F görbe is igen közel fut egymáshoz, de az óránkénti 15 perces napi átlag futása kiegyenlítettebb, szélsőértékei kevésbé hangsúlyosak.

1997.június	A	B	C	D	E	F	ÁTLAG
-2cm	645,19	683,44	683,44	645,68	680,60	686,51	670,81
0,5m	630,81	632,58	620,94	630,83	621,61	621,46	626,37
2,0m	614,31	615,66	609,31	614,33	607,35	611,1	612,01

5. táblázat: A mért időszak napi átlaghőmérsékleteinek összege

A közöttük lévő különbség egyszerűen az érzékelő meghibásodásából fakadó adathiánynak köszönhető. Jól megfigyelhetők az eltérések tárgy hó 4. és 24. napján, amint az óránkénti átlagolás korrigálta a 15 perces adatsor eredményeit.

A B és C módszer eredményei szinte teljesen azonosnak tekinthetők, mivel mind a grafikonok futása, mind pedig a napi hőmérsékleti értékek igen közel állnak egymáshoz (5. táblázat).

A 0,5m-es hőmérsékleti értékek esetében szintén 2 érték körül csoportosulnak az átlagok (18. ábra), a 620 és 630°C-os értékek körül. Szemben a 2cm mélyen mért értékekkel itt nem a B és C módszer eredményei a megegyezők, hanem az A, B és D görbék fedik egymást, habár a teljes havi összegük eltérő. A másik csoportot a C, E és F görbék alkotják, tehát a 0,5m-es magasságon mért adatok tekintetében jól elkülöníthető a napi és teljes átlagok sorozata.

A 2,0m-es hőmérsékleti értékeknél egy kicsit elmosódottabb a kép (19. ábra). Az A és D piros és kék vonala teljesen fedi egymást, havi összegük is megegyezik. Az összes többi átlagvonal viszont 2-4°C-os különbséget mutat.

Összességében megállapítható, hogy mindhárom szint mért értékeinek átlagolásakor a 15 perces teljes átlag és az óránkénti 15 perces teljes átlag értékei már csak a matematikai megközelítésből kifolyólag is hiánytalan adatsort feltételezve azonosnak tekinthetőek.

Ha mind a három szint összes módszerének értékeit vizsgálva átlagot vonunk (5. táblázat), és a középértéktől való eltérést vizsgáljuk (6. táblázat) megállapítható, hogy a 15 perces teljes átlag (A), az óránkénti 15 perces napi átlag (E) és a normál napi átlag (F) értékei állnak a legközelebb hozzá.

A 15 perces, órás és napi átlagok közötti számottevő különbség a megbízhatóságban és pontosságban rejlik. Az 1. ábrán jól látszik, hogy június 22-én, 2cm-es mélységben a szenzor egy kiugró értéket regisztrált. Ez egyértelműen mérési hiba, hiszen a feldolgozatlan negyedórás adatsorban a megadott napon 18⁰⁰ és 19⁰⁰ között végig 60,39°C került rögzítésre. Ez annál is inkább mérési hibaként valószínűsíthető, mivel a hőmérő szenzorok méréstartományának felső küszöbhőmérséklete is 60°C körüli.

1997.június	A	B	C	D	E	F	ÁTLAG
-2cm	25,62	-12,63	-12,63	25,13	-9,79	-15,7	670,81
0,5m	-4,44	-6,21	5,43	-4,46	4,76	4,91	626,37
2,0m	-2,3	-3,65	2,7	-2,32	4,66	0,91	612,01

6. táblázat: Az átlagszámítási módszerek középértékeitől való eltérés

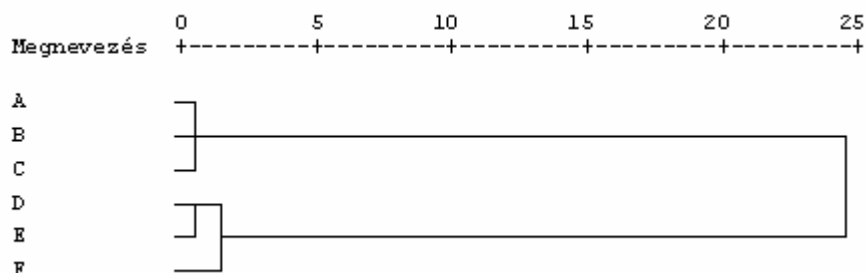
Második lépcsőben a fenti eredményeket még klaszterelemzéssel is megvizsgáltam és alátámasztottam.

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

$$[34] \quad d_{ij} = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2$$

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

Mind a három szintre (-2cm; 0,5m; 2,0m) külön-külön, és a szinteket együttesen kezelve is elvégeztem az elemzéseket. Többféle klasztereljárást is kipróbáltam a csoportok állandóságának kimutatására, és az elemzés helytállóságának alátámasztására. Kis különbségekkel minden szinten, minden technikával a Ward-féle módszer eredményeit kaptam (21. ábra).



21. ábra: Összevonási séma a Ward-féle módszer szerint

Az ábráról leolvasható, hogy két csoportot különített el a program. Az eredményeket az átlagok alapján elvégzett számításaimmal összevettem, és azt találtam, hogy a második csoportban található azok a módszerek, (D, E, F) melyek a legközelebb esnek a teljes minta átlagához. Ezek közül is az órás adatsűrűség (E) tűnik ki a többi közül. Mindezek alapján az órás adatsűrűség mellett döntöttem. A klaszterelemzést különböző klaszterelem-számok (7. táblázat) mellett is elvégeztem, minden esetben az órás adat különbözött a többitől a leginkább.

Típus	4 klaszter	3 klaszter	2 klaszter
A	1	1	1
B	2	1	1
C	3	2	2
D	1	1	1
E	4	3	2
F	3	2	2

7. táblázat: Klasztertagság alakulása eltérő klaszterszámok esetén

A fenti eredmények alapján az óránkénti 15 perces napi átlag (E) 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 órás átlagokból emeli ki a minimum és maximum hőmérsékletet. Így ha becsúszik 1-2 érzékelési hiba az óra során és kimarad pár érték, a maradék órás 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 a teljesen megegyező adatsorok használata.

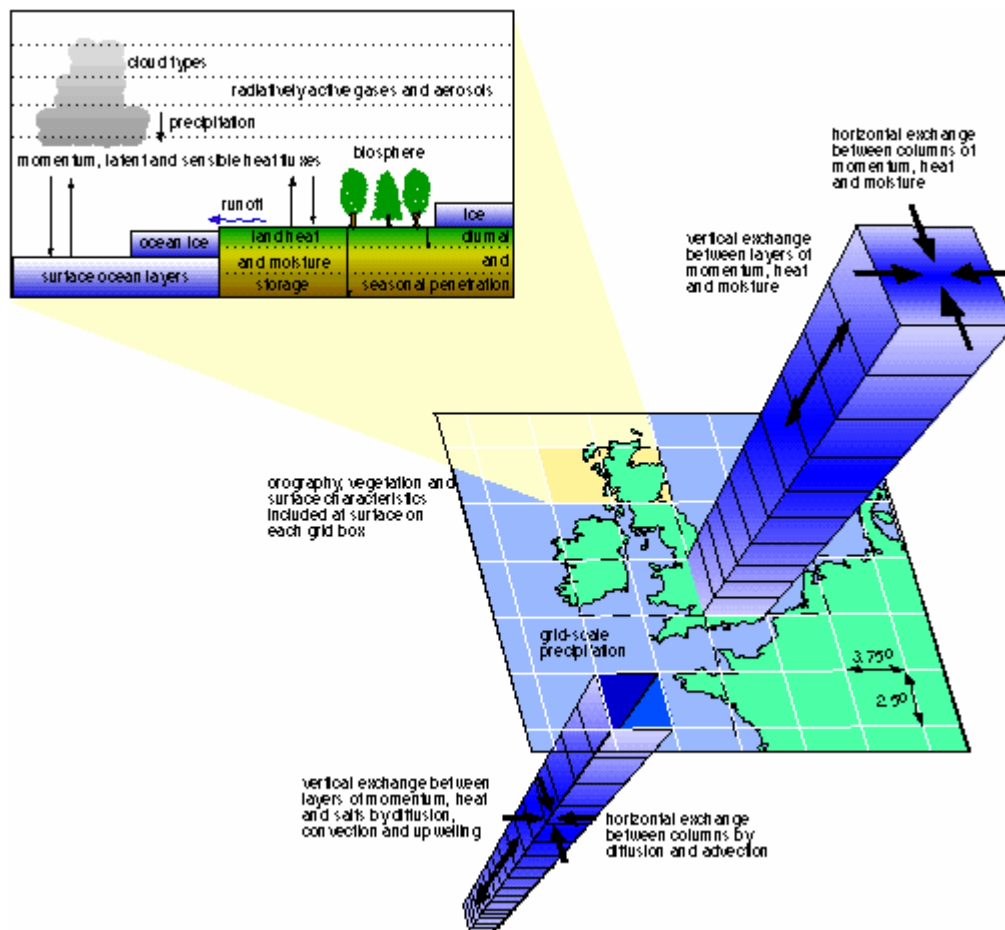
4.2. ALKALMAZOTT SZCENÁRIÓK

A nagy-britanniai Környezetvédelmi, Közlekedésügyi és Regionális Ügyek Minisztériuma (DETR) által meghirdetett Klíma Előrejelzési Programot 1990-ben Nagy-Britannia Meteorológiai Központjában alapították, Hadley-ben. Mostanra a Hadley Klímakutató Központ a világ egyik vezető klímamodellező központjává nőtte ki magát és mérvadó véleménnyel bír az IPCC klímaváltozással kapcsolatos döntéshozatalában is.

Ebben a dolgozatban a nagy-britanniai meteorológiai központ (UKMO) által használt nagyfelbontású ún. egyensúlyi (equilibrium) klímamodell (UKHI), a kislebontású egyensúlyi klímamodell (UKLO) és a nagyfelbontású átmeneti (tranzien) klímamodell (UKTR) által Debrecenre és környékére megadott 30 éves hőmérsékleti adatsorokat dolgoztam fel.

Elnevezés	Alkalmazott óceán típus	Felbontás
UKLO (1987)	Horizontális tömb	5,0° x 7,5°
UKHI (1990)	Horizontális tömb	2,5° x 3,75°
UKTR (1992)	20 rétegre bontott	2,5° x 3,75°

8. táblázat: UKMO modellek főbb jellemzői



22. ábra: UKTR modell vertikális és horizontális felbontása (Forrás: CRU)

Az UKMO modellek (UKLO, UKHI, UKTR) jellemzőiket tekintve elsősorban a felbontásban, illetve az óceán modellezésében térnek el (8. táblázat). 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 (22. ábra).

Az UKTR modellek felbontása tehát már eléri a 300-1000km-t és a 20 egymás fölött párhuzamosan futó rétegszámot az atmoszférában és a földfelszín/vízfelszín alatt.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. HŐÖSSZEG-SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ELEMZÉSE

5.1.1. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK REDUKÁLÁSA

A hazai és külföldi szakirodalom alapján összesen 27 számítási módszer állt rendelkezésemre.

Elsőkörben az összes napi hőösszeg-számítási módszer és a speciális órás számítási módszerek összehasonlítását végeztem el az 1997-es évre. Mivel a vizsgált hibridek fenofázisai természetesen sincsenek 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 (Harrison et al., 1995).

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. Ugyanígy 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 egyrészt meghamisította volna a többi eredményt, másrészt az összehasonlító grafikonon sem tudtam volna ábrázolni. Az eredmények igen széles skálán ingadoznak (9. táblázat).

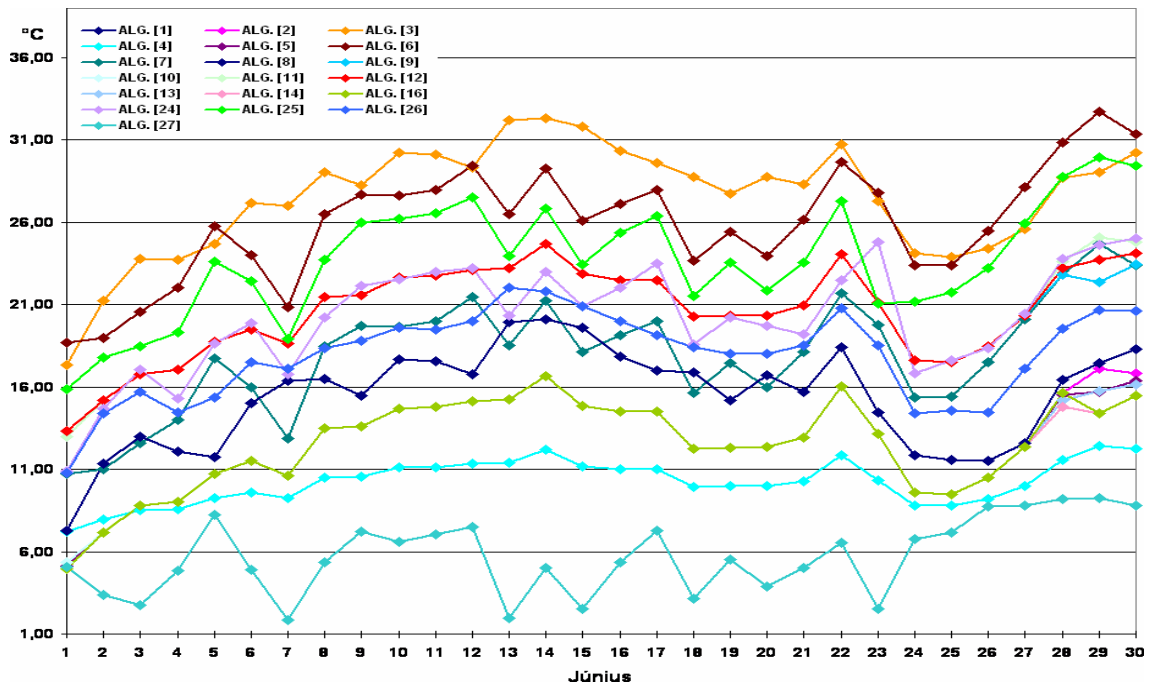
Az átlaghoz (497,29°C) legközelebb az alsó kumulációs képlet áll [8], az ettől való eltéréseket a 9. táblázat tartalmazza. Júniusra a legmagasabb értéket (825,88°C) az Ontárió-módszer [3] szolgáltatta, míg a legalacsonyabbat a nappali és éjszakai hőmérsékleti értékek különbségével kalkuláló 27-es módszer (172,45°C) adta.

Módszer	Június	Eltérés Átlagtól	Október	Eltérés Átlagtól
[1]	381,31°C	115,98°C	137,41°C	94,09°C
[2]	380,94°C	116,35°C	113,59°C	117,91°C
[3]	825,88°C	328,59°C	350,76°C	119,29°C
[4]	307,27°C	190,02°C	214,53°C	16,97°C
[5]	379,02°C	118,27°C	126,15°C	105,35°C
[6]	779,31°C	282,02°C	473,28°C	241,78°C
[7]	539,31°C	42,07°C	234,43°C	2,93°C
[8]	462,41°C	34,88°C	177,08°C	54,42°C
[9]	616,38°C	119,09°C	380,84°C	149,34°C
[10]	376,38°C	120,91°C	137,41°C	94,09°C
[11]	620,94°C	123,65°C	314,67°C	83,17°C
[12]	618,85°C	121,56°C	380,84°C	149,34°C
[13]	378,48°C	118,81°C	113,59°C	117,91°C
[14]	376,01°C	121,28°C	113,59°C	117,91°C
[16]	376,84°C	120,45°C	113,59°C	117,91°C
[24]	605,99°C	108,70°C	261,20°C	29,70°C
[25]	711,62°C	214,33°C	373,60°C	142,10°C
[26]	539,15°C	41,86°C	240,85°C	9,35°C
[27]	172,45°C	324,84°C	141,10°C	90,40°C

9. táblázat: **Hőösszeg-számítások június és október hónapokra**

Október hónapra legalacsonyabb értéként 113,59°C-ot, legmagasabbnak pedig 473,28°C-ot kaptam (felső kumulációs hőösszeg). Az átlaghoz legközelebb a korrigált felső kumulációs képlet áll [7]. A tenyészedőszak leghűvösebb és egyik legmelegebb hónapjában a legalacsonyabb hőösszeg-értékek között (172,45°C, 113,59°C) a

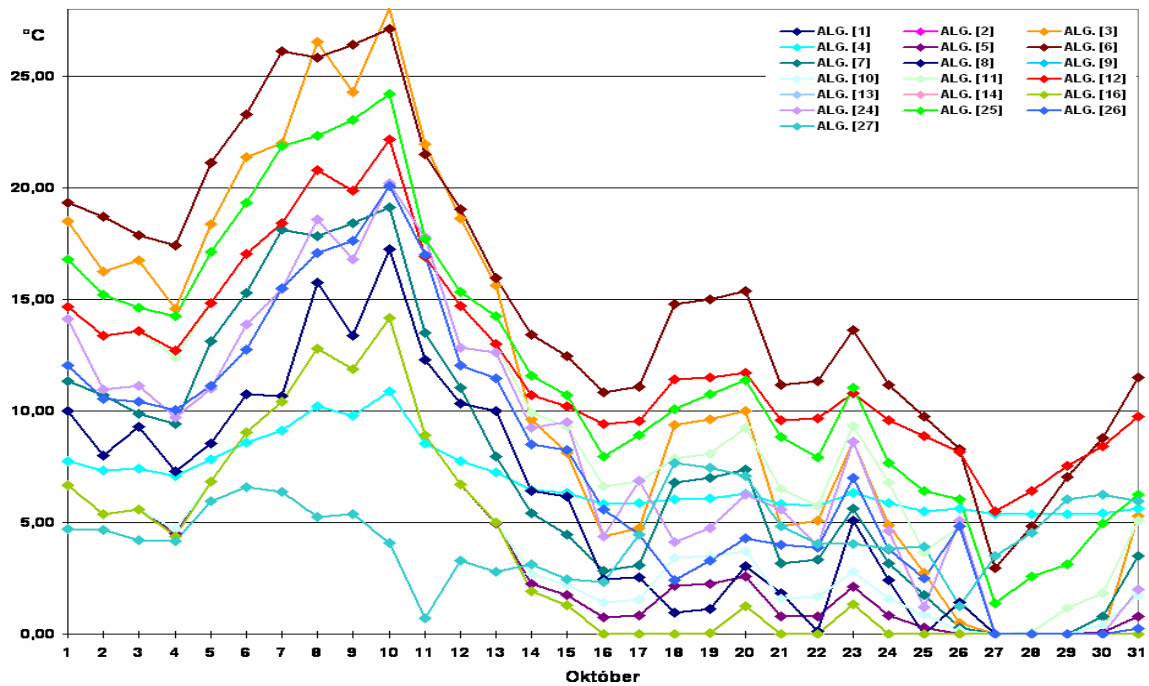
különbség mindössze 58,86°C. Ezzel ellentétben a legmagasabb értékek között a különbség 352,60°C. Ezek az értékek is azt sugallják, hogy a felső küszöbhőmérsékletekkel kalkuláló, illetve a különféle felső korlátozó modulokat használó összefüggések között alakulnak ki nagyobb eltérések.



23. ábra: Hőösszeg-számítási eredmények 0,5m-en június hónapra (1997)

Ezt a feltételezést támasztja alá az, hogy októberben, az alacsonyabb hőmérsékleteknek köszönhetően több teljesen megegyező hőösszeg-érték is született. Mind a bázishőmérséklettel csökkentett átlaghőmérséklet egyik fajtája [2], mind a bázishőmérséklettel módosított felülről korlátos átlaghőmérséklet [13], mind a felülről csökkentett bázishőmérséklettel korrigált átlaghőmérséklet [14], mind a Newman-képlet [16] is ugyanazt az eredményt szolgáltatotta.

A grafikonok futásukban és dinamikájukban a szélsőértékektől eltekintve hasonlítanak egymásra (23-24. ábra). A kiugró értékek levágása jól észrevehető egyes képleteknél. Június esetében a Stewart-féle algoritmus [4], felülről korlátos átlaghőmérsékleti képlet [12] és az éjszakai hőmérsékletekkel számoló [26] képlet szembetűnőbb. Október esetében szintén a Stewart-féle, a korrigált felső kumulációs hőösszeg [7], illetve talán az éjszakai-nappali hőösszeg-különbségekkel számoló képletsor [27] mutat egyenletesebb futást a többinél.



24. ábra: Hőösszeg-számítási eredmények 0,5m-en október hónapra (1997)

A későbbiek során mindhárom év (1997, 1998, 1999) teljes tenyésztési időszakában hőösszeg-számításra 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.

5.1.2. 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 módszerek átlagértékei között, illetve egy-egy módszer értéken belüli szórás és a módszerek közötti szórás eltér-e. A varianciaanalízis választ ad mindezen kérdésekre. A mintát kétféle variancia segítségével jellemezzük, az ún. belső és külső varianciával. Ha a külső variancia lényegesen meghaladja a belső varianciát, akkor a különbségek a módszerszámok eltéréseben rejlenek.

A belső variancia képlete:

$$[35] \quad S^2_b = \frac{\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^{n_j} (\bar{x}_j - x_{ij})^2}{N - h}$$

A külső variancia képlete:

$$[36] \quad S^2_k = \frac{\sum_{j=1}^{20} n_j (\bar{x} - \bar{x}_j)^2}{h - 1},$$

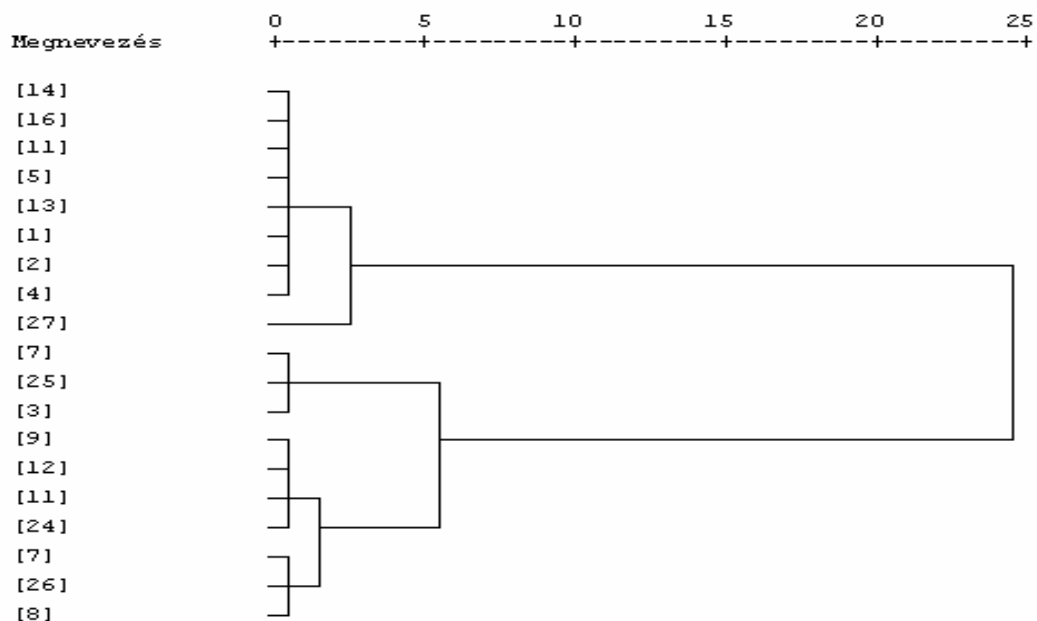
h módszerek száma
N összes elemszám
x teljes minta átlaga
x_j j-edik módszer értékek átlaga

Megnevezés	Négyzetösszeg	Szabadságfok	Variancia	F-statisztika	Szignifikancia
Csoportközi (külső) Variancia	17826,668	18	990,370	113,149	0,000
Csoporton belüli variancia	4822,781	551	8,753	-	-
Teljes variancia	22649,449	569	-	-	-

10. táblázat: A csoportok közötti különbség szignifikanciája a júniusi adatok alapján

A varianciák különbözőségének számszerűsítésére a korábbiaknak megfelelően a varianciák hányadosának és az F-eloszlás megfelelő értékének összehasonlítását, vagyis az F-próbát végezzük el.

Ha a szignifikancia öt század alatti, akkor elvetjük a nullhipotézist, miszerint a különböző módszerek értékei között nincs különbség. Az elemzést mind a júniusi (9. táblázat) mind az októberi (10. táblázat) adatokra elvégeztem, a megfelelő táblázatok azt mutatják, hogy a módszerek között jelentős különbségek adódtak.

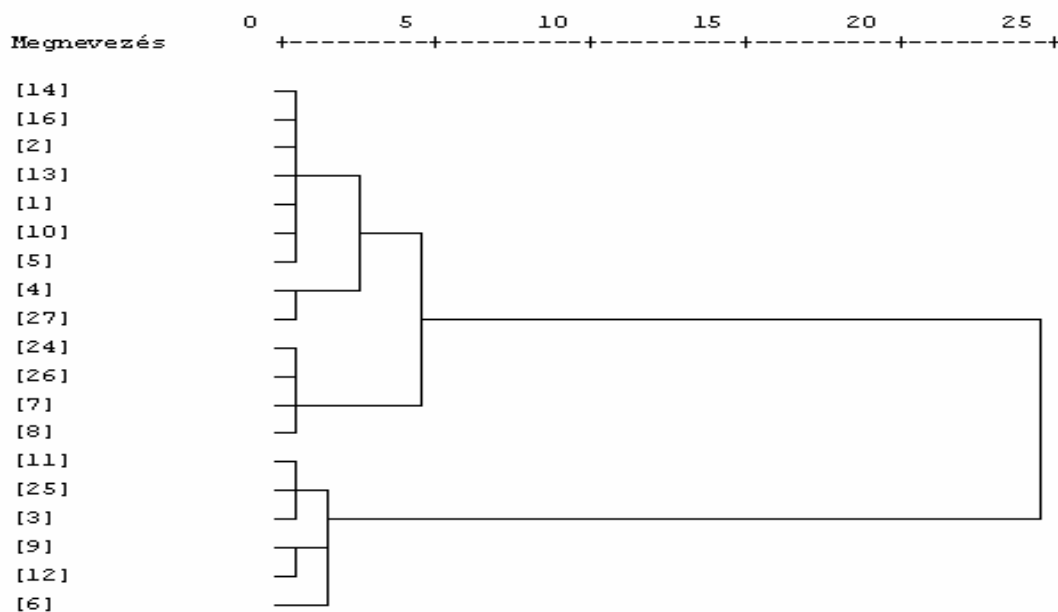


25. ábra: Június hónapra kiszámolt klaszterelemzés (1997)

Az átlagértékek és szórások (11. táblázat) utalnak rá, hogy mely módszerek tekinthetők azonosnak, de pontosabb eredményt kapunk a klaszterelemzést használva (25-26. ábra). 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.

Megnevezés	Négyzetösszeg	Szabadságfok	Variancia	F-statisztika	Szignifikancia
Csoportközi (külső) Variancia	7780,980	18	432,277	16,494	0,000
Csoporton belüli variancia	14938,763	570	26,208	-	-
Teljes variancia	22719,743	588	-	-	-

11. táblázat: A csoportok közötti különbség szignifikanciája az októberi adatok alapján



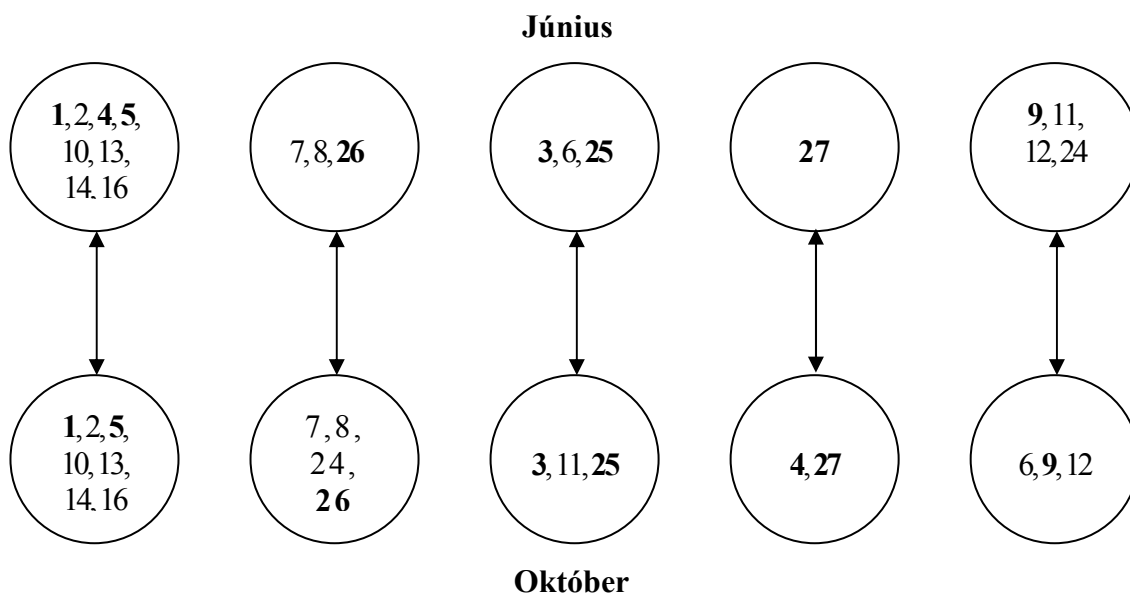
26. ábra: **Október hónapra kiszámolt klaszterelemzés (1997)**

Minden csoportból minimum 1 pár olyan képlet került kiválasztásra, amely mind júniusban, mind pedig októberben benne volt az adott csoportban (27. ábra). 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]

Módszer	Június		Október	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
[1]	12,7103	2,9575	4,4326	4,0153
[2]	12,6980	2,9898	3,6642	4,5022
[3]	27,5293	3,4173	11,3148	8,6181
[4]	10,2423	1,3280	6,9203	1,5402
[5]	12,6340	2,8948	4,0694	4,2271
[6]	25,9770	3,5151	15,2671	6,4584
[7]	17,9770	3,5151	7,5623	5,9982
[8]	15,4137	3,0805	5,7123	5,2177
[9]	20,5460	2,7714	12,2852	4,2134
[10]	12,5460	2,7714	4,4326	4,0153
[11]	20,6980	2,9898	10,1506	6,1676
[12]	20,6283	2,8523	12,2852	4,2134
[13]	12,6160	2,8854	3,6642	4,5022
[14]	12,5337	2,8052	3,6642	4,5022
[16]	12,5613	2,8322	3,6642	4,5022
[24]	20,1997	3,3317	8,4258	5,9413
[25]	23,7207	3,5352	12,0516	6,2125
[26]	17,9717	2,6742	7,7694	5,9034
[27]	5,7483	2,2788	4,5516	1,7089
Teljes	16,5764	6,3092	7,4678	6,2160

12. táblázat: A módszerek átlagértéke és szórása



27. ábra: A júniusi és októberi hónap alapján elkészített módszerbesorolások közötti átfedések

5.2. ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ KIALAKÍTÁSA

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.

5.2.1. OPTIMALIZÁLÁS TELJES TENYÉSZIDŐSZAK ALAPJÁN

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 Solver úgy módosítja a megadott változó cellák értékét, hogy a célcellában meghatározott érték legyen a végeredmény. Úgynevezett korlátozó feltételek megadásával behatárolhatjuk a Solver által használt értékeket. A Microsoft Excel Solver eszköz a "Generalized Reduced Gradient" (GRG2) nem lineáris optimalizálási eljárást használja, amelyet Leon Lasdon (University of Texas at Austin) és Allan Waren (Cleveland State University) fejlesztett ki. A lineáris és az egész értékű problémákra a változókat korlátozó simplex módszert, valamint a "branch-and-bound" (elágazás és korlátozás) módszert használja; ez utóbbit John Watson és Dan Fylstra (Frontline Systems, Inc.) valósította meg (www.solver.com). A variancia és a klaszterelemzés az SPSS 10.0 programmal történt.

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 tulajonképpen 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 hösszeg-számítási értéket kaptam.

Időszak	Módszer sorszáma								
	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	[25]	[26]	[27]
'97., '98., '99.	0,12	0,06	0,13	0,12	0,07	0,12	0,06	0,09	0,22

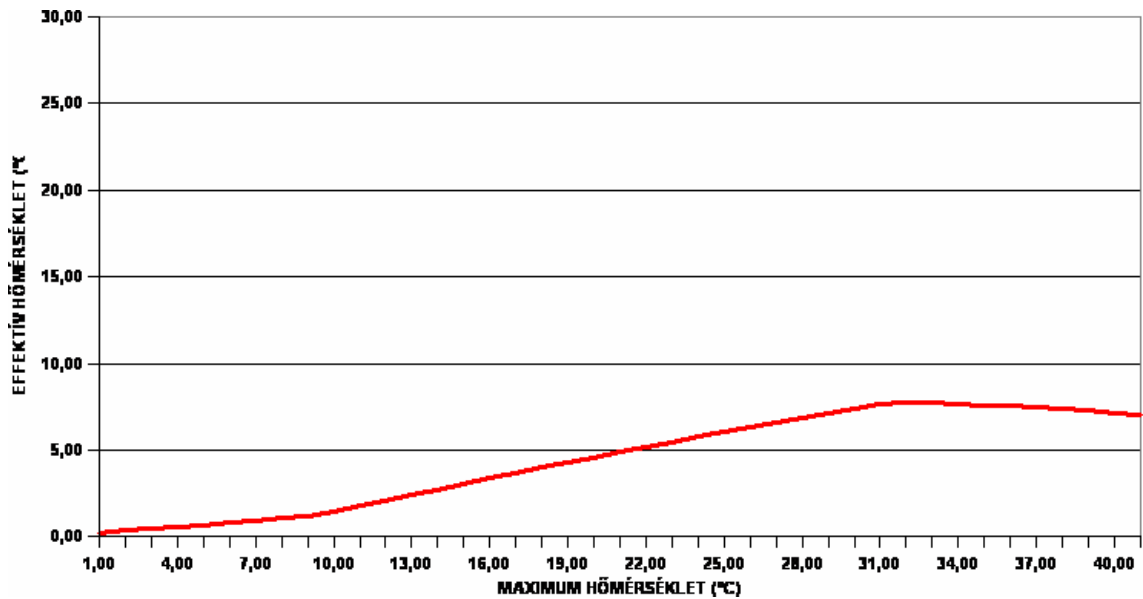
13. táblázat: **Az új képlet paraméterei a Solver program segítségével (0,5m)**

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 (13. táblázat).

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

$$[37] \quad [1] * 0,12 + [3] * 0,06 + [4] * 0,13 + [5] * 0,12 + [9] * 0,07 + [16] * 0,12 + [25] * 0,06 + [26] * 0,09 + [27] * 0,22$$



28. ábra: Az optimalizált képletkombináció általános lefutása

A 28. ábra jól érzékelteti, hogy az új algoritmus még a hasonló elven működő Ritchie-féle számítási módszernél is „lágyabb” futású. A fő különbség a két képlet futása között az, hogy az új képlet érzékenyebben reagál az alacsonyabb hőmérsékletekre.

Év	9 módszer átlaga			Solver eredményei			Eltérések		
	-2cm	0,5m	2,0m	-2cm	0,5m	2,0m	-2cm	0,5m	2,0m
1997	2397,22	2269,54	2154,08	2106,88	1942,77	1855,96	290,34	326,77	298,12
1998	2714,34	2245,26	2182,46	2364,11	1890,05	1868,44	350,23	355,21	314,02
1999	2481,51	2273,49	2135,86	2180,64	1946,17	1838,22	300,84	327,33	297,64

14. táblázat: Az eredeti képletek és az új képlet által megadott eredmények

A kapott súlyfaktorok elemzése során a 9 algoritmus által meghatározott hőösszeg-értékeket átlagoltam és az így kapott értékeket mindhárom szinten (-2cm, 0,5m, 2,0m) összehasonlítottam a Solver által súlyozott képletkombinációval kiszámolt értékekkel (14. táblázat). Az 15. táblázatban részletesen is látható az adatokból, hogy az a feltevésünk, miszerint az új képletkombináció pontosabb, mint bármelyik egyéb algoritmus a 9 korábban kiválasztott és elemzett képlet közül, helyénvaló. 3 tenyészidőszak 3 szintjén, összesen 81 alkalommal kiszámolt hőösszeg-értékek közül 11 alkalommal kaptunk az új képletkombinációnál pontosabb értéket (táblázatban pirossal jelölve). Ezen alkalmak közül háromszor az alapképlet [1] a talajhőmérsékleti

értékeknél járt közelebb a 9 alapképlet középértékéhez. 1997-ben a $290,34^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $200,23^{\circ}\text{C}$ -os, 1998-ban $350,23^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $59,64^{\circ}\text{C}$ -os, míg 1999-ben $300,84^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $257,87^{\circ}\text{C}$ -os eltérést produkálva. 8 alkalommal pedig az éjszakai átlaghőmérsékleti hőösszeg [26] adott pontosabb megközelítést. 1997-ben - 2cm-en $290,34^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $38,30^{\circ}\text{C}$ -os, 1998-ban $350,23^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $223,46^{\circ}\text{C}$ -os, míg 1999-ben $300,84^{\circ}\text{C}$ -os eltérés helyett $4,29^{\circ}\text{C}$ -os értéket produkálva. 0,5m-en ugyanez a számítási módszer csak 1997 és 1999-ben volt közelebb az átlagok középértékéhez. 1997-ben $326,77^{\circ}\text{C}$ helyett $258,26^{\circ}\text{C}$ -os, míg 1999-ben $327,33^{\circ}\text{C}$ helyett $220,38$ -os értékkel. 2,0m-en 1997-ben ugyanez a számítási módszer $298,12^{\circ}\text{C}$ helyett $99,22^{\circ}\text{C}$ -ra, 1998-ban $314,02^{\circ}\text{C}$ helyett $281,73^{\circ}\text{C}$ -ra, míg 1999-ben $297,64^{\circ}\text{C}$ helyett $131,50^{\circ}\text{C}$ -ra közelítette meg a középértékeket.

	Év	1997			1998			1999		
	Típus	Alap	Solver	Eltérés	Alap	Solver	Eltérés	Alap	Solver	Eltérés
-2cm	[1]	2196,99	241,67	200,23	2773,98	305,14	-59,64	2223,64	244,60	257,87
	[3]	3462,64	207,76	-1065,42	3931,59	235,90	-1217,25	3641,76	218,51	-1160,25
	[4]	1705,75	238,81	691,47	2046,36	286,49	667,98	1718,55	240,60	762,96
	[5]	1805,37	234,70	591,85	1913,84	248,80	800,50	1939,16	252,09	542,35
	[9]	2929,43	234,35	-532,21	3306,49	264,52	-592,15	3077,19	246,18	-595,68
	[16]	1760,18	228,82	637,04	1990,17	258,72	724,17	1951,29	253,67	530,22
	[25]	3857,31	231,44	-1460,09	4233,31	254,00	-1518,97	3891,00	233,46	-1409,49
	[26]	2435,52	219,20	-38,30	2937,80	264,40	-223,46	2477,22	222,95	4,29
	[27]	1421,79	270,14	975,43	1295,50	246,15	1418,84	1413,79	268,62	1067,72
	-	2397,22	2106,88	-290,34	2714,34	2364,11	-350,23	2481,51	2180,67	-300,84
0,5m	[1]	1747,48	192,22	522,06	1708,53	187,94	536,73	1749,84	192,48	523,65
	[3]	3711,35	222,68	-1441,81	3776,55	226,59	-1531,29	3712,27	222,74	-1438,78
	[4]	1749,09	244,87	520,45	1537,05	215,19	708,21	1466,04	205,25	807,45
	[5]	1739,34	226,11	530,20	1537,05	199,82	708,21	1739,49	226,13	534,00
	[9]	2974,10	237,93	-704,56	3061,61	244,93	-816,35	2975,98	238,08	-702,49
	[16]	1734,56	225,49	534,98	1658,70	215,63	586,56	1730,07	224,91	543,42
	[25]	3384,95	203,10	-1115,41	3463,94	207,84	-1218,68	3543,88	212,63	-1270,39
	[26]	2527,80	227,50	-258,26	2660,28	239,43	-415,02	2493,87	224,45	-220,38
	[27]	857,15	162,86	1412,39	803,66	152,70	1441,60	1050,00	199,50	1223,49
	-	2269,54	1942,77	-326,77	2245,26	1890,05	-355,21	2273,49	1946,17	-327,33
2,0m	[1]	1663,95	183,03	490,13	1548,92	170,38	633,54	1630,81	179,39	505,05
	[3]	3467,67	208,06	-1313,59	3439,58	206,37	-1257,12	3416,08	204,96	-1280,22
	[4]	1437,73	201,28	716,35	1448,24	202,75	734,22	1392,75	194,99	743,11
	[5]	1633,63	212,37	520,45	1504,50	195,59	677,96	1608,50	209,11	527,36
	[9]	2877,61	230,21	-723,53	2893,90	231,51	-711,44	2850,52	228,04	-714,66
	[16]	1614,23	209,85	539,85	1475,48	191,81	706,98	1591,33	206,87	544,53
	[25]	3345,94	200,76	-1191,86	3665,77	219,95	-1483,31	3366,38	201,98	-1230,52
	[26]	2253,30	202,80	-99,22	2464,19	221,78	-281,73	2267,36	204,06	-131,50
	[27]	1092,64	207,60	1061,44	1201,59	228,30	980,87	1099,02	208,81	1036,84
	-	2154,80	1855,96	-298,12	2182,46	1868,44	-314,02	2135,86	1838,22	-297,64

15. táblázat: A számítási módszerek értékei optimalizáció előtt és után

A fenti értékelés alapján egyértelműsíthető, hogy a súlyozott új képletkombináció pontosabb értékelést tesz lehetővé.

Megnevezés	Átlag	Szórás
Alap Módszerek	2317,0844	186,4556
Solver	1999,2524	179,9739

16. táblázat: **Az optimalizált és az eredeti képletek szórásai**

A 16. táblázatban foglaltak is azt mutatják ki, hogy az optimalizált képletkombináció szórása kisebb, így pontosabb jóslást tesz lehetővé, következésképpen használhatóbb, mint a 9 alapképletből bármelyik külön-külön.

5.3. RÉSZLETES FENOFÁZIS ELEMZÉS

Az 50%-os nővirágzás időpontjai állnak rendelkezésre mindhárom évből a részletesebb elemzéshez (17. táblázat), míg ennél részletesebb megfigyelések csak az 1997-es évben történtek (18. táblázat).

A levélszám alakulását és a hibridek fejlődésének és növekedésének részletesebb bemutatását a 20. táblázat mutatja.

A vizsgált hibridek zöme korai érésű kukoricahibrid (Asgrow 043, Debreceni SC 351, Debreceni SC 377, Kanada, LG 2298, Occitan, Szegedi TC 277). Kisebb részük középérésű (Dekalb 471, Mv Marathon 484,) és egy késői érésű kukorica hibrid (Florenca) volt közöttük.

Az adatokból világosan látszik, hogy a kelés után milyen ütemben és mértékben tolódtak el az egyes fenofázisok.

Elsőként a legkorábbi érésű DB 377-es hibrid kezdte meg a virágzást (07.11.). Egy nappal később (07.12.) a DB 351-es, majd 3 napra rá az AW 043 (07.15.) követte a virágzásban. Majd az MV 484-es Marathon következett (07.16) annak ellenére, hogy középérésű. Ezután az Occitan (07.17.), DK 471 (07.19.) és végül a késői érésű Florenca (07.21.) következett.

Év	1997		1998		1999	
Hibrid	50% nővirágzás időpontja	Fekete réteg kialakulásának időpontja	50% nővirágzás időpontja	Fekete réteg kialakulásának időpontja	50% nővirágzás időpontja	Fekete réteg kialakulásának időpontja
AW043 FAO380	07.15.	10.02.	-	-	-	-
DB351 FAO380	07.12.	09.17.	07.08.	09.25.	-	-
DB377 FAO340	07.11.	09.17.	07.08.	09.25.	-	-
DK471 FAO410	07.19.	09.26.	07.13.	10.02.	07.08.	09.21.
FLORENCIA FAO530	07.21.	09.29.	-	-	-	-
KANADA FAO310	-	-	-	-	07.05.	09.20.
LG2298 FAO340	-	-	07.13.	09.25.	-	-
MV484 FAO450	07.16.	09.29.	07.13.	10.15.	07.10.	09.30.
OCCITAN FAO390	07.17.	09.22.	07.13.	09.25.	-	-
SZE277 FAO320	-	-	-	-	07.07.	09.16.

17. táblázat: Az 50%-os nővirágzás időpontjai a három év tenyészedőszakai során

1997	DB377	DB351	AW043	OCC.	DK471	MV 484	FLOR.	ÁTLAG	SZÓRÁS
FAO	340	380	380	390	410	450	530	-	-
05.02.	vetés	vetés	vetés	vetés	vetés	vetés	vetés	-	-
05.12.	kelés	kelés	kelés	kelés	kelés	kelés	kelés	-	-
05.30.	3,8	3,6	3,6	3,6	3,7	3,4	3,2	3,56	0,20
06.02.	4,0	3,8	3,7	3,8	3,8	3,6	3,5	3,74	0,16
06.05.	4,8	4,0	3,9	4,2	4,0	3,9	4,0	4,11	0,32
06.06.	4,9	4,2	4,2	4,4	4,3	4,0	4,0	4,29	0,31
06.09.	5,6	4,8	4,8	4,8	5,1	4,7	4,4	4,89	0,38
06.11.	5,8	5,1	5,2	5,2	5,3	4,9	5,0	5,21	0,29
06.13.	6,5	5,7	5,7	5,7	5,9	5,5	5,3	5,76	0,38
06.16.	7,0	6,3	6,2	6,4	6,7	6,3	6,1	6,43	0,31
06.18.	7,8	6,8	6,6	6,8	7,2	6,6	6,3	6,87	0,49
06.20.	8,0	7,2	7,0	7,2	7,6	7,1	6,7	7,26	0,42
06.24.	8,9	8,0	7,9	8,1	8,4	7,9	7,6	8,11	0,42
06.26.	9,4	8,5	8,3	8,5	8,7	8,4	7,9	8,53	0,46
06.30.	10,4	9,5	9,1	9,3	9,7	9,2	8,7	9,41	0,54
07.02.	10,9	10,2	9,8	10,6	10,4	9,8	9,2	10,13	0,57
07.04.	11,9	11,0	10,4	10,5	11,1	10,3	9,6	10,69	0,73
07.07.	12,8	12,3	11,4	11,6	12,0	11,3	10,6	11,71	0,72
07.09.	14,3	13,6	12,1	12,4	12,9	12,0	11,1	12,63	1,07
07.11.	15,6	14,9	12,8	13,1	13,5	12,8	11,7	13,49	1,34
07.11.	Virágzás	-	-	-	-	-	-	-	-
07.12.	-	Virágzás	-	-	-	-	-	-	-
07.14.	16,9	16,2	14,2	14,2	14,7	13,8	13,3	14,76	1,31
07.15.	-	-	Virágzás	-	-	-	-	-	-
07.16.	17,5	16,8	15,1	15,4	15,3	14,9	14,1	15,59	1,17
07.16.	-	-	-	-	-	Virágzás	-	-	-
07.17.	-	-	-	Virágzás	-	-	-	-	-
07.18.	17,7	16,9	16,1	16,5	16,3	16,0	15,1	16,37	0,81
07.19.	-	-	-	-	Virágzás	-	-	-	-
07.21.	17,9	16,9	16,6	17,5	17,5	17,0	16,1	17,07	0,61
07.21.	-	-	-	-	-	-	Virágzás	-	-
07.22.	17,9	16,9	16,6	17,5	17,5	17,2	16,1	17,10	0,61
09.17.	F. réteg	F. réteg	-	-	-	-	-	-	-
09.22.	-	-	-	F. réteg	-	-	-	-	-
09.26.	-	-	-	-	F. réteg	F. réteg	-	-	-
09.29.	-	-	-	-	-	-	F. réteg	-	-
10.02.	-	-	F. réteg	-	-	-	-	-	-

18. táblázat: A levélszám és fenofázisok alakulása 7 kukorica hibrid esetében (1997)

5.3.1. FEJLŐDÉSI FOKOZATOK ÉS JELLEMZÉSÜK

0. fejlődési fokozat: A vetéstől a kelésig tartó fejlődési fokozat. Ha a kukoricát megfelelő időben vetjük el kedvező talajadottságú területen, akkor a szem 8-10 nap alatt kikel. Ennek a fejlődési fokozatnak a hossza erősen függ a talajfizikától, összetevőitől, kultúrállapotától, a magágy előkészítettségétől, a nedvességtartalomtól és a talajhőmérséklettől. Kedvező körülmények között a szem 4-5 nap alatt is kikelhet, de ellenkező esetben akár 2 hétig is elhúzódhat, vagy ki sem kel. A kísérletbe bevont növények esetében a kelés mindegyik hibridnél 10 napra történt a vetés után (05.12.).

1. fejlődési fokozat: A még kibomlatlan 4. levél megjelenésétől számítjuk ezt a fenofázist. A növény magassága kb. 8-10cm és a szár tenyészőkúpján a címerkezdemény már differenciálódott. A 4. levél megjelenésének idején már a levélkezdemények is kialakulnak. Ebben a fázisban alakul ki, hogy hány levél képződhet a növény teljes egyedfejlődése során. A levelek számának meghatározásában genetikai adottságok, a fotoperiodizmus, külső környezeti tényezők, valamint a felvehető tápanyagmennyiség a fő befolyásoló tényező.

A 7 kukoricahibrid összehasonlítása során a 4 leveles stádiumot elsőként a DB 377-es hibrid érte el (06.02.) a vetés után egy hónappal. Ezt átlagosan 3-4 nappal követte a többi hibrid (06.05-06.06.).

2. fejlődési fokozat: A még kibomlatlan, összesodródott 8. levél megjelenésének ideje. A növény kb. 35-40cm magas. Ez a fázis jelenti a levelek gyors növekedésének középső szakaszát. A szár gyors növekedésnek indul, tenyészőkúpja már 15-20cm-rel a talaj felszín fölé emelkedik. A legelsőként megjelent 1-2 levél leszárad. A tápanyagfelvétel gyors, ezért a starter trágyázás hiánya szembetűnő lehet. Megosztott trágyázás esetében a második nitrogén adagot ekkortájt szokták kijuttatni a földekre. Ebben a fejlődési fokozatban megindult nitrogén és foszfor felvétel csaknem az érés befejeződéséig tart. A kálium, kalcium és magnézium felvétel gyors tempója a bibék megjelenéséig tart, majd lelassul. Ezt a fázist megint csak a DB 377-es hibrid érte el elsőként (06.20), kb. másfél hónappal a vetés után. Az Flórencián kívül (6 napos késés) nagyjából mindegyik hibrid 4 napot késett hozzá képest.

3. fejlődési fokozat: Láthatóvá válik a 12., még összesodródott levél. A növény szárazanyag-felhalmozódási üteme igen gyors, ha a külső környezet és a tápanyagellátás ezt nem korlátozza. A növény további élete szempontjából meghatározó levelek elérik teljes fejlettségüket. Növekszik a levelek összsúlya és úgy fordulnak a sorokban, hogy a

lehető legtöbb fény érje őket. A kezdetek során megjelent 3-4 levél elsorvad és csak 8-9 megmaradt levél folytatja működését. A szár eléri végleges magasságának kb. az 1/3-át (80-90cm). A címer már kifejlődik ugyan, de a levelek közrefogják így nem látható. A gyökerek már kitöltik a rendelkezésre álló tér 80%-át. Ebbe a fejlődési fokozatba 07.04-én lépet a DB 377-es kukoricahibrid, míg a DB 351-es és a DK 471-es 2-3 nappal később, az AW 043-as, az Occitan és az MV 484-es kb. 7 nappal később követte. A Florencia 7-8 nappal követte (07.12.) a legalacsonyabb FAO számú hibrid 12 leveles állapotát. Itt csúcscsodott ki a levélszám eltéréseinek szórása is (1,34).

4. fejlődési fokozat: Láthatóvá válik a még összesodródott 16. levél. A 12-14. levelek kiindulási nóduszainál gyors növekedésnek indul a csökocsány és a csuhélevelek. A levelek között már megtalálható a még mindössze 2,5-3cm hosszúságú csőkezdemény, ami ezután igen gyors növekedésbe kezd. Tulajdonképpen minden levél hónaljában (nóduszánál) megtalálható egy-egy csőkezdemény, de normális vetési sűrűségnél ebből csak 1-2 fejlődik ki és éri el a fajtára jellemző nagyságát és hoz termést. Az első 5-6 levél előregszik és befejezi működését. Ebben az időszakban már megfigyelhető az állomány 50%-os nővirágzása. A DB 377-es kezdi meg a virágzást (07.11.) akkor, amikor a Florencia még csak a 12 leveles állapotánál tart. Egy napra rá a DB 351, 4 nap múlva pedig az Asgrow 043-as állományában figyelhető meg az 50%-os nővirágzás időszaka. Az MV Marathon 484 virágzása megelőzi mind az Occitánt (07.17.), mind Dekab 471-est (07.19.), tehát a levélszám-szórások csökkenésével is fémjelezhető folyamat során megindul a kiegyenlítődés a fajták között (26. ábra). A Florencia, mint a legkésőbb érésű hibrid a kísérletben résztvevő fajták közül 10 nappal később, 07.21-én kerül ebbe a stádiumba.

5. fejlődési fokozat: A 75%-os nővirágzás időszaka. A bibe megjelenése után megindul a pollenhullás és a megtermékenyülés. Normális állománysűrűség és fejlődési körülmények között a címerből a pollenhullás 2-3 nappal előzi meg bibe megjelenését (proterandria). A növény eléri teljes magasságát. A vegetatív részek növekedése leáll, további növekedés és fejlődés már csak a csőnél, illetve a szemeknél jelentkezik. A csutka és a csökocsány gyorsan növekszik, valamint a szemekből kiinduló bibeszálak is gyorsan növekednek. A növekedés kb. 2 hétig tart, amíg a pollen meg nem termékenyíti. A gyökér kedvező körülmények között már csaknem eléri a teljes felületét.

6. fejlődési fokozat: A 75%-os bibemegjelenés utáni 12. nap. Ebben a fejlődési fokozatban a csutka és a csökocsány már eléri a teljes méretét. A szemek ún. hólyag

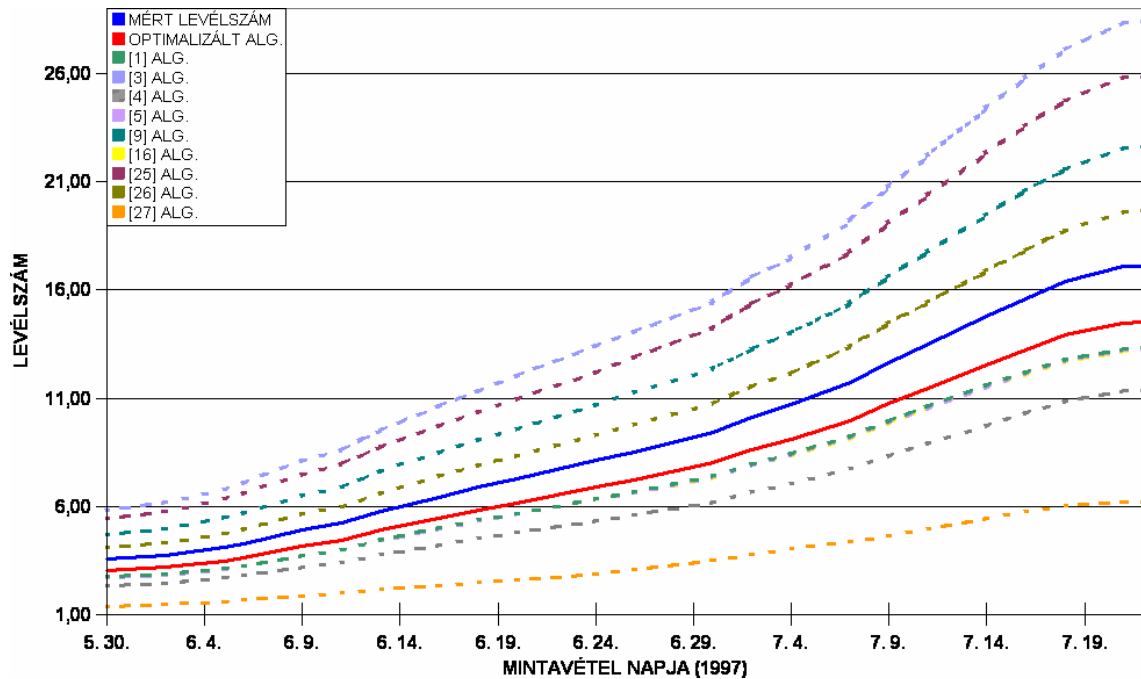
állapotban vannak, hiányzik az endospermium. Az embrióban kialakult a koleoptil, az első levél és a radikula kezdeménye. Mivel a keményítő kezd berakódni az endospermiumba, megindul a szemek szárazanyagának gyors gyarapodása. A nitrogén és a foszfor a növény egyéb részeiből kezd elbomlani és átépülni a szemekbe. Az a folyamat a fekete réteg kialakulásáig folytatódik.

7. fejlődési fokozat: A 75%-os nővirágzást követő 24. nap. Az embrióban a plumularadikula tengely teljesen differenciálódott. Befejeződik az endospermium epidermális rétegének sejtosztódása és megkezdődik az embrionális növény gyors méretbeli fejlődése.

8. fejlődési fokozat: A 75%-os nővirágzást követő 36. nap. Az embrió növekedése igen gyors, és a radikula, valamint az embrionális levelek teljesen differenciálódnak. Az endospermium gyarapodása ezután a fenofázis után a sejt méretének növekedése révén megy végbe. A növények 25%-nál már kialakult a dent jelleg a szemeknél. Ez az időszak különösen érzékeny a vízhiányra, ha szárazság lép fel, akkor a szemtelítődés nem megy végbe.

9. fejlődési fokozat: A 75%-os nővirágzás utáni 48. nap. Ebben az állapotban a növények szárazanyag-felhalmozódása már csökkenni kezd. Minden szemnél kialakult a dent jelleg. Az embrió már morfológiailag érett.

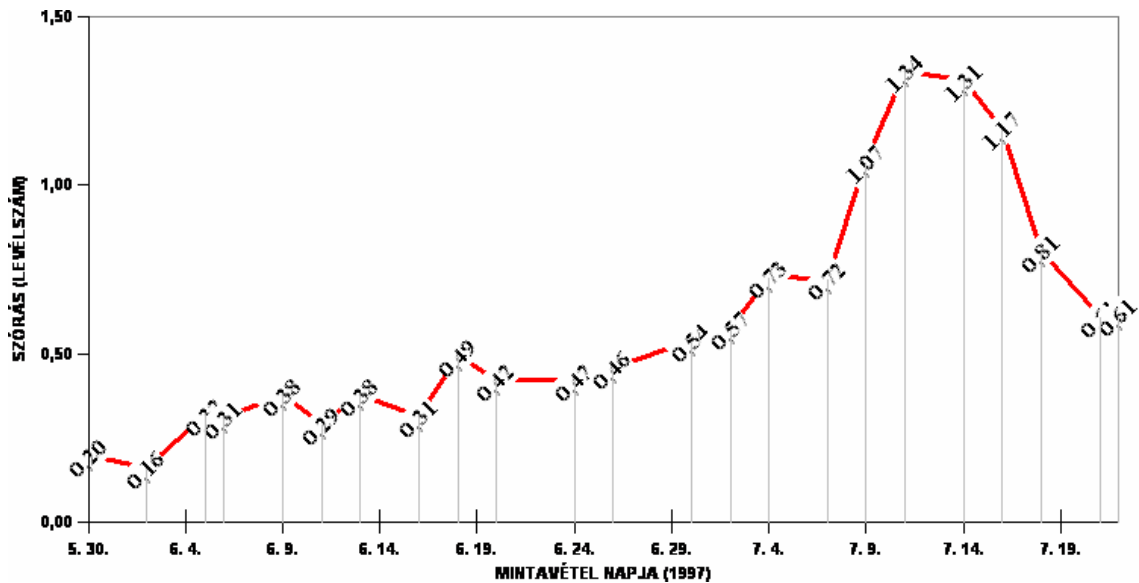
10. fejlődési fokozat: A 75%-os nővirágzás utáni 60. nap. A növény és a szem fiziológiailag érett, megszűnik a szárazanyag-berakódás. A csuhélevelek és néhány lomblevél előregszik. Ezután a cső fokozatosan elveszíti nedvességtartalmát. A vízvesztés intenzitása függ a genetikus alkattól, klimatikus feltételektől, a cső fejlődési fokozatban elért nedvességtartalmától. Napi 0,6-1,2%-os vízvesztés is lehetséges. Kialakul a fekete réteg. Köszönhetően a levélszám variancia drasztikus csökkenésének, és a generatív fejlődési fázisban történő fenofázis kiegyenlítődésként a fekete réteg mind a DB 377-es, mind a DB 351-es hibrid esetében már egy napon történt meg (09.17.). Majd az Occitan (09.22.), és szintén azonos napon a DK 471 és MV 484-es (09.26.) következett. Ezután habár a Florencia volt az egyetlen késői érésű hibrid, mégsem utolsóként zárta a sort (09.29), megelőzte az AW 043-as hibrid (FAO 380) fekete réteg képződését (10.02.). Holott FAO számai között 150-es különbség van a Florencia javára (FAO 530).



29. 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 29. 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 módszerként 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 a képletek külön-külön, habár ez nem minden esetben szignifikáns. Az is kitűnik az ábrából, hogy a tenyészidőszak előrehaladtával a képlet pontossága fokozatosan csökken, az eltérések és a lehetséges hibák száma nő.



30. ábra: Levélszám szórási indexe a mintavételezések során (1997)

Összefoglalóan tehát elmondható, hogy kísérletbe bevont növények levélszámai közötti eltérések az idő előrehaladtával egyre inkább növekedtek és elszakadtak egymástól egészen a virágzások megindultáig. Ezután az eltérések gyors csökkenésbe fordultak, amely kitartott egészen a fekete réteg kialakulásáig (30. ábra). A fekete réteg kialakulása után mivel a fejlődés megállt, természetesen a levélszámokban is megjelent a kiegyenlítődés, átlagosan 16-17 levél volt megfigyelhető a teljesen érett hibrideken.

Közvetlenül a kelés után volt a legalacsonyabb a levélszám eltérés a legkevesebb és legtöbb levéllel bíró egyed között (0,5-0,6 levél), míg ezek az értékek a virágzások megindulásával (07.11-07.16.) érték el a csúcst (3,4-3,9 levél), majd gyors csökkenés után 1,8 levélnyi különbség környékén állapodtak meg.

5.4. HŐÖSSZEG-ÉRTÉKEK AZ ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ ALAPJÁN

A fenti eredmények alapján első lépésben a június és október hónapok klaszteranalízisével kiválasztott 9 algoritmus mindegyikével kiszámoltam mindhárom év (1997, 1998, 1999) tenyészidőszakában mindhárom szintre (-2cm, 0,5m, 2,0m) a hőösszegeket (21. táblázat).

A számítások során mindegyik képlet esetében, amelyik igényelte 8°C-os bázishőmérsékletet és ahol szükség volt rá, 30°C-os felső küszöbhőmérsékletet használtam.

Az [1]-es képletnél az 1997-es év vizsgált tenyészidőszakában (május 2 - október 3.) a következőképpen viselkedett 8°C-os bázishőmérséklet mellett. Az év tenyészidőszakának napi effektív hőmérsékletének összege -2cm-es talajhőmérsékleti értékek esetében 2192,58°C. Ugyanez az érték a képlet kitételeivel történő helyesbítés után 2196,99°C. 10 alkalommal történt a $T_{i,MIN} < T_B$ összefüggés alapján korrekció (19. táblázat).

Szint	Módszer sorszáma								
	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	[25]	[26]	[27]
-2cm	2196,99	3462,64	1705,75	1805,37	2929,43	1760,18	3857,31	2435,52	1421,79
0,5m	1747,48	3711,35	1749,09	1739,34	2974,40	1734,56	3384,95	2527,80	857,15
2,0m	1663,95	3467,67	1437,73	1633,63	2877,61	1614,23	3345,94	2253,30	1092,64

19. táblázat: **A klaszteranalízis során kiválasztott algoritmusok szerint 1997-re kiszámolt hőösszeg-értékek**

0,5m-es szinten kitételek nélkül 1740,87°C-os, míg a korrekciók után 1747,48°C-os hőösszeg értéket kaptam. Hasonlóan a talajhőmérsékleti értékekhez itt is 10 alkalommal volt szükség adatfelülírásra a feltételek alapján.

A 2,0m-es szinten 24 alkalommal esett 8°C alá a hőmérséklet, így a kitételek nélkül 1629,60°C-os hőösszeg jött ki, míg a korrekciók után 1663,95°C-os értéket kaptam.

Az 1998-as (április 25 – október 15.) év esetében -2cm-en 8 esetben kellett a feltételek szerint korrigálni, így 2769,88°C-ot kaptam, míg korrekcióval 2773,98°C-ot.

0,5m-en 14 alkalommal esett a hőmérséklet 8°C alá. Korrekció nélkül 1691,5°C a hőösszeg, míg korrekcióval 1708,53°C (20. táblázat).

Szint	Módszer sorszáma								
	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	[25]	[26]	[27]
-2cm	2773,98	3931,59	2046,36	1913,84	3306,49	1990,17	4233,31	2937,80	1295,50
0,5m	1708,53	3776,55	1537,05	1678,95	3061,61	1658,70	3463,94	2660,28	803,66
2,0m	1548,92	3439,58	1448,24	1504,50	2893,90	1475,48	3665,77	2464,19	1201,59

20. táblázat: **A klaszteranalízis során kiválasztott algoritmusok szerint 1998-ra kiszámolt hőösszeg-értékek**

2,0 m-en 38 alkalommal kellett a T_{MIN} -t a 8°C -os bázishőmérsékletre egyenlíteni, így korrekció nélkül $1508,10^{\circ}\text{C}$, míg korrekcióval $1548,92^{\circ}\text{C}$ hőösszeg jött ki a tenyészidőszakra.

Az 1999-es év (április 29 – szeptember 30.) esetében 7 alkalommal kellett -2cm-en a tenyészidőszak elején korrigálni a bázishőmérséklet miatt. Így korrekció nélkül 2218°C jött ki, míg korrekcióval $2223,64^{\circ}\text{C}$ (21. táblázat).

Szint	Módszer sorszáma								
	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	[25]	[26]	[27]
-2cm	2223,64	3641,76	1718,55	1939,16	3077,19	1951,29	3891,00	2477,22	1413,79
0,5m	1749,84	3712,27	1466,04	1739,49	2975,98	1730,07	3543,88	2493,87	1050,00
2,0m	1630,81	3416,08	1392,75	1608,50	2850,52	1591,33	3366,38	2267,36	1099,02

21. táblázat: **A klaszteranalízis során kiválasztott algoritmusok szerint 1999-re kiszámolt hőösszeg-értékek**

0,5m-en 9 alkalommal történt korrekció, nélküle $1742,61^{\circ}\text{C}$, míg korrekcióval $1749,84^{\circ}\text{C}$ -ot kaptam ezzel a képlettel eredményül.

2,0m-en 24 alkalommal süllyedt a hőmérséklet 8°C alá. A kitételek alkalmazása nélkül $1603,66^{\circ}\text{C}$ jött ki, míg a 24 korrekcióval $1630,81^{\circ}\text{C}$.

A T_{MAX} -ot egyetlen alkalommal sem kellett korrigálnom egyik év során sem.

A [3]-as képlet esetében -2cm-en $3462,64^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeget kaptam 1997-re és mivel itt sem az éjszakai hőmérséklet nem süllyedt $4,4^{\circ}\text{C}$ fok alá a tenyészidőszakban, sem a nappali hőmérséklet nem süllyedt 8°C alá, ez az érték változatlan maradt.

0,5m-en $3711,35^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeget mért az állomás az adott tenyészidőszakra.

2,0m-en a kitételeknek megfelelően szeptember hónapban 5 helyen csökkent az Y_{MIN} értéke $4,4^{\circ}\text{C}$ alá, így a korrekciók előtti $3459,06^{\circ}\text{C}$ -os értéket $3467,68^{\circ}\text{C}$ -ra módosítottam.

Az 1998-as tenyészidőszak esetében -2cm-en nem történt módosítás, a hőösszeg-érték $3931,59^{\circ}\text{C}$. 0,5m-en a kitételeknek megfelelően 4 módosítás történt, így az eredeti $3772,81^{\circ}\text{C}$ -os érték $3776,55^{\circ}\text{C}$ -ra módosult. 2,0m-en a 8 módosításnak köszönhetően az eredeti $3425,80^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-érték $3439,58^{\circ}\text{C}$ -ra módosult.

Az 1999-es tenyészidőszakban -2cm-en nem történt a kitételeknek köszönhető módosítás, mivel sem a T_{MIN} nem süllyedt sehol az éjszakai $4,4^{\circ}\text{C}$ -os bázishőmérséklet alá, sem a T_{MAX} nem süllyedt sehol a nappali 8°C -os bázis alá. A tenyészidőszak

hőösszege ezen a szinten 3641,76°C. 0,5m-en egyetlen egy alkalommal süllyedt 4,4°C alá a hőmérséklet, így az eredeti 3710°C-os hőösszeget 2,27°C-os emelés történt. A 2,0m-es szinten 4 alkalommal süllyedt a hőmérséklet 4,4°C alá, így az eredeti 3410,09°C-os hőösszeg-értéket ez 3416,08°C-ra módosította.

A [4]-es algoritmus esetében a nővirágzás előtti és utáni fenofázisok esetében eltérő képletet alkalmazunk. Mivel a kísérletben az 50%-os nővirágzás beállta a különböző hibridek között július 11. és július 21. között ingadozott egységesen július 15-öt vettem a fenofázisváltás időpontjaként 1997-re. Ugyanezen okokból kifolyólag 1998-ra július 10-et, míg 1999-re július 8-at. 1997-re -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 1705,75; 1749,09 és 1437,73°C jött ki. 1998-ra -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 2046,36; 1537,05 és 1448,24°C jött ki. 1999-re -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 1718,55; 1466,04 és 1392,75°C jött ki.

Az [5]-ös képletkombináció a Ritchie-féle algoritmus. Ebben a képletben beépítésre került egy felső küszöbhőmérséklet és egy bázishőmérséklet 8 és 30°C-kal. 1997-ben -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 1805,37; 1739,34 és 1633,63°C jött ki. 1998-ban -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 1913,84; 1678,95 és 1504,50°C jött ki. 1999-ben -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 1939,16; 1739,49 és 1608,50°C jött ki.

A [9]-es számítási módszer alapja egy egyszerű átlagszámítás. Hasonlóan a Ritchie-féle számításhoz, itt is 8 és 30°C a bázis és felső küszöbhőmérséklet.

Az 1997-es tenyészidőszakban az alap átlaghőmérsékletre -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 3432,58; 2980,87 és 2869,60°C jött ki, míg a korrekciók utáni hőösszeg-érték ugyanezen szinteken 2929,43; 2974,40 és 2877,61°C. -2cm-en a 10 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 87 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 0,5m-en a 10 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 10 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 2,0m-en a 24 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 16 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt.

Az 1998-as tenyészidőszakban az alap átlaghőmérsékletre -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 4161,58; 3083,50 és 2900,10°C jött ki, míg a korrekciók utáni hőösszeg-érték ugyanezen szinteken 3306,49; 3061,61 és 2893,90°C. -2cm-en a 8 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 99 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 0,5m-en a 14 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 19 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 2,0m-en a 38 bázishőmérsékletnek

köszönhető korrekció történt és 20 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt.

Az 1999-es tenyészidőszakban az alap átlaghőmérsékletre -2cm-en, 0,5m-en és 2,0m-en 3458,00; 2982,61 és 2843,66°C jött ki, míg a korrekciók utáni hőösszeg-érték ugyanezen szinteken 3077,19; 2975,98 és 2850,52°C. -2cm-en a 7 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 89 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 0,5m-en a 9 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 9 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt. 2,0m-en a 25 bázishőmérsékletnek köszönhető korrekció történt és 16 felső küszöbhőmérsékletnek köszönhető korrekció történt.

A [16]-as Newman-módszer esetében 1997-ben -2cm-en az egyszerű bázishőmérséklettel csökkentett hőösszeg értéke 2192,58°C, míg a Newman-féle korrekciók után 1760,18°C-ot kaptam a teljes tenyészidőszakra. A $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B > 16,6^\circ\text{C}$ feltétel esetén 87 korrekciót kellett volna elvégezni, de mivel ez a feltétel csak a $T_{i,MAX} > T_{FK}$ ($T_{FK}=30^\circ\text{C}$) kitétel teljesülésével együtt engedélyezi a $H\ddot{O} = (T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B - (T_{i,MAX} - T_{FK})$ algoritmus alkalmazását, így a változtatások leszűkültek 53 alkalomra. A $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B \leq 2,8^\circ\text{C}$; $T_{i,MAX} > 18,33^\circ\text{C}$ kitételkombináció sehol nem érvényesült.

0,5m-en az egyszerű, bázishőmérséklettel csökkentett hőösszeg értéke 1747,48°C. A $T_{i,MAX}$ 10 alkalommal volt magasabb 30°C-nál, de mivel az egyszerű bázishőmérsékletes hőösszeg csak 4 alkalommal volt magasabb 16,6°C-nál, ebből 1-szer pedig nem egyszerre érvényesültek a feltételek, ezért 3 helyen történt korrekció. Így 1734,56°C-ra korrigáltak a kitételek.

2,0m-en 16 alkalommal emelkedett a $T_{i,MAX}$ 30°C fölé. Az alap 8°C-os bázissal kiszámolt napi hasznos hőmérsékleti értékek 4 alkalommal emelkedtek 16,6°C fölé. Ezen a szinten már életbe lépett a $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B \leq 2,8^\circ\text{C}$; $T_{i,MAX} > 18,33^\circ\text{C}$ kitételkombináció, amely esetében az alapképlet értéke 3 alkalommal süllyedt 2,8°C alá, viszont ugyanaznap csak 1-szer volt a $T_{i,MAX}$ magasabb 18,33°C-nál, így az alap 1663,95°C-os hőösszeg-érték helyett 1614,23°C-os hőösszeg-értéket kaptunk.

1998-ban -2cm-en az alapképlet hőösszeg-értéke 2769,88°C míg a Newman-féle korrekciók után 1990,17°C-ot kaptam a teljes tenyészidőszakra. A $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B > 16,6^\circ\text{C}$ feltétel esetén 98 korrekciót kellett volna elvégezni, de a $T_{i,MAX} > 30^\circ\text{C}$ -os kitételrel együtt változtatások leszűkültek 73 alkalomra. A $(T_{i,MIN} + T_{i,MAX}) / 2 - T_B \leq 2,8^\circ\text{C}$; $T_{i,MAX} > 18,33^\circ\text{C}$ kitételkombináció sehol nem érvényesült, mivel az alapképlet

értéke is csak egyetlen egyszer, 10.15-én volt pontosan $2,74^{\circ}\text{C}$, de a $T_{i,\text{MAX}}$ ugyanazon a napon csak $15,11^{\circ}\text{C}$ volt.

0,5m-en az egyszerű, bázishőmérséklettel csökkentett hőösszeg értéke $1691,5^{\circ}\text{C}$. A $T_{i,\text{MAX}}$ 19 alkalommal volt magasabb 30°C -nál de mivel az egyszerű bázishőmérsékletes hőösszeg csak 12 alkalommal volt magasabb $16,6^{\circ}\text{C}$ -nál ugyanazon a napon, ezért 12 helyen történt korrekció. Így $1658,70^{\circ}\text{C}$ -ra korrigáltak a kitételek. A második kitételsorozat esetében az alapképlet 8 alkalommal süllyedt $2,74^{\circ}\text{C}$ alá, de módosítások nem történtek, mivel $T_{i,\text{MAX}}$ sehol nem volt ugyanaznap magasabb $18,33^{\circ}\text{C}$ -nál.

2,0m-en 20 alkalommal emelkedett a $T_{i,\text{MAX}}$ 30°C fölé. Az alap 8°C -os bázissal kiszámolt napi hasznos hőmérsékleti értékek 9 alkalommal emelkedtek $16,6^{\circ}\text{C}$ fölé. Életbe lépett a $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B \leq 2,8^{\circ}\text{C}$; $T_{i,\text{MAX}} > 18,33^{\circ}\text{C}$ kitételkombináció is, amely esetében az alapképlet értéke 13 alkalommal süllyedt $2,8^{\circ}\text{C}$ alá, viszont ugyanaznap egyszer sem volt a $T_{i,\text{MAX}}$ magasabb $18,33^{\circ}\text{C}$ -nál, így végül az alap $1508,10^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-érték helyett $1475,48^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értéket kaptam.

1999-ben -2cm-en az alapképlet hőösszeg-értéke 2218°C míg a Newman-féle korrekciók után $1951,29^{\circ}\text{C}$ -ot kaptam a teljes tenyészidőszakra. A $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B > 16,6^{\circ}\text{C}$ feltétel esetén 89 korrekciót kellett volna elvégezni, de a $T_{i,\text{MAX}} > 30^{\circ}\text{C}$ -os kitételrel együtt változtatások leszűkültek 35 alkalomra. A $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B \leq 2,8^{\circ}\text{C}$; $T_{i,\text{MAX}} > 18,33^{\circ}\text{C}$ kitételkombináció sehol nem érvényesült, mivel az alapképlet értéke is csak egyetlen egyszer, május 5-én szállt pontosan $2,74^{\circ}\text{C}$ alá ($2,44^{\circ}\text{C}$), de a $T_{i,\text{MAX}}$ ugyanazon a napon csak $14,05^{\circ}\text{C}$ volt.

0,5m-en az egyszerű, bázishőmérséklettel csökkentett hőösszeg értéke $1742,61^{\circ}\text{C}$. A $T_{i,\text{MAX}}$ 9 alkalommal volt magasabb 30°C -nál de mivel az egyszerű bázishőmérsékletes hőösszeg csak 6 alkalommal volt magasabb $16,6^{\circ}\text{C}$ -nál ugyanazon a napon, ezért 6 helyen történt korrekció. Így $1730,07^{\circ}\text{C}$ -ra korrigáltak a kitételek. A második kitételsorozat esetében az alapképlet 3 alkalommal süllyedt $2,74^{\circ}\text{C}$ alá, de módosítások nem történtek, mivel $T_{i,\text{MAX}}$ sehol nem volt ugyanaznap magasabb $18,33^{\circ}\text{C}$ -nál.

2,0m-en 16 alkalommal emelkedett a $T_{i,\text{MAX}}$ 30°C fölé. Az alap 8°C -os bázissal kiszámolt napi hasznos hőmérsékleti értékek 5 alkalommal emelkedtek $16,6^{\circ}\text{C}$ fölé. Nem lépett életbe a $(T_{i,\text{MIN}} + T_{i,\text{MAX}}) / 2 - T_B \leq 2,8^{\circ}\text{C}$; $T_{i,\text{MAX}} > 18,33^{\circ}\text{C}$ kitételkombináció, mivel az alapképlet értéke 3 alkalommal ugyan $2,8^{\circ}\text{C}$ alá süllyedt, viszont ugyanaznap egyszer sem volt a $T_{i,\text{MAX}}$ magasabb $18,33^{\circ}\text{C}$ -nál, így végül az alap $1603,66^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-érték helyett $1591,33^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értéket kaptam.

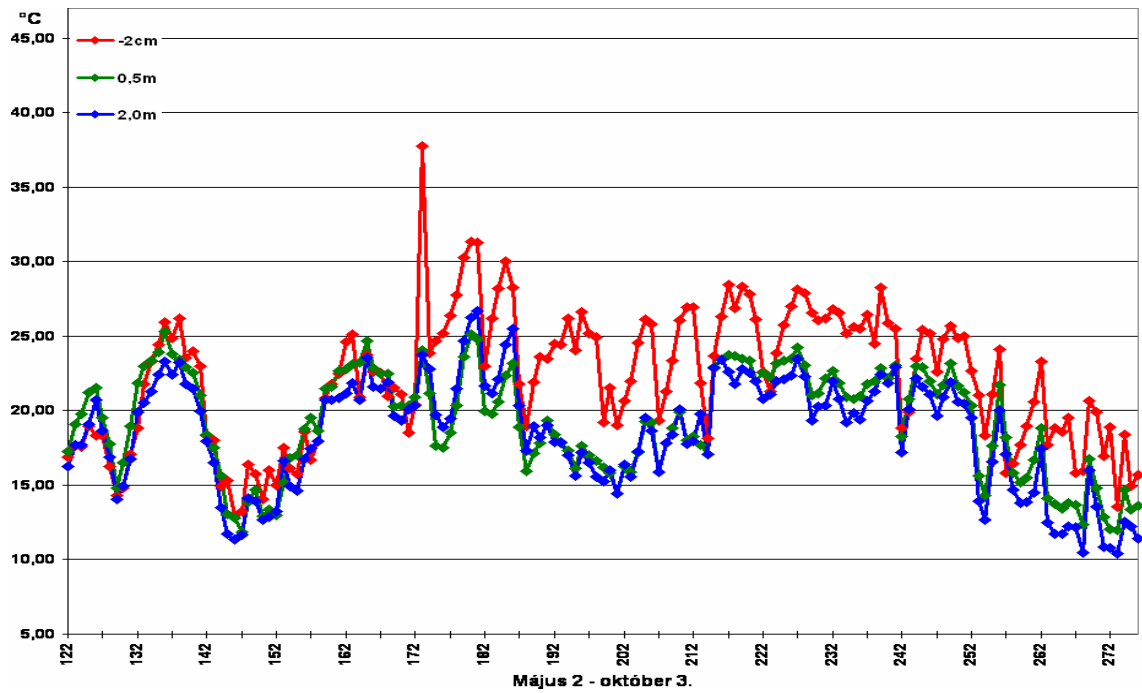
A [25]-ös számítási módszer esetében az 1997-es tenyészidőszakban a nappali átlaghőmérsékletre, ami reggel 7-től este 7-ig méri az óras hőmérsékletek átlagát -2cm-en 3857,31°C-ot kaptam, 0,5m-en 3384,95°C-ot, míg 2,0m-en 3345,94°C-ot. 1998-ban -2cm-en 4233,31°C-ot kaptam, 0,5m-en 3463,94°C-ot, míg 2,0m-en 3665,77°C-ot. 1999-ben -2cm-en 3891,0°C-ot kaptam, 0,5m-en 3543,88°C-ot, míg 2,0m-en 3366,38°C-ot.

A [26]-os módszernél az 1997-es tenyészidőszakban az éjszakai átlaghőmérsékletre, amely hajnali 1-től 6-ig és este 8-tól éjfélig számítja az óras hőmérsékleteket -2cm-en 2435,52°C-ot kaptam, 0,5m-en 2527,80°C-ot, míg 2,0m-en 2253,30°C-ot. 1998-ban -2cm-en 2937,80°C-ot kaptam, 0,5m-en 2660,28°C-ot, míg 2,0m-en 2464,19°C-ot. 1999-ben -2cm-en 2477,22°C-ot kaptam, 0,5m-en 2493,87°C-ot, míg 2,0m-en 2267,36°C-ot.

A [27]-es módszernél az 1997-es tenyészidőszakban a nappali és éjszakai fotoperiódus között különbség értékeire -2cm-en 1421,79°C-ot kaptam, 0,5m-en 857,15°C-ot, míg 2,0m-en 1092,64°C-ot. 1998-ban -2cm-en 1295,50°C-ot kaptam, 0,5m-en 803,66°C-ot, míg 2,0m-en 1201,59°C-ot. 1999-ben -2cm-en 1413,79°C-ot kaptam, 0,5m-en 1050,00°C-ot, míg 2,0m-en 1099,02°C-ot.

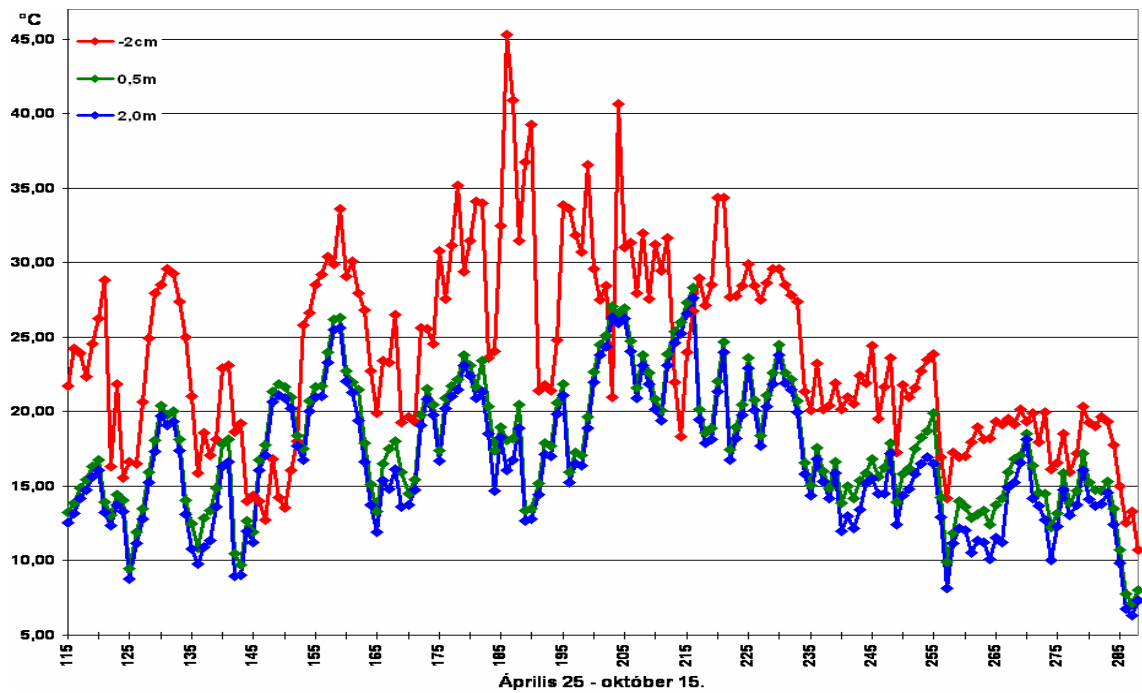
5.5. A TALAJHŐMÉRSÉKLET SZEREPE AZ EGYEDFEJLŐDÉSBN

Korábbi fejezetekben már szó esett a talajhőmérsékletről, hiszen a fejlődés korai stádiumában a talajhőmérséklet szerepe jelentősebb lehet a léghőmérséklet szerepénél. Egyes kutatók szerint 6, mások szerint egészen a kukoricapalánta 12 leveles állapotáig a talajhőmérséklet szerepe a döntő, mivel a rügyek (apex) a föld felszínén vannak (Swan, 1987; Wierenga et al., 1982). 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 (Luo, 1992). Az USA-ban nagyjából 15°C-os a nappali talajhőmérsékleténél kezdik el a vetést (Leonard and Martin, 1967). Aung és társai (1967) megállapították, hogy a talajhőmérséklet a vetéstől számított első két hétben elenyésző jelentőséggel bír a kukorica későbbi érésének szempontjából, ha a talaj minimum 15°C-os, ellenkező esetben viszont az alacsonyabb hőmérsékleti értékek jelentősen megnövelhetik a fekete réteg kialakulásához szükséges időt (Jensen, 1971).



31. ábra: **Három szinten mért hőmérsékleti értékek futása (1997)**

A tenyésztésidőszak pontos hőösszeg-számítása során tehát elengedhetetlen, hogy a fejlődés kezdeti szakaszaiban vegyük számba a talajhőmérsékleti értékeket is (Burrows, 1962).



32. ábra: **Három szinten mért hőmérsékleti értékek futása (1998)**

Első lépésben a három tenyészidőszak átlaghőmérsékleteit hasonlítottam össze mindhárom szinten (-2cm, 0,5m, 2,0m) (31-33. ábra). Arra kerestem a választ, hogy milyen eltéréseket okozhat a növény fejlődése szempontjából a nem kellő körültekintéssel kiválogatott hőmérsékleti adatok felhasználása.

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.

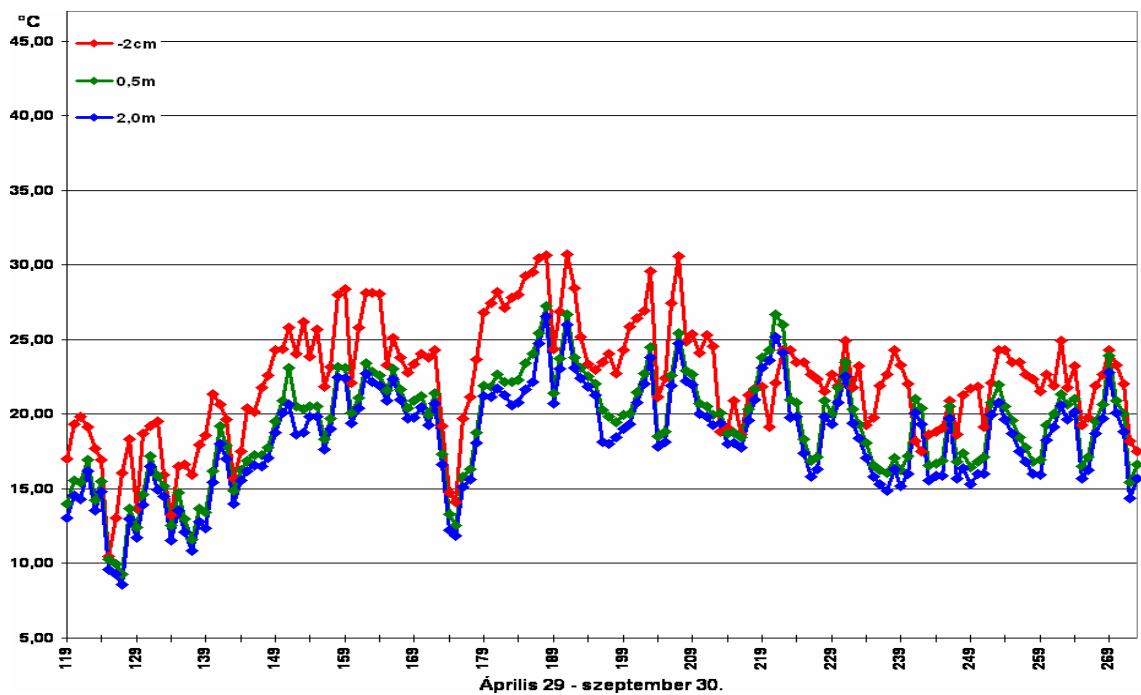
A 6 leveles állapot elérését mindegyik hibrid esetében egységesen június 15-nek vettem. Ez a tenyészidőszak 166. napjának felelt meg 1997-ben és 44 napos időtartamot jelent. Ha ebben az időszakban a talajhőmérsékleti értékekkel számolok 1997-ben akkor az azt jelenti, hogy 2978,56°C-os átlaghőmérsékleti hőösszeget kapok a jelzett időszakra, (összesen 154 napra), az eredeti 0,5m-es 2980,87°C helyett, ha a talajhőmérsékleti adatokat a 0,5m-es léghőmérsékleti adatokkal kombinálom. Ha a 2,0m-es léghőmérsékleti adatokkal teszem ugyanezt, akkor 2,0m-en 2922,09°C-ot kapok eredményül az eredeti két méteres 2869,60°C helyett (22. 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

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

A 12 leveles állapotot július 9-től számoltam, ami 67 napot jelent a tenyészidőszakból (189-122). Így 3083,15°C-os hőösszeg-értéket kapunk az eredeti 0,5m-es 2980,87°C helyett. Ha 2,0m-en teszem ugyanezt, akkor az eredeti 2,0m-es hőmérsékleti értékek helyett (2869,60°C) 3006,13°C-ot kapunk.

Ha rendelkezésünkre állnak több szinten mért hőmérsékleti adatok, akkor érdemes az egyes fenofázisokban eltérő szinteken mért, illetve eltérő szintekre megadott adatokat alkalmazni. Ez természetesen a növény fenofázisbeli magasságától függ.



33. ábra: **Három szinten mért hőmérsékleti értékek futása (1999)**

A korábbiakban már szó volt a kukorica részletes fenofázis elemzéséről. Ebben már kifejtésre került, hogy a kukorica 4 leveles állapotában kb. 8-10cm, 8 leveles állapotában 35-40cm, 12 leveles állapotában 50-80cm, 16 leveles állapotában 1-1,5m, míg csak 75%-os nővirágzásának idején éri el teljes magasságát, amit átlagosan 2,0m-nek vehetünk.

Ezek alapján elgondolásom szerint 8 leveles állapotáig számolhatunk a talajhőmérsékleti értékekkel, 8 és 12 leveles állapota között a 0,5m-es értékekkel és elég ha a 12 leveles állapotától vesszük figyelembe a 2,0m-es hőmérsékleti adatokat (22. táblázat). Ez alapján a számítás alapján 2922,22°C-os értéket kaptam.

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

5.6. KLÍMADEFORMÁCIÓK

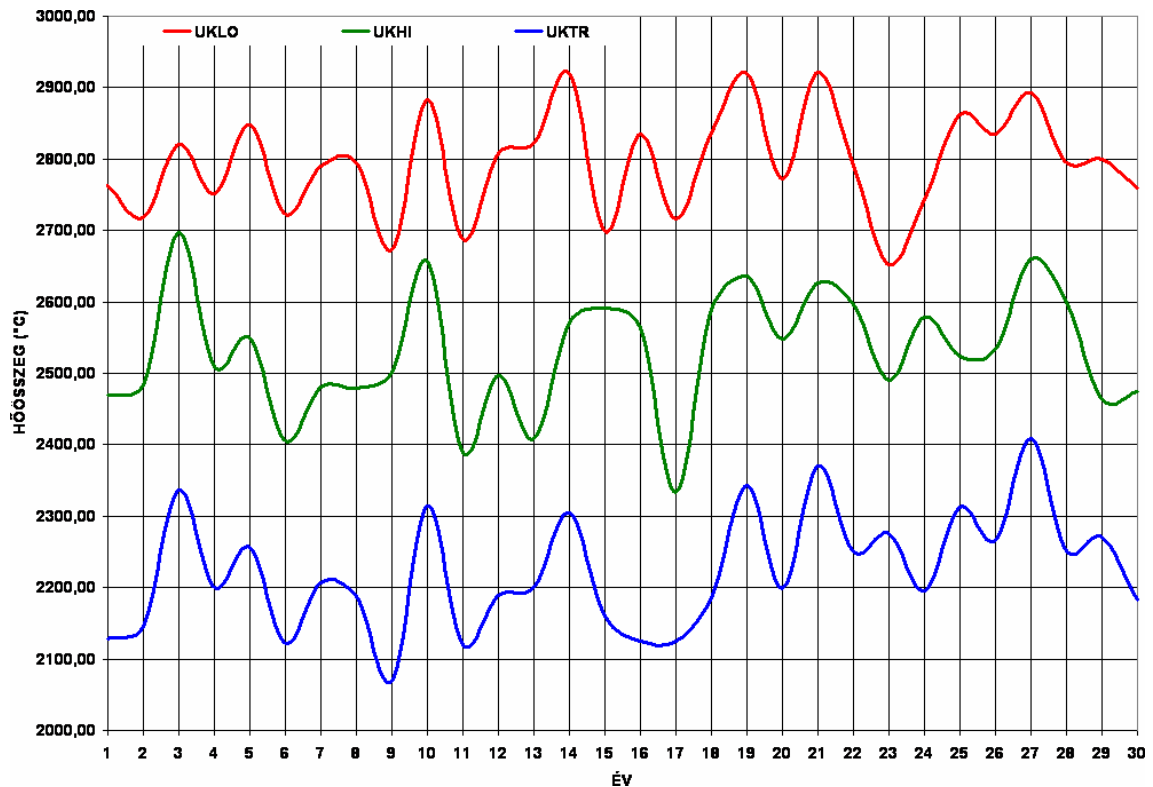
5.7.2. UKMO MODELLEK DEBRECENI EREDMÉNYEI

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 vizsgálatakor, 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]



34. ábra: UKLO, UKHI, UKTR adatsorok alapján számolt átlagolt hőösszeg-értékek

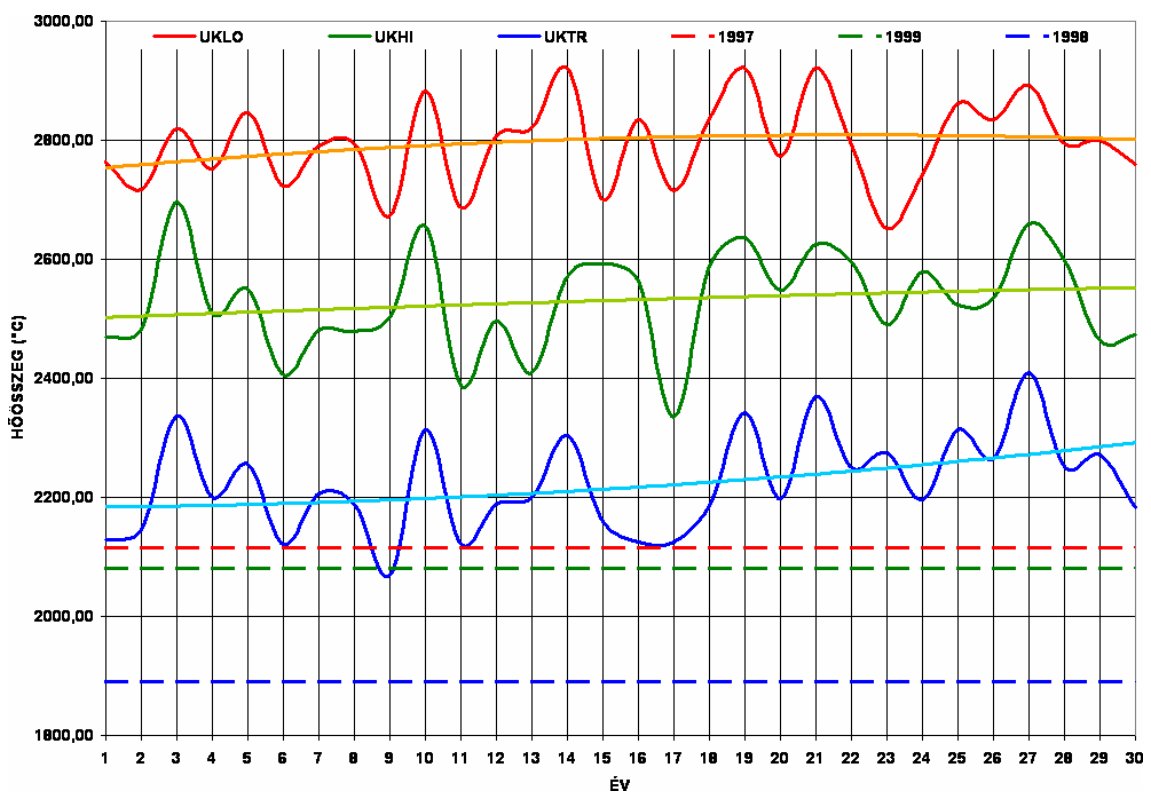
A hőösszeg-értékek kiszámolásakor minden egyes hőmérsékleti változót a múltbéli konkrét évek (1997, 1998, 1999) hőösszeg-értékeinek elemzésekor megadott szinteken hagytam. Így minden esetben 8°C-os bázishőmérséklettel, 30°C-os felső küszöbhőmérséklettel, illetve az Ontárió módszer esetében 4,4°C-os éjszakai 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 évek 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 (34. ábra).

5.7.2.1. UKHI SZCENÁRIÓ

A 24. táblázat értékei szerint az adott tenyészidőszak hőösszeg-értékeinek átlaga $2530,08^{\circ}\text{C}$ a 30 éves jövőbeli adatsort figyelembe véve. Ez mintegy $501,02^{\circ}\text{C}$ -os növekedést jelentene a már korábban elemzett 3 év ugyanezen 6 hőösszeg-számítási módszer átlagaként adott $2029,06^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értékhez képest.

Számítási módszerek szerinti lebontásban az [1]-es képlet 3 éves (1997, 1998, 1999) átlagolt hőösszeg értéke mintegy $577,40^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a scenárió 30 évre átlagolt $2155,43^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest.



35. ábra: UKLO, UKHI, UKTR adatsorok alapján számolt átlagolt hőösszeg-értékek trendszámításai

A [3]-as képlet 3 éves átlagolt értéke $624,86^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a jósolt $3971,30^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. A [4]-es képlet esetében a 3 éves értékek $323,68^{\circ}\text{C}$ maradnak el a jövőbeli átlagos $1707,42^{\circ}\text{C}$ -os értékhez képest. Az [5]-ös képlet értékeinél a múltra számolt 3 éves átlagolt adatsor $507,98^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a scenárió $2056,61^{\circ}\text{C}$ -os, szintén átlagolt értékéhez képest. A [9]-es számítási módszer részletesen elemzett 3 évre átlagolt értéke $455,49^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a jövő átlagolt $3242,30^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest.

Év	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	Átlag
1	2068,45	3919,74	1652,39	1993,34	3192,05	1987,05	2468,84
2	2113,80	3864,52	1670,24	2024,86	3211,70	2014,65	2483,30
3	2346,25	4288,92	1800,36	2193,21	3394,75	2157,25	2696,79
4	2227,65	3894,60	1735,51	1995,41	3197,85	2008,15	2509,86
5	2126,55	4053,11	1692,30	2079,47	3280,75	2064,75	2549,49
6	2033,15	3748,94	1625,81	1945,24	3112,45	1965,25	2405,14
7	2121,85	3888,69	1684,90	2004,67	3175,85	2009,65	2480,94
8	2115,80	3886,62	1682,96	2000,80	3173,90	2013,55	2478,94
9	2165,20	3932,09	1694,67	2014,64	3192,20	2010,70	2501,58
10	2281,40	4124,49	1767,23	2197,71	3384,60	2184,30	2656,62
11	1663,95	3960,01	1601,08	1963,21	3184,20	1962,35	2389,13
12	2124,00	3912,93	1687,02	2024,78	3200,00	2027,40	2496,02
13	1991,65	3857,87	1619,56	1930,62	3140,65	1913,75	2409,02
14	2182,90	4073,41	1711,05	2094,05	3284,80	2079,30	2570,92
15	2178,50	4123,95	1720,46	2114,61	3313,00	2100,95	2591,91
16	2261,65	3935,64	1763,00	2100,19	3261,65	2060,15	2563,71
17	1939,10	3712,65	1611,55	1856,47	3041,40	1842,95	2334,02
18	2160,05	4137,47	1713,20	2108,05	3319,95	2097,50	2589,37
19	2332,95	4057,60	1798,01	2161,25	3330,05	2135,70	2635,93
20	2190,95	3987,01	1722,43	2077,11	3257,05	2049,50	2547,34
21	2288,50	4021,38	1776,06	2161,95	3322,10	2185,40	2625,90
22	2196,60	4080,24	1722,43	2132,17	3333,80	2108,40	2595,61
23	2128,50	3828,24	1688,85	2034,96	3201,60	2055,55	2489,62
24	2219,55	4059,87	1731,86	2097,17	3274,65	2091,05	2579,02
25	2148,75	3987,43	1697,36	2042,45	3222,85	2043,40	2523,71
26	2205,50	3935,50	1732,29	2054,39	3230,70	2043,60	2533,66
27	2337,45	4117,05	1794,12	2183,41	3375,55	2152,95	2660,09
28	2263,85	4059,51	1759,01	2120,21	3293,05	2097,75	2598,90
29	2116,35	3814,31	1677,97	1995,94	3189,15	1984,00	2462,95
30	2132,10	3875,21	1688,79	1996,04	3176,70	1975,25	2474,02
Átlag	2155,43	3971,30	1707,42	2056,61	3242,30	2047,41	2530,08

23. táblázat: 6 hőösszeg-számítási módszer eredményei UKHI napi hőmérsékleti adatsorok alapján

Végül a [16]-os módszer '97-99-re átlagolt értéke 516,73°C-kal kevesebb a becsült jövőbeni 2047,41°C-os hőösszeg-értékéhez képest (35. ábra).

Összességében elmondható, hogy a Debrecen és környékére leskálázott globálhőmérsékleti adatok emelkedése egyértelműnek mondható, ami a tenyészidőszakok hőösszeg-értékeiben is érezhető. Jól mutatja ezt az UKHI szcenárió értékeire felvett 2 fokú polinomiális trendvonal is.

5.7.2.2. UKLO SZCENÁRIÓ

A 24. táblázat értékei szerint az adott tenyészidőszak hőösszeg-értékeinek átlaga $2794,40^{\circ}\text{C}$ a 30 éves jövőbeli adatsort figyelembe véve. Ez mintegy $765,35^{\circ}\text{C}$ -os növekedést jelentene a már korábban elemzett 3 év ugyanezen 6 hőösszeg-számítási módszer átlagaként adott $2029,06^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értékhez képest.

Számítási módszerek szerinti lebontásban az [1]-es képlet 3 éves (1997, 1998, 1999) átlagolt hőösszeg értéke mintegy $918,59^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a scenárió 30 évre átlagolt $2496,62^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. A [3]-as képlet 3 éves átlagolt értéke $863,42^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a jósolt $4209,86^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. A [4]-es képlet esetében a 3 éves értékek $500,78^{\circ}\text{C}$ maradnak el a jövőbeli átlagos $1884,52^{\circ}\text{C}$ -os értékhez képest. Az [5]-ös képlet értékeinél a múltra számolt 3 éves átlagolt adatsor $699,21^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a scenárió $2247,84^{\circ}\text{C}$ -os, szintén átlagolt értékéhez képest. A [9]-es számítási módszer részletesen elemzett 3 évre átlagolt értéke $646,68^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a jövő átlagolt $3433,49^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. Végül a [16]-os módszer '97-99-re átlagolt értéke $677,44^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a becsült jövőbeni $2208,42^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értékéhez képest (38. ábra).

Összességében elmondható, hogy a Debrecen és környékére leskálázott globálhőmérsékleti adatok emelkedése egyértelműnek mondható, habár a 30 éves időtartam vége felé e szerint a hőmérsékleti jövőkép szerint süllyedés várható, legalábbis ha csak a tenyészidőszakok adatait vesszük figyelembe. Erre mutat rá az UKLO scenárió értékeire felvett 2 fokú polinomiális trendvonal is.

Év	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	Átlag
1	2425,60	4328,68	1843,51	2273,20	3454,70	2250,10	2762,63
2	2471,10	4193,52	1875,94	2211,72	3382,00	2169,10	2717,23
3	2715,10	4244,01	2015,40	2241,00	3458,00	2245,00	2819,75
4	2531,80	4272,85	1908,64	2198,03	3412,80	2187,80	2751,99
5	2554,45	4368,64	1922,61	2381,13	3535,95	2319,40	2847,03
6	2414,85	4194,41	1843,90	2243,27	3407,45	2235,25	2723,19
7	2512,65	4307,80	1895,31	2312,96	3471,45	2240,45	2790,10
8	2479,50	4317,51	1888,05	2302,82	3492,00	2285,65	2794,26
9	2357,50	4130,54	1814,93	2201,90	3366,80	2165,20	2672,81
10	2644,90	4429,78	1971,01	2352,15	3561,40	2341,10	2883,39
11	2424,80	4104,32	1842,01	2217,64	3364,70	2170,65	2687,35
12	2487,45	4360,68	1885,32	2319,08	3507,85	2289,75	2808,36
13	2488,95	4425,30	1879,65	2328,86	3517,55	2287,65	2821,33
14	2603,55	4518,13	1946,22	2439,50	3625,85	2389,65	2920,48
15	2481,85	4107,92	1890,77	2188,88	3339,85	2185,05	2699,05
16	2651,40	4291,43	1974,32	2324,17	3492,60	2278,20	2835,35
17	2445,60	4168,74	1859,09	2234,59	3394,80	2191,60	2715,74
18	2472,50	4395,48	1876,60	2378,06	3555,30	2340,40	2836,39
19	2643,00	4486,23	1978,29	2416,27	3609,70	2389,30	2920,46
20	2495,90	4280,09	1893,66	2264,53	3449,60	2253,00	2772,80
21	2697,25	4463,13	2008,36	2396,23	3583,15	2378,00	2921,02
22	2583,95	4278,20	1933,73	2278,63	3441,95	2238,25	2792,45
23	1114,50	1580,36	953,70	847,75	2278,05	567,60	2652,00
24	2531,15	4218,95	1912,63	2212,49	3394,85	2187,65	2742,95
25	2621,70	4318,51	1966,53	2379,20	3534,60	2353,10	2862,27
26	2578,20	4371,33	1932,93	2333,33	3506,20	2283,60	2834,27
27	2773,10	4356,65	2047,08	2352,30	3529,40	2301,00	2893,26
28	2597,40	4298,75	1938,69	2265,95	3442,00	2222,10	2794,15
29	2596,75	4281,64	1941,51	2255,63	3456,15	2269,50	2800,20
30	2502,20	4202,30	1895,16	2284,03	3438,00	2237,40	2759,85
Átlag	2496,62	4209,86	1884,52	2247,84	3433,49	2208,42	2794,40

24. táblázat: 6 hőösszeg-számítási módszer eredményei UKLO napi hőmérsékleti adatsorok alapján

5.7.2.3. UKTR SZCENÁRIÓ

A 25. táblázat értékei szerint az adott tenyészidőszak hőösszeg-értékeinek átlaga $2223,34^{\circ}\text{C}$ a 30 éves jövőbeli adatsort figyelembe véve. Ez mintegy $194,28^{\circ}\text{C}$ -os növekedést jelentene a már korábban elemzett 3 év ugyanezen 6 hőösszeg-számítási módszer átlagaként adott $2029,06^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értékhez képest.

Számítási módszerek szerinti lebontásban az [1]-es képlet 3 éves (1997, 1998, 1999) átlagolt hőösszeg értéke mintegy $197,60^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a scenárió 30 évre átlagolt $1775,63^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. A [3]-as képlet 3 éves átlagolt értéke $272,34^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a jósolt $3618,78^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. A [4]-es képlet esetében a 3 éves értékek $98,89^{\circ}\text{C}$ maradnak el a jövőbeli átlagos $1482,63^{\circ}\text{C}$ -os értékhez képest. Az [5]-ös képlet értékeinél a múltra számolt 3 éves átlagolt adatsor $199,71^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a scenárió $1748,35^{\circ}\text{C}$ -os, szintén átlagolt értékéhez képest. A [9]-es számítási módszer részletesen elemzett 3 évre átlagolt értéke $182,76^{\circ}\text{C}$ -kal marad el a jövő átlagolt $2969,57^{\circ}\text{C}$ -os értékéhez képest. Végül a [16]-os módszer '97-99-re átlagolt értéke $214,41^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb a becsült jövőbeni $1745,09^{\circ}\text{C}$ -os hőösszeg-értékéhez képest (38. ábra).

Összességében elmondható, hogy a Debrecen és környékére leskálázott globálhőmérsékleti adatok emelkedése egyértelműnek mondható, sőt növekvő ütemben növekszik e szerint a jövőkép szerint. Az eredetileg számolt 3 év értékeitől való kisebb eltérést a modelltípus jellegéből és nagyobb pontosságából fakad, hiszen a jelen értékeiből indul ki, ugyanakkor a folyamatos visszacsatolásokkal a hőmérsékleti növekedés gyorsulása nyilvánvaló. Ez a legvalószínűbb jövőkép, különösen ha figyelembe vesszük a nem elemzett hidegebb, hűvösebb hónapokat is. Erre mutat rá az UKTR scenárió értékeire felvett 2 fokú polinomiális trendvonal fokozódó intenzitású emelkedése is.

Év	[1]	[3]	[4]	[5]	[9]	[16]	Átlag
1	1661,00	3554,37	1430,89	1634,52	2862,30	1628,20	2128,55
2	1707,60	3480,86	1443,21	1675,28	2891,60	1675,60	2145,69
3	1960,55	3700,55	1568,54	1869,24	3065,95	1850,20	2335,84
4	1768,15	3577,94	1472,92	1726,61	2940,45	1717,80	2200,65
5	1794,80	3669,45	1508,74	1779,50	3006,40	1777,70	2256,10
6	1664,00	3481,83	1421,03	1643,36	2877,50	1641,75	2121,58
7	1744,40	3598,83	1468,85	1733,30	2958,20	1734,85	2206,41
8	1716,55	3619,58	1451,95	1703,24	2936,25	1700,75	2188,05
9	1621,60	3396,68	1373,65	1595,09	2840,70	1583,50	2068,54
10	1876,25	3761,47	1536,00	1835,86	3055,95	1818,30	2313,97
11	1670,00	3432,99	1423,69	1654,05	2889,10	1651,85	2120,28
12	1717,55	3633,57	1448,55	1701,81	2926,85	1702,65	2188,50
13	1720,35	3660,33	1466,37	1706,85	2936,05	1709,15	2199,85
14	1830,65	3800,10	1516,75	1820,02	3043,55	1812,05	2303,86
15	1725,70	3467,86	1447,20	1699,50	2918,90	1702,15	2160,22
16	1679,60	3449,97	1436,92	1654,79	2868,20	1662,90	2125,40
17	1679,60	3449,97	1436,92	1654,79	2868,20	1662,90	2125,40
18	1700,20	3630,25	1452,96	1699,12	2935,60	1699,60	2186,29
19	1872,55	3830,42	1541,48	1863,32	3091,35	1858,60	2342,95
20	1760,90	3569,51	1460,32	1724,94	2968,10	1705,60	2198,23
21	1930,75	3837,49	1569,29	1895,56	3100,65	1885,60	2369,89
22	1813,55	3615,16	1486,60	1794,68	3001,35	1787,65	2249,83
23	1808,45	3716,71	1500,18	1799,82	3032,25	1796,15	2275,59
24	1766,50	3567,48	1465,66	1723,37	2928,90	1725,25	2196,19
25	1858,20	3713,35	1542,72	1844,53	3074,40	1842,70	2312,65
26	1808,70	3694,46	1507,30	1787,21	3004,10	1794,90	2266,11
27	2008,70	3809,53	1596,75	1947,77	3148,40	1942,30	2408,91
28	1828,90	3633,94	1521,45	1773,36	2970,90	1778,10	2251,11
29	1838,20	3664,45	1510,42	1801,16	3021,80	1790,10	2271,02
30	1734,80	3544,45	1471,51	1707,70	2923,20	1713,90	2182,59
Átlag	1775,63	3618,78	1482,63	1748,35	2969,57	1745,09	2223,34

25. táblázat: 6 hősszeg-számítási módszer eredményei UKTR napi hőmérsékleti adatsorok alapján

5.7.3. A FELMELEGEDÉS ÁLTALÁNOS KUKORICATERMESZTÉSSEL KAPCSOLATOS VONATKOZÁSAI

A klímazónák áthelyeződése az IPCC 1996-os jelentése szerint a mezőgazdaság vonatkozásában az alábbi főbb területeket fogja érinteni (Houghton et al., 1995):

- növényekre gyakorolt hatás
- talajra gyakorolt hatás
- rovarokra, gyomokra és betegségekre gyakorolt hatás
- állattenyésztésre gyakorolt hatás

A fentiek közül ebben a dolgozatban csak a növényekre gyakorolt hatásokkal foglalkozok, különös tekintettel a kukoricára.

A növények fejlődését elsősorban a napsugárzás, hőmérséklet, a csapadék és a légköri CO₂ koncentráció befolyásolja. Az értekezés jellegéből kifolyólag a felsorolt hatások közül is elsősorban a hőmérséklet illetve érintőlegesen a szén-dioxid koncentráció növekedésére összpontosítok.

5.7.3.1. A HŐMÉRSÉKLETNÖVEKEDÉS KUKORICATERMESZTÉSI VONATKOZÁSAI

A hőmérséklet emelkedése fokozatosan meghosszabbítja a vegetációs periódust azokban a térségekben, ahol jelenleg a kis hőmennyiség a korlátozó tényező (Parry, 1990). Így a termelhetőség határa fokozatosan eltolódik a sarkok felé. Az évi középhőmérséklet 1°C-os emelkedése a kukorica esetében akár 150-200km-rel is eltolhatja az északi félgömbön a termesztés határvonalát észak felé, míg a termelhetőség vertikális kiterjedése ugyanennyi méterrel növekedhet, természetesen tekintetbe véve a regionális és mikroklimatológiai eltéréseket (Shaw, 1977).

A kukoricatermelés mai határvonala a 10°C-os izoterma 850 foknapos hőösszegének vonalán fut (Carter, 1991). A GCM becslések scenáriói erre vonatkozólag nagymértékben hasonló eredményeket hoztak ki, miszerint ez a határ 200-350km-rel északra tolódik. Így az egész észak-európai síkságon lehetővé válik a kukoricatermelés.

Azon modellek szerint (UKHI, UKLO), amelyek dekádonként adják meg a modell lefuttatásához szükséges paramétereket, magasabb hőösszeg-értékeket jósolnak, így a termelés határának észak-felé tolódása 10 évenként 150km-t is kitehetné 2030-ig és akár 240km-t 2030 és 2060 között. Az általános felmelegedés ugyanakkor nem feltétlenül vezet a termés növekedéséhez, hiszen a vegetációs periódus lerövidülhet. A hőösszeg-értékek emelkedésének további negatív hatásaként jelentkezhet a vernalizáció csökkenésének termésviszafogó hatása (Muchow, 1990). Hiszen a globális felmelegedés nem feltétlenül a nyári és meleg hónapok hőmérséklet emelkedésének tudható be, hanem a korábbiakban már említett téli és hűvösebb hónapok enyhülésének az eredménye. A mérsékelt égövi növények egy részének ugyanakkor szüksége van arra, hogy egy bizonyos időszakban alacsonyabb legyen a hőmérséklet a virágzás elindítása, vagy meggyorsítása érdekében. Amennyiben a vernalizációs értékek csökkennek, velük csökkenhetnek a terméseredmények is (Salinger, 1989). 1°C-os évi középhőmérséklet emelkedés 10-30%-kal csökkenthető a jarovizáció szempontjából hatékony téli lehűlést. Mivel a kukorica eredendően trópusi-szubtrópusi növény, esetében ez nem ilyen egyértelmű, tekintettel a jelentős fokú nemesítési és keresztezési eredményekre és a kukoricahibridek nagy számára.

A fentiek értelmében tehát korántsem egyértelmű, hogy a konkrét szárazanyag-tartalom és felhalmozódás alakulása milyen irányban tolódik el a kukoricatermesztés tekintetében, hiszen már ha csak a hőmérsékleti értékek változásának következményeit vesszük is alapul, akkor is olyan sok változóval és alakítótényezővel kell számolnunk, ami rendkívül megnehezíti a becslést (Schneider, 1990). Arról nem is beszélve, hogy a csapadék-és talajviszonyok változásának figyelembevétele esetén a rendszer tovább bonyolódik.

5.7.3.2. A CO₂ SZINT EMELKEDÉSÉNEK KUKORICATERMESZTÉSI VONATKOZÁSAI

Azért térek ki külön a CO₂-szint emelkedésének kukoricatermesztésre gyakorolt hatásaira, mert egyrészt a globális klímaváltozás folyamatában az egyik legnagyobb befolyásoló tényezővel bíró üvegházhatású gázzal van szó. Másrészt pedig a Föld flórájára eltérő hatással van a CO₂-szint emelkedése, tekintettel arra, hogy a nappali (aktív) életműködésük során abszorbeálják a levegő szén-dioxid tartalmát, így

általánosságban véve elmondható, hogy a CO₂-szint emelkedése pozitív hatást fejt ki a növényi fejlődésre (Thompson, 1988).

A kukorica a CO₂ koncentrációra való reagálás tekintetében C₄-es mezőgazdasági növények kategóriájába esik. Kevésbé érzékeny a CO₂ szint feldúsulására, hiszen trópusi, szubtrópusi növény, így anyagcsere folyamatait illetően eredendően a magasabb szén-dioxid koncentrációjú levegőhöz áll genetikailag közelebb (Long, 1983). Persze a nemesítések folyamányaként ebben a tekintetben is széles spektrumúak a kukoricahibridek tulajdonságai. Így a jelenlegi mérsékelt égövben termesztett fajták minden bizonnyal eltérően reagálnak majd a növekvő CO₂-szintekre.

A CO₂ asszimiláció és fotoszintézis során a növények a beépített szén-dioxidot cukorrá és keményítővé alakítják át. Ehhez nélkülözhetetlen a napsugárzás.

Ezzel ellentétes folyamat viszont, hogy a légkör növekvő CO₂ tartalma a növekvő mennyiségű kondenzációs magot is jelent, aminek folyamánya a légköri vízgőz, csapadék növekvő aránya. Ez természetszerűleg felhőképződéssel és a napsugárzás csökkenésével jár, tehát egy negatív visszacsatolás valósul meg. A csökkenő napfénytartalom csökkenő fotoszintézist eredményez, így a légköri szén-dioxid mennyiségének növekedése nem feltétlenül pozitív irányba tereli a biomassza, illetve szárazanyag-tartalom képződését. Különösen igaz ez a kukorica esetében, hiszen a kukorica nem kifejezetten érzékeny a szén-dioxid változásokra, sokkal inkább a napfényre és hőmérsékleti változásokra (Long et al., 1983).

Így a CO₂ koncentráció növekedésének kukoricatermesztési folyamatai is kérdésesek.

5.7.4. A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS HAZAI KÖVETKEZMÉNYEI A KUKORICATERMESZTÉSBEN

Mivel a Kárpát-medencében is érezettni fogja hatását a globális felmelegedés, aminek következtében a növények növekedési feltételei megváltoznak, gazdasági szempontból is rendkívül lényeges, hogy milyen változásokra számíthatunk a hőösszegeket illetően.

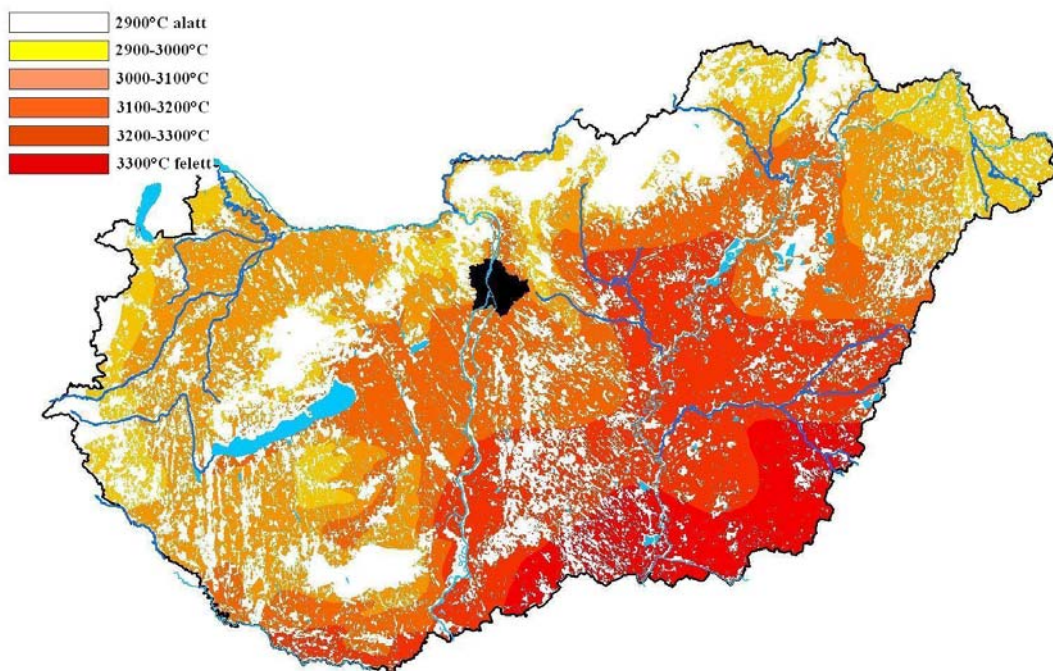
Mindazonáltal óvatosan kell kezelnünk a tervezett klimatológiai trendeket, hiszen a scenáriók gyakran pontatlanok a meteorológiai állomások műszerezettségének elavultsága, illetve cseréje és helytelen kalibrációja miatt (Mitchell et al., 1966).

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.

Éghajlatunk szárazabbá és napfényben gazdagabbá válik, legalábbis a globális felmelegedés kezdeti néhány évtizedében (Kovács, 1998). 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 (Czelnai, 1998).



36. ábra: Magyarország művelés alá vont területeinek hőösszeg-értékek szerinti csoportosítása (2000) (Dobos A. nyomán)

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

Ennek következményeként Magyarországon egyértelműen a hosszabb tenészszezonú (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 36. ábra a közelmúlt állapotát mutatja. Mivel a jelmagyarázatban felsorolt hőösszeg-értékek az UKMO scenáriók által mutatott emelkedő tendenciáinak megfelelően emelkedni fognak, várhatóan a már fent említett közép és késői érésű kukoricahibridek kerülnek előtérbe.

A tranzien 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 lehűlés 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 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°C és 15°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 terméseszkökenéssel, ami várhatóan

folytatódni fog, ezért az időjárási kockázat és az extrém meteorológiai események állnak a kutatók érdeklődésének a középpontjában. Összehasonlító elemzések használatával 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 termésnövekedéssel 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 változékonysága* lesz.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági termelés habár a foglalkoztatottság terén egyre szűkülő arányban képviselteti magát a szekunder, terciér és kvaterner szektorokhoz képest, az emberiség múltját, jelenét és jövőjét mindig is meghatározóan befolyásolni fogja, hiszen az élelmezés és élelmiszeripar alapanyagainak biztosítása a legfontosabb gazdasági és társadalmi követelmények között tartható számon. A termelési színvonal emelésének alapvető eszközeként tarthatjuk számon a környezeti és természeti elemek fokozottabb mértékben és hatékonysággal történő kihasználását.

A hatékonyság növelése a természettudományi ismeretek bővülésével és a technika/technológia fejlődésével jár együtt. A természettudományos megismerés fő célja a folyamatok feltárása, a jelenségek ok-okozati összefüggéseinek megismerése, magyarázata. A növénytermesztés hatékonysága is az alaptudományok fejlődéséhez és alkalmazásához köthető. Az időjárási és éghajlati feltételek rendkívüli változékonysága is azt az alapvető célkitűzést erősíti meg, hogy környezetünk minél mélyebb megismerésével és a hozzá történő igazodással, tovább fokozhatjuk a mezőgazdasági termelés eredményességét. Ebben jelentett nagy előrelépést egyáltalán a hőmérséklet szerepének felismerése, az egzakt mérését lehetővé tevő technológiai fejlődés, illetve az ebből következő következtetések és eredmények megfogalmazása a felhalmozódó és elérhetővé váló adathalmaz révén.

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 hőmérséklet növényi működésre kifejtett hatása általában enzimatikus folyamatokban jelenik meg. Az enzimek átalakulása a hőmérséklettől függő létfontosságú lépés ezekben a reakciókban. Túl alacsony hőmérsékleten az enzim fehérje nem elég rugalmas, ezért nem alkalmas és nem képes az átalakulásra, túl magas hőmérsékleten pedig kicsapódik és a megváltozott szerkezet miatt nem képes a reakció katalizálására.

A hőmérséklet a vegetációs időszak alatt jelentősen befolyásolja a szár-gyökér arányt is. Lineáris kapcsolat figyelhető meg kumulált hőösszeg-értékek és az utolsó főgyökeret tartalmazó fitomer vagy felbukkanó gyökér között.

A hőmérséklet a levélképződés tekintetében is kiemelkedő szereppel bír, a levélfejlődés és hőmérséklet között a kukorica esetében lineáris kapcsolat van, megközelítőleg 15 és 30°C között

Jelentős a hatása a fotoperiodizmusnak is, amely a növények válaszreakciója az éjszakák és nappalok hosszúságának változásaira. A kutatók abban egyetértenek, hogy a legtöbb kukoricafajta levélszám-gyarapodással válaszol a hosszabbodó nappali időszakokra, habár reakciójuk eltérő. Általában a későn érő fajták inkább érzékenyek a fotoperiodizmus hatásaira, az is megállapítható ugyanakkor, hogy kukorica érzékeny a fotoperiodizmusra és a hosszabbodó nappalokra, elhúzódó fenofázisokkal válaszol.

6.1. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, ELEMZÉSE

A hőösszeg-számítási módszerek kialakulása már az 1700-as évek elejére visszavezethető. Habár akkor még csak egyszerű átlaghőmérsékleti számításokkal próbálták a fizikusok, biológusok, növénytermesztők meghatározni és jellegzetességeket felfedezni a pontosabb hőmérsékleti összefüggések terén, annak felismerése, hogy a hőmérsékletnek lényeges szerep tulajdonítható a vegetáció életműködésében, már eleve nagy jelentőséggel bírt.

A későbbiek folyamán a képletek, számítási módszerek egyre kifinomultabbá váltak, egyre szélesedett azon környezeti paraméterek köre, amelyek a pontos mérési eredményeknek és az összefüggések feltárásának köszönhetően beépíthetővé váltak a képletkombinációkba.

Ismertté és elkülöníthetővé vált a növényi fejlődés által aktívan hasznosítható hőmérsékleti tartomány, és az életfolyamatok szempontjából passzívnak mondható hőmérsékleti tartomány.

A számítási módszerek manapság három nagy csoportba különíthetők el:

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

A dolgozatomban a hőmérsékleti, fotoperiodikus és sugárzási adatokat is felhasználó képleteket nem elemeztem, tekintettel bizonytalan adatbázisra (jelentős adathiányok), illetve a nehezkesebb összehasonlíthatóságra.

A dolgozatban kitértem az adatsűrűség problematikájára, tekintettel a jelentkező adathiányok által okozott nehézségekre.

Egy hónap kiválasztásával egy többlépcsős összehasonlítás során kiválasztottam mely adatsűrűség a legmegfelelőbb és legkönnyebben kezelhető a hőösszeg-számítási módszerek kiértékelésének. Az első lépcsőben a rendelkezésre álló hőmérsékleti adatokból számtani átlagszámítást végeztem három a fent említett hónap adataiból, tekintettel arra, hogy a hőösszeg-számítási eljárásokban az átlaghőmérsékletek kiemelkedő jelentőséggel bírnak. 3 szinten, 1 talajhőmérsékleti és 2 léghőmérsékleti adatsor alapján történt az értékelés. Összességében azt állapítottam meg, hogy a 15 perces teljes átlag, az óránkénti 15 perces napi átlag és a normál napi átlag értékei a legmegbízhatóbbak. Második lépcsőben a fenti eredményeket még klaszterelemzéssel is megvizsgáltam. Az SPSS két csoportot különített el. Az eredményeket az átlagok alapján elvégzett számításaimmal összevettem, és azt találtam, hogy a második csoportban található az a módszerek, melyek a legközelebb esnek a teljes minta átlagához. Ezek közül is az óras adatsűrűség tűnt ki a többi közül. Mindezek alapján az óras adatsűrűség mellett döntöttem. A klaszterelemzést különböző klaszterelemszámok mellett is elvégeztem, és ezek alapján az óránkénti 15 perces napi átlag adatsűrűség 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.

Ezután a 27 módszer közül kiválasztottam kilencet, amellyel a teljes tenyészidőszakokra elvégeztem a számításokat. Első körben az összes napi hőösszeg-számítási módszer és a speciális óras számítási módszerek összehasonlítását végeztem el az 1997-es év június és október hónapjaiban 0,5m-es szinten. 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 megbízhatóbb, mivel 1997. júliusában nagyobb volt az adathiány, mint júniusban. Mivel a 2 hónap között olyan jelentős hőmérsékleti különbség nincs, ezért a júniust választottam.

Majd varianciaanalízissel és klaszterelemzéssel is elvégeztem az összehasonlításokat. A júniusra és októberre kapott klaszterekből kiválasztottam az egyezőeket. Így a következő képletek kerültek kiválasztásra:

- Konvencionális, bázishőmérséklettel korrigált átlaghőmérséklet
- Ontárió hőösszeg-számítási módszer
- Stewart-féle hőösszeg-számítási módszer
- Ritchie-féle hőösszeg-számítási módszer
- Napi hőstresszen alapuló átlaghőmérsékleti számítási módszer
- Newman-féle hőösszeg-számítási módszer
- Nappali átlaghőmérsékleti órás hőösszeg
- Éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg
- Nappali-éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg

Ezután került sor a 9 kiválasztott képlet súlyozására a Solver programcsomag segítségével.

A solveres optimalizálás során az alapkonceptió az volt, hogy a tenyésztidőszakokban 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 tenyésztidőszakban a 9 kiválasztott képlettel megkapott hőösszeg-értéket a 0,5m-es szintre. Külön csoportosítottam őket számítási módszerek szerint.

Majd vettem ezen értékek szórását és átlagát. Ezután a relatív szórásukat úgy kaptam meg, hogy a korábban kiszámolt szórást elosztottam az átlaggal. Ezt megcsináltam 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.

Ezután a június és október hónapok klaszteranalízisével kiválasztott 9 algoritmus mindegyikével kiszámoltam mindhárom év tenyésztidőszakában mindhárom szintre a hőösszegeket.

6.2. AZ ÚJ KÉPLETKOMBINÁCIÓ KIALAKÍTÁSA

A súlyozott képletkombinációt a teljes tenyészidőszakra kiszámolt súlyfaktorok alapján hoztam létre:

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

A kiszámolt értékekből megállapításra került, hogy az a feltevés, miszerint az új képletkombináció pontosabb, mint bármelyik egyéb algoritmus a 9 korábban kiválasztott és elemzett képlet közül, helyénvaló. 3 tenyészidőszak 3 szintjén, összesen 81 alkalommal mért és kiszámolt hőösszeg-értékek közül 11 alkalommal kaptunk az új képletkombinációnál pontosabb értéket. Ezek után elvégeztem egy foknap-értékelést is, amely során szintén pontosabb eredményeket kaptam rá. Majd az 1997-es év részletes fenofázis megfigyelései alapján is elvégeztem egy hőösszeg-értékelést, illetve egy levélindex elemzést is.

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 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 tenyészidőszak 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.

6.3. A TALAJHŐMÉRSÉKLET SZEREPE A EGYEDFEJLŐDÉSBN

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 talajhőmérséklet a vetéstől számított első két hétben elenyésző jelentőséggel bír a kukorica későbbi érésének szempontjából, ha a talaj minimum 15°C-os, ellenkező esetben viszont az alacsonyabb hőmérsékleti értékek jelentősen megnövelhetik a fekete réteg kialakulásához szükséges időt.

A fentiekből kifolyólag, illetve ha már rendelkezésemre áll egy ilyen vizsgálathoz szükséges adathalmaz, úgy döntöttem végzek egy ilyen irányú elemzést is.

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.

Variáltam az értékeket és azt a megállapítást fogalmaztam meg, hogy 8 leveles állapotáig számolhatunk a talajhőmérsékleti értékekkel, 8 és 12 leveles állapota között a 0,5m-es értékekkel és elég ha a 12 leveles állapotától vesszük figyelembe a 2,0m-es hőmérsékleti adatokat a torzítások elkerülése végett.

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

6.4. KLÍMADEFORMÁCIÓK

Globális klímaváltozatos kérdéseket próbáltam meg egybeolvasztani a korábbi fejezetekben kiválasztott és értékelt hőösszeg-számítási módszerekkel, hazai vonatkozásokkal tarkítva.

Először is elemeztem az üvegház-és hűtőházhatású gázok légköri feldúsulásának okait és következményeit. Ezután került sor a klímamodellek típusainak elemzésére és külön a GCM modellek jelentőségére. Majd a feedback-effektusok elemzése került napirendre, hiszen a modellalkotás egyik legfontosabb összetevői a visszacsatolások. Ez

egy olyan mechanizmus, amely alapján a rendszer egy outputja inputként visszairányul a rendszerbe.

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 megadott 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 tehát már eléri a 300-1000km-t és a 20 egymás fölött párhuzamosan futó rétegszámot az atmoszférában és a földfelszín alatt és az óceánban is.

A Debrecenre és környékére leskálázott jövőbeni napi minimum és maximum értékeinek felhasználásával számoltam ki a hőösszegeket. A hőösszeg-értékek kiszámolásakor a korábbi fejezetekben klaszterelemzéssel kiválasztott és csoportosított módszerei közül a napi felbontású adatokkal is alkalmazható módszereket használtam fel. A hőösszeg-értékek kiszámolásakor minden egyes hőmérsékleti változót a múltbéli konkrét évek (1997, 1998, 1999) hőösszeg-értékeinek elemzésekor megadott szinteken hagytam.

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 évek 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.

Összességében elmondható, hogy a Debrecen és környékére leskálázott globálhőmérsékleti adatok emelkedése egyértelműnek mondható mindhárom modell esetében, melyeket felvett 2 fokú polinomiális trendvonalak is jól mutatnak.

Majd külön kitértem a hőmérsékletnövekedés kukoricatermesztési vonatkozásaira és megállapítottam, hogy nem egyértelmű, hogy a konkrét szárazanyag-tartalom és felhalmozódás alakulása milyen irányban tolódik el a kukoricatermesztés tekintetében, hiszen már ha csak a hőmérsékleti értékek változásának következményeit vesszük is alapul, akkor is olyan sok változóval és alakító tényezővel kell számolnunk, mind

pozitív, mind negatív irányba ami rendkívül megnehezíti a becslést. Arról nem is beszélve, hogy a csapadék-és talajviszonyok változásának figyelembevétele esetén a rendszer tovább bonyolódik.

Ezután CO₂-szint emelkedésének kukoricatermesztési hatásairól írtam, amit azért emeltem ki külön, mert egyrészt a globális klímaváltozás folyamatában az egyik legnagyobb befolyásoló tényezővel bíró üvegházhatású gázzal van szó. Másrészt pedig a Föld flórájára eltérő hatással van a légkör CO₂-szint emelkedése, tekintettel arra, hogy a nappali (aktív) életműködésük során abszorbeálják a levegő szén-dioxid tartalmát, így általánosságban véve elmondható, hogy a CO₂-szint emelkedése pozitív hatást fejt ki a növényi fejlődésre. Habár itt sem egyértelmű, hogy miképpen befolyásolja a jövőben a kukoricatermesztési feltételeket a szén-dioxid szint emelkedése, hiszen a kondenzációs magvak ugrásszerű emelkedése jelentős pára képződéssel és csökkent fotoszintetizációval járhat.

Végül megemlítettem ugyanezen trendek hazai következményeit, és az összehasonlító elemzések figyelembevételével a következő konklúziókat vontam le:

- A kedvezőtlen évek növekvő dominanciája az utóbbi 20-30 évben szignifikánsan kimutatható és scenáriók szerint várhatóan fokozódni fog, ami 5-10%-os terméseszkkenéssel 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 változékonysága** lesz.

7. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A hőösszeg-számítási módszerek hazai viszonyokra alkalmazott részletes elemzése, csoportosítása, rendszerezése során megállapítottam, hogy az elemzett 27 algoritmus közül 9 olyan számítási módszer van, amely a vizsgált tenyészidőszakok június és október hónapjának eltérő hőmérsékleti értékei alapján is azonos klaszterbe sorolhatók.
2. Megállapítottam, hogy a hőmérsékleti-összeg számításokhoz a legkedvezőbb adatsűrűségi felbontás a 15 perces felbontású napi átlag. Ezt nem csak a számítások során tapasztalt kiegyensúlyozottabb eredmények indokolták, hanem a többszörös átlagolási eljárásnak köszönhetően, az esetleges hibák és kisebb adathiányok áthidalásának lehetősége.
3. Három év hőmérsékleti és fenológiai adatainak az elemzése és összevetése során kialakítottam egy olyan súlyozott képletkombinációt amely megbízhatóbb hőmérsékleti-összeg számítást tesz lehetővé, mint a szakirodalomban elemzett formulák. A képlet 0,5m-es szintmagasságra kalibrálva a következő súlyfaktorokkal látja el a felhasznált alapképleteket:

– Konvencionális, bázishőmérséklettel korrigált átlaghőmérséklet	-	0,12
– Ontárió hőösszeg-számítási módszer	-	0,06
– Stewart-féle hőösszeg-számítási módszer	-	0,13
– Ritchie-féle hőösszeg-számítási módszer	-	0,12
– Napi hőstresszen alapuló átlaghőmérsékleti számítási módszer	-	0,07
– Newman-féle hőösszeg-számítási módszer	-	0,12
– Nappali átlaghőmérsékleti órás hőösszeg	-	0,06
– Éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg	-	0,09
– Nappali-éjszakai átlaghőmérsékleti órás hőösszeg	-	0,22
4. Több szinten (-2cm, 0,5m, 2,0m) mért és elemzett hőmérsékleti-összeg értékek alapján megállapítottam, hogy a talajhőmérsékleti értékek hőösszeg-számításba való felvétele indokolt. Az eredmények 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.

5. Különböző felbontású és metodikájú GCM-modellek által a Debrecen és környékére leskálázott jövőbeni hőmérsékleti adatok és a klaszterelemzéssel kiválasztott képletek felhasználásával elemeztem a kukoricatermesztés várható hőmérsékleti viszonyait. Ennek során megállapítottam, hogy jelentősebb mértékű felmelegedés várható a Hajdúháton, aminek következményeként egyértelműen a hosszabb tenészszeidejű (közép és késői érésű; FAO 4-500) hibridek termesztésére nyílik majd lehetőség. Megállapítottam továbbá, hogy a kukoricatermesztés szempontjából kedvezőtlen lesz a nyári hőmérsékleti-összeg értékeinek nagyfokú emelkedése, ami a hőségnapok számának növekedésével magyarázható.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. **Abrami, G.** (1972) Optimum mean temperature for plant growth calculated by a new method of summation. *Ecology* 53:893-900.
2. **Allaby, M.** (1989) *Green Facts. The greenhouse effect and other key issues.* Hamlyn, London.
3. **Andrew, R. H., F. P. Ferwerda, A. M. Strommen** (1956) Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. *Agron. J.* 48:231-236.
4. **Arnold, C. Y.** (1960) Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 76:682-692.
5. **Arnold, C. Y.** (1969) Environmentally induced variations of sweet corn characteristics as they relate to time required for development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 94:115-118.
6. **Aung, L. H., F. G. Teubner, J. O. Young** (1967) Effect of temperature on maturity of sweet corn *Zea mays rugosa*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 92:516-522.
7. **Bacsó N.** (1958) *Bevezetés az agrometeorológiába.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
8. **Baker, D. G.** (1975) Effect of observation time on mean temperature estimation. *J. Appl. Meteorol.* 14:471-476.
9. **Baker, R. F.** (1970) Relative maturity rating of corn by growing degree days. *Proc. 25th Annu. Corn Sorghum Res. Conf.* p. 154-160.
10. **Baker, J. T., Pinter, P. J. Jr., Reginato, R. J., Kanemasu, E. T.,** (1986) Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agron. J.* 78:605-613.
11. **Barcza Z., Mészáros R.** (1998) Nyomgázok felszínközeli áramainak meghatározása. In: *Az éghajlatváltozás következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97.* OMSZ. Budapest.
12. **Baron, V., C. F. Shaykewich, R. I. Hamilton** (1975) Relation of corn maturity to climatic parameters. *Can. J. Soil Sci.* 55:343-347.

13. **Baskerville, G. L., P. Emin** (1974) Rapid estimation of heat unit accumulation from maximum and minimum temperature. *Ecology* 50:514-517.
14. **Battle, M, Bender, M., Sowers, T., Tans, P. P., Butler, J. H., Elkins, J. W., Ellis, J. T., Conway, T., Zhang, N., Lang, P., Clarke, A. D.** (1996) Atmospheric gas concentrations over the past century measured in air from firn at the South Pole. *nature* 383.
15. **Bauer, A., Garcia, R., Kanemasu, E. T., Blad, B. L., Hatfield, J. L., Major, D. J., Reginato, R. J., Hubbard, K. G.** (1988) Effect of latitude on phenology of cold winter wheat. *Agric. For. Meteorol.* 44:131-140.
16. **Beauchamp, E. G., D. J. Lathwell** (1966) Root-zone temperature effects on the early development of maize. *Plant Soil* 26:224-234.
17. **Berényi D.** (1945) A kukorica termelése és összefüggése az időjárással. Tiszántúli Mg-I Kamara. Debrecen.
18. **Berger, W. H., Smeateck, V. S., Wefer, G.** (1989) Productivity of the ocean - Present and past. Chichester, Wiley-Interscience Publication XVIII. pp. 470.
19. **Bernal, J., Gonzalez, D.** (1993) Experimental assessment of a degree-day model for predicting the development of parasites in the field. *J. Appl. Ent.* 116:459-466.
20. **Birch, C. J.** (1996) Testing the performance of two maize simulation models with a range of cultivars of maize (*Zea mays*) in diverse environments. *Environ. Software* 11:91-98.
21. **Bleviss, D. L., Walzer, P.** (1990) A gépjárművek energiaigénye. *Tudomány* 6. 11. pp. 45-51.
22. **Boardman, J., Favis-Mortlock, D. T.** (1993) Climate change and soil erosion in Britain. *Geographical Journal*, 159.
23. **Bonhomme, R.** (2000) Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy* 13:1-10.
24. **Borhidi A.** (1991) Az ózon hatása a növényzetre. *Időjárás*, 95:2-3. pp. 128-130.

25. **Bozó L.** (1998) A légköri aeroszolok koncentrációjának hosszú távú változékonysága a magyarországi mérések alapján. In: Az éghajlatváltozás következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97. OMSZ. Budapest.
26. **Bolin, B.** (1986) The carbon cycle and predictions for the future. In: The greenhouse effect, Climate change and ecosystems. SCOPE 29. Wiley, Chichester.
27. **Brown, D. M.** (1969) Heat units for corn in Southern Ontario. Ontario Department of Agriculture and Food information leaflet.
28. **Brown, D. M., A. Bootsma** (1993) Crop heat units for corn and other warmseason crops in Ontario. OMAF Factsheet, Agdex 111/31. Ontario Ministry of Agric. and Food, Toronto.
29. **Brouwer, R. A., J. Th. Locher** (1973) Growth response of maize plants to temperature. p. 169-174. In R. O. Slatyer Growth response to climatic factors. Proc. Uppsala Symp., 1970. United Nations Educational.
30. **Bunting, E. S.** (1976) Accumulated temperature and maize development in England. *J. Agric. Sci. Camb.*, 87:577-583.
31. **Buol, S. W., Sanchez, P. A., Kimble, J. M., Weed, S. B.** (1990) Predicted impacts of climate warming on soil properties and use. In: Impact of carbon dioxide, trace gases, and climate change on global agriculture. American Society of Agronomy, Madison.
32. **Burrows, W. C., W. E. Larson** (1962) Effects of amount of mulch on soil temperature and early growth of corn. *Agron. J.* 54:19-24.
33. **Byrd, G. P.** (1985) An adjustment for the effects of observation time on mean temperature and degree-day computations. *J. Climatol. Appl. Meteorol.* 24:869-874.
34. **Cao, W., Moss, D. N.,** (1991) Phyllochron change in winter wheat with planting date and environmental changes. *Agron. J.* 83:396-401.
35. **Caprio, J. M.** (1974) The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. pp. 353-364. In H. Lieth, ed.

- Phenology and seasonality modelling. Springer-Verlag, New York, NY, Ecological Studies 8.
36. **Caprio, J. M., Snyder, R. D.** (1989) Within-station analysis of hourly thermal and solar-thermal phenological models for flowering of *Syringa Vulgaris* L. In. Driscoll, D. & Box, E. O. Proc. 11th IBS-Congress: 53-65.
 37. **Carberry, P. S., Muchow, R. C., McCown, R. L.** (1989) Testing the CERES-Maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Res.* 20:297-315.
 38. **Carr, M. K. V.** (1969) Maize in a temperate Climate. *Ann. Appl. Biol.* 87:261-266.
 39. **Carter, T. R., Parry, M. L., Porter** (1991) Climatic change and future agroclimatic potential in Europe.
 40. **Cellier, P., Ruget, F., Bonhomme, R.** (1993) Estimating the temperature of a maize apex during early growth stages. *Agric. For. Meteorol.* 63:35-54.
 41. **Chappellaz, J., Blunier, T., Raynaud, D., Barnola, J. M., Schwander, J., Stauffer, B.** (1993) Synchronous changes in atmospheric CH₄ and Greenland climate between 40 and 8 k yr. BP. *Nature* 366.
 42. **Charlson, R. J., Largner, J., Rodhe, H., Leovy, C. B., Warren, S. G.** (1991) Perturbation of the Northern Hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic aerosols, *Science* 255.
 43. **Chattopadhyay, N., Hulme, M.** (1997) *Agricultural and Forest Meteorol.* 87:55.
 44. **Chang, Jen-Hu** (1968) *Climate and agriculture: an ecological survey.* Aldine, Chicago, Ill., pp. 304.
 45. **Chiang, H. C., V. Sisson** (1968) Temperature relationships of the development of northern corn rootworm eggs. *J. Econ. Entomol.* 61:1406-1410.

46. **Coligado, M. C.** (1974) Tassel initiation studies in corn (*Zea mays* L.): Temperature and photoperiod effects and a bio-photothermal model. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ont. pp. 107.
47. **Cooper, P. J. M., L. R. Law** (1978) Enhanced soil temperature during very early growth and its association with maize development and yield in the Highlands of Kenya. *J. Agric. Sci.* 89:569-577.
48. **Conway, G. R., Pretty, J. N.** (1991) Unwelcome harvest, agriculture and pollution. Earthscan Publications Ltd. London. pp. 645.
49. **Corcuera, V. R., Bernatene, E. A., Naranjo, C. A.** (2002) New maize inbreds in Argentina. I: Heat unit requirements. *Maize Gen. Co. Newsletter.* 76:42-44.
50. **Craig, H., Chou, C. C., Welhan, J. A., Stevens, C. M., Engelkemeir, A.** (1988) The isotopic composition of methane in polar ice cores. *Science* 242. pp 1535-1539.
51. **Cross, H. Z., Zuber, M. A.** (1972) Prediction of flowering dates in maize based different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64:351-355.
52. **Cutforth, H. W., Shaykewich, C. F.** (1989) Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperatures and accumulated thermal units in a Prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69:121-132.
53. **Czelnai, R.** (1998) Kellemetlen meglepetések az üvegházban. In: Az éghajlatváltozás következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
54. **Davidson, H. R., Campbell, C. A.** (1983) The effect of temperature, moisture and nitrogen on the rate of development of spring wheat as measured by degree days. *Can. J. Plant Sci.* 63:833-846.
55. **Denmead, O. T., R. H. Shaw** (1960) The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52:272-274.

56. **Derieux, M., Bonhomme, R.** (1982) Heat unit requirements for maize hybrids in Europe: results of the European FAO sub-network. I. Sowing-silking period. *Maydica* XXVII:59-77.
57. **Dijkhuis, F. J.** (1971) The use of heat units in maize production, Part I. Literature Review. *Fert. Soc. S. Afr. J.* 1:39-43.
58. **Dobos A.** (2003) Eltérő genotípusú kukorica hibridek szemtermésének szárazanyag-beépülés és vízleadás dinamikája. pp. 149.
59. **Dobos A., Nagy J.** (1999) A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays*. L.) szárazanyag-termelésére eltérő évjáratokban. In: Ruzsányi L., Lesznyák M-né, Jávor A. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok, DE-ATC, pp. 171-180.
60. **Dobos A., Pázmány S., Nagy P., Nyizsalovszki R., Dorka D., Kovács M.** (2003) Kukoricatermesztés a precíziós gazdálkodásban. in: Marton L.Cs., Árendás T. 50 éves a magyar hibrid kukorica. Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár pp. 113-119.
61. **Dobosi Z., Dunkel Z.** (1977) Meteorológia. Tankönyvkiadó, Budapest.
62. **Domonkos, P.** (1998) Extrém hőmérsékleti anomáliák trendvizsgálata. In: Az éghajlatváltozás következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
63. **Downton, M. W., Katz, R. W.** (1991) Changing temperatures: climate change or inhomogenous data? Proceedings of the Seventh Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society. Salt Lake City. pp. 111-118.
64. **Dudek, D. J.** (1991) The nexus of agriculture, Environment, and the economy under climate change. In: Global climate change and life on Earth, ed.: Wyman, R. L.. Routledge, Chapman and Hall. New York, London. pp. 180-200.
65. **Dwyer, L. M., Stewart, D. W., Carrigan, L., Ma B. L., Neave, P., Balchin, D.** (1999) A general thermal index for maize. *Agron. J.* 91:940-946.

66. **Edey, S. N.** (1977) Growing degree days and crop production in Canada. Chemistry and Biology Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, ON, Publ. 1635. 63 pp.
67. **Edwards, G. E.** (1986) Carbon fixation and partitioning in the leaf. In: Shannon, J. C., Knievel, D. P., Boyer, C. D. Regulation of carbon and nitrogen reduction and utilization in maize. Am. Soc. Plant Physiologists, Rockville. pp. 51-65.
68. **Ehrler, W. L., Idso, S. B., Jackson, R. D., Reginato, R. J.** (1978) Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agron. J. 70:999-1004.
69. **Faragó T., Kerényi A.** (2003) Nemzetközi együttműködés az éghajlat veszélyének, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. UNESCO. pp. 14.
70. **Favis-Mortlock, D. T.** (1994) Modelling soil erosion on agricultural land under a changed climate. In: Soil responses to climate change NATO, ASI Series 1. Global Environmental Change, vol. 23. Springer-Verlag, Heidelberg.
71. **Felméry L.** (1974) A fotoszintézisben aktív sugárzás mennyisége a tenyészidőszakban. Időjárás. 78. évf.
72. **Francis, C. A., Grogan, C. O., Sperling, D. W.** (1969) Identification of photoperiod insensitive strains of maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 9:670-677.
73. **Galinat, W. C., A. W. Naylor** (1951) Relation of photoperiod to increscence poliferation in *Zea mays* L. Am. J. Bot. 38:38-47.
74. **Gallagher, J. N.** (1979) Field studies of cereal leaf growth: I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. J. Exp. Bot. 30:625-636.
75. **Gall, R. Young, K., Schotland, R., Schmetz, J.** (1992) The recent maximum temperature anomalies in Tucson: are they real or an instrument problem? J. Climate. 5:657-665.

76. **Gbur, E. E., G. L. Thomas, F. R. Miller** (1979) Use of segmented regression in the determination of the base temperature in heat accumulation models. *Agron. J.* 71:949-953.
77. **Gilmore, E. C., Jr. and J. S. Rogers.** (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
78. **Gmelig Meyling, H. D.** (1973) Effect of light intensity, temperature and daylength on the rate of leaf appearance in maize. *Neth. J. Agric. Sci.* 21:68-76.
79. **Goodess, C. M., Palutikoff, J. P.** (1993) The development of regional scenarios and the ecological impact of greenhouse gas warming. In: *Global climate change, the ecological consequences.* Academic Press, London.
80. **Graedel, T. E., Crutzen, P. J.** (1989) A változó légkör. *Tudomány*, 5.11.
81. **Gunn, R. B., R. Christensen** (1963) Maturity relationships among early to late hybrids of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 2:299-304.
82. **Gyórfy I.** (1965) *Kukoricatermesztés.* Mg-I Kiadó, Budapest.
83. **Hanna, W. F.** (1925) The nature of the growth rate in plants. *Sci. Agr.* 5:133-138.
84. **Hänninen, H.** (1990) Modelling dormancy release in trees from cool and temperate regions. In: Dixon, R. K., Melhdahl, R. S., Ruak, G. A., Warren, W. G. *Process Modelling of forest growth responses to environmental stress.* 159-165 pp. Timber Press Portland.
85. **Hansen, J., Lacis, A.** (1984) Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms. In: *Climate processes and climate sensitivity*, J. E. Hansen and Takahashi (eds), Geophysical monograph No. 29. pp. 130-163. American Geophysical Union, Washington, D. C.
86. **Hari, P.** (1972) Physiological stage of development in biological models of growth and maturation. *Ann. Bot. Fennici.* 9:107-115.
87. **Harrison, P.E., Butterfield, R.E., Downing T.E** (1995) Climate change and agriculture in Europe. Research Report No. 9. University of Oxford, UK.
88. **Harvey, L. D. D.** (2000) *Climate and global environmental change.* Pearson Education Ltd. United Kingdom, Essex.

89. **Haszpra, L.** (1998) A szén-dioxid koncentráció alakulása a légkörben. In: Az éghajlatváltozás következményei, Meteorológiai Tudományos napok '97. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
90. **Hodges, T.** (1991) Temperature and water stress effects on phenology. In: T. Hodges (ed.) Predicting crop phenology. CRC Press, Boca Raton, FL.
91. **Hoffert, M. I., Callegari, A. J., Nseih, C. T.** (1980) The role of deep sea heat storage in the secular response to climatic forcing. *Journal of Geophysical Research*, 85.
92. **Holmes, R. M., Robertson, G. W.** (1959) Heat units and crop growth. *Can. Dep. Agric. Publ.* 1042. pp. 35.
93. **Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Bruce, J., Hoesung Lee, Callender, B. A., Haites, E. N., Maskell, K.** (1995) *Climate change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC 1592 emission scenarios.* Cambridge University Press, Cambridge.
94. **Houghton, R. A.** (1991) The role of forests in affecting the greenhouse gas composition of the atmosphere. In *global climate change and life on earth*, ed.: Wyman, R. L., Routledge Chapman and Hall. New York, London. pp. 43-55.
95. **Houghton, R. A., Hobbie, J. E., Melillo, J. M., Moore, B., Peterson, B., J., Shaver, G. R., Woodwell, G. M.** (1983) Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecol. Monogr.* 53.
96. **Hufnagel L., Gaál M.** (2005) Seasonal dynamic pattern analysis in service of climate change research. *Applied ecology and environmental research* 3. Budapest. pp. 79-132.
97. **Hunter, R. B., Hunt, L. A., Kannenberg, L. W.** (1974) Photoperiod temperature effects on corn. *Can. J. Plant Sci.* 54:71-78.
98. **Idso, S. B.** (1989) *Carbon dioxide and global change: Earth in transition.* IBR Press. Tempe, Arizona. pp. 292.
99. **Jamieson, P. D., Brooking, I. R., Porter, J. R., Wilson, D. R.** (1995) Prediction of leaf appearance in wheat: a question of temperature. *Field Crops Res.* 41:35-44.

100. **Jensen, M. E., J. L. Wright, B. J. Pratt** (1971) Estimating soil moisture depletion from climate, crop, and soil data. *Transactions of the ASAE*. 14:954-957.
101. **Johnson, I. R., Thornley, J. H. M.** (1985) Temperature dependence of plant and crop processes. *Ann. Bot.* 55:1-24.
102. **Jones, C. A., Kiniry, J. R.** (1986) CERES Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press. College Station.
103. **Jones, P. D., Wigley, T. M. L., Wright, P. B.** (1986) Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*. 322. pp. 430-434.
104. **Katz, Y. H.** (1946) The relationship between heat unit accumulation and the planting and harvesting of canning peas. *Agron. J.* 38:74-78.
105. **Kerényi A.** (1989) A 21. század éghajlata. *Természet Világa* 120.3. pp. 117-122.
106. **Kertész Á., Lóczy D., Papp S., Huszár T.** (1998) A globális éghajlatváltozás várható hatásai a természeti környezetre Magyarországon. In: *Az éghajlatváltozás következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97*. OMSZ, Budapest.
107. **Kertész Á.** (2001) A globális klímaváltozás természetföldrajza. Holnap Kiadó.
108. **Kiesselbach, T. A.** (1950) Progressive development and seasonal variations of the corn crop. *Nebraska Res. Bul.* 166.
109. **Kinry, J. R., Bonhomme, R.** (1991) Predicting maize phenology. In: *Hodges, T. Predicting crop phenology*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 115-132.
110. **Kinry, J. R., Ritchie, J. T., Musser, R., L.** (1983) Dynamic nature of the photoperiod response in maize. *Agronomy Journal* 75:700-3.
111. **Kirby, E. J. M.** (1995) Environmental factors influencing the phyllochron. *Crop Sci.* 35:11-19.
112. **Kish, A. J., Ogle, W. L., Loadholt, C. B.** (1972) A prediction technique for snap bean maturity incorporating soil moisture with the heat unit system. *Agric. Meteorol.* 10:203-210.
113. **Kleinendorst, A., R. Brouwer** (1970) The effect of temperature of the root medium and of the growing point of the shoot on growth, water content and sugar content of maize leaves. *Neth. J. Agric. Sci.* 18:140-148.

114. **Kovács, G. J.** (1998) Estimation of the effect of global warming on yields and environment of arable crops in Hungary. *Agrokem. Talajtan* 47:133-144.
115. **Lana, E. P., Haber, E. S.** (1952) Seasonal variability as indicated by cumulative degree hours with sweet corn. *J. Am. Soc. Hortic. Sci. Proc.* 59:389-392.
116. **Láng G.** (1970) A növénytermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
117. **Láng G.** (1976) Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
118. **Lappalainen, H.** (1994) Examples of plant phenological events in Finland and their relation to temperature. *Mem. Soc. Fau. Flo. Fen.* 70:105-121.
119. **Lass, L. W., Callihan, R. H., Everson, D. O.** (1993) Forecasting the harvest date and yield of sweet corn by complex regression models. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:450-455.
120. **Leonard, W. H., Martin, J. H.** (1967) *Cereal crops*, MacMillan, New York, pp. 181.
121. **Lindsey, A. A., J. E. Newman** (1976) Use of official weather data in spring time-temperature analysis of an Indiana phenological record. *Ecol.* 37:812-823.
122. **Long, S. P.** (1983) C4 photosynthesis at low temperatures. *Plant Cell Environment.* 6:345-363.
123. **Long, S. P., East, T. M., Baker, N. R.** (1983) Chilling damage to photosynthesis in young *Zea mays*. Effect of light and temperature variation on photosynthetic CO₂ assimilation. *J. Exp. Bot.* 34:177-188.
124. **Luo, Y., Loomis, R. S., Hsiao, T. C.** (1992) Simulation of soil temperature in crops. *Agric. For. Meteorol.* 61:23-38.
125. **Madonni, G., M. E. Otegui** (1996) Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crop Res.* 48:81-87.
126. **Major, D. J.** (1980) Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. *Canadian Journal of Plant Science* 60:777-784.
127. **Malet, P., Pécaut, F., Bruchou, C.** (1997) Beware of using cumulated variables in growth and development models. *Agric. For. Meteorol.* 88:137-143.

128. **Malhotra N. K.** (2001) Marketingkutatás. Műszaki Kiadó, Budapest, pp. 706.
129. **Manabe, S., Wetherald, R. T.** (1987) Large-scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. *J. Atmos. Sci.* 44.
130. **Marais, J. N.** (1989) Sequential maize planting: a cropping strategy for the small farmer. *Dev. Southern Afr.* 6:359-370.
131. **Manabe, S., Wetherald, R. T.** (1987) Large-scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. *J. Atmos. Sci.* 44. pp. 1211-1235.
132. **McMaster, G. S., Smika, D. E.** (1988) Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. *Agric. For. Meteorol.* 43:1-18.
133. **Mederski, J. H., Miller, M. E., Weaver, C. R.** (1972) Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agron. J.* 65:473-479.
134. **Menyhért Z.** (1979) Kukoricatermelőknek a kukoricáról. Mezőgazdasági Könyvkiadó.
135. **Mészáros E.** (1977) A levegőkémia alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
136. **Mészáros E.** (1998) Éghajlat és emberi tevékenység: A jövő nagy kihívása. In: Az éghajlatváltozás következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97. OMSZ. Budapest.
137. **Mika J.** (1984) Globális felmelegedés, helyi következmények. *Természet Világa* 115. 10. pp. 434-438.
138. **Mika J.** (2002) A globális klímaváltozásról. *Fizikai Szemle*, 9. pp. 258.
139. **Milford, G. F. J., Biscoe, P. V., Jaggard, K. W., Scott, R. K., Draycott, A. P.** (1980) Physiological potential for increasing yields of sugar beet. Pp. 71-83. In R. G. Hurd, P. V. Biscoes, C. Dennis, eds. *Opportunities for increasing crop yields.* Pitman, London, UK.
140. **Mitchell, J. M., Dzerdzevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W. L., Lamb, H. H., Rao, K. N., Wallen, C. C.** (1966) *Climatic Change*, WMO Technical Note. 195, Geneva, pp. 79.

141. **Mitchell, J. F. B., Wilson, C. A., Cunnington, W. M.** (1987) On CO₂ climate sensitivity and model dependence of results. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 113. pp. 293-322.
142. **Monteith, J. L.** (1981) Climatic variation and the growth of crops. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 107:749-774.
143. **Muchow, R. C.** (1990) Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. *Field Crops Res.* 23:145-158.
144. **Nagy, J.** (1994) The effect of fertilization and irrigation on the yield of maize (*Zea mays L.*) hybrids with various genotypes. Unipress, Padova, 421-440.
145. **Nagy, J.** (1994) The relationships of crop production factors and water supply. *British-Hungarian Scientific Seminar, Debrecen 1.* 33-49.
146. **Nagy, J.** (1996) Interactions between fertilization and irrigation and plant density of maize (*Zea mays L.*) *Cereal Research Communications*, 24:1, 85-92.
147. **Neftel, A., Moor, E., Oeschger, H., Stauffer, B.** (1985) The increase of atmospheric CO₂ in the last two centuries - Evidence from polar ice cores. *Nature*, 315. pp. 45-47.
148. **Németh, T.** (1994) Nitrate-N accumulations in the soil profiles of long-term fertilizer experiments. *Agrokémia és Talajtan.* 43.
149. **Nicholls, N., Gruza, G. V., Jouzel, J., Karl, T. R., Ogallo, L. A., Parker, D. E.** (1996), *The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 572.
150. **Nield, R. E., Seeley, M. W.** (1977) Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some applications to crop production in Nebraska. *Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 280. Lincoln, Ne.
151. **Paper, S. C. B., Warrick, R. A., Wigley, T. M. L.** (1996) *Global Sea Level Rise: Past and Future*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 369.

152. **Parks, W. L., J. L. Knetsch** (1960) Utilizing droughtdays in evaluating irrigation and fertilizer response studies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:289-293.
153. **Parry, M. L.** (1990) *Climate change and world agriculture*. Earthscan, London.
154. **Pellerin, S.**, (1993) Rate of differentiation and emergence of nodal maize roots. *Plant and Soil.* 148:155-161.
155. **Perry, K. B., T. C. Wehner, G. L. Johnson** (1986) Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. *HortScience* 21:419-423.
156. **Peterson R. H., Hicks D. R.** (1973) Minnesota relative maturity rating of corn hybrids. *Univ. of Minn. Agric. Ext. Serv. Agron. No.* 27.
157. **Porter, J. R., Delecolle, R.** (1988) Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. In *Plants and temperature* (Eds S. P. Long & F. I. Woodward). pp. 133-156. Cambridge.
158. **Pruess, K. P.**, (1983) Day-degree methods for pest management. *Environmental Entomology* 12: 613-619.
159. **Raddatz, R. L., Shaykewich, C. F., Bullock, P. R.** (1994) Prairie crop yield estimates from modelled phenological development and water-use. *Can. J. Plant Sci.* 74:429-436.
160. **Ramanathan, V., Cicerone, R. J., Singh, H. B., Kiehl, J. T.** (1985) Trace gas trends and their potential role in climatic change. *J. Geophys. Res.*, 90. D 3. pp. 5547-5566.
161. **Rasmussen, R. A., Khalil, M. A. K.** (1984) Atmospheric methane in the recent and ancient atmospheres: concentrations, trends and interhemisphere gradient. *Journal of Geophysical Research* 89. pp. 11599-11605.
162. **Rawson, H. M., Constable, G. A., Howe, G. N.** (1980) Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. II. Leaf growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 7:575-586.
163. **Rickman, R. W., Waldman, S., Klepper, B. L.** (1995) MODWht: development driven winter wheat growth simulation. *Agron. J.* 87.
164. **Rind, D.** (1988) The doubled CO₂ climate and the sensitivity of the modeled hydrologic cycle. *J. Geophys. Res.* 93. pp. 5385-5412.

165. **Ritchie, J. T., NeSmith, D.S.** (1991) Modeling Plant and Soil Systems. *Agronomy* 31:5-29.
166. **Roberts, R. H., Struckmeyer, B. E.** (1938) The effects of temperature and other environmental factors upon the photoperiodic responses of some of the higher plants. *J. Agr. Res.* 56:633-677.
167. **Rodgers, J. S.** (1950) The inheritance of photoperiodic response and tillering in maizeteosinte hybrids. *Genetics* 35:513-540.
168. **Rood, S. B., D. J. Major** (1980) Responses of early corn inbreds to photoperiod. *Crop Sci.* 20:679-682.
169. **Rotty, R., Marland, G.** (1986) Fossil fuel combustion; recent amounts, patterns and trends of CO₂. In: *The changing carbon cycle; a global analysis*, eds. Trabalka, J. and Reichle, D. Springer Verlag, pp. 484-500.
170. **Ruselle, M. P., Wilhelm, W. W., Olson, R. A., Power, J. F.** (1984) Growth analysis based on degree days. *Crop Sci.* 24:28-32.
171. **Salinger, M. J.** (1989) The effects of greenhouse gas warming on forestry and agriculture. WMO commission of Agrometeorology. WMO, Genova.
172. **Schaal, L. A., R. F. Dale** (1977) Time of observation temperature bias and climate change. *J. Appl. Meteorol.* 16:215-222.
173. **Schlesinger, M. E., Zhao, Z-C.** (1989) Seasonal climatic changes induced by doubled CO₂ as simulated by the OSU atmospheric GCM/Mixedlayer ocean model. *J. Climate* 2. pp. 459-495.
174. **Schlesinger, W., H.** (1993) Responses of the terrestrial biosphere to global climate change and perturbation. *Vegetatio*. 104.
175. **Schmidlin, T. W., B. E. Dethier** (1987) Conversion among three methods for calculating heat units for corn. *Appl. Agric. Res.* 2:311-314.
176. **Schneider, S. H.** (1990) The global warming debate heats up: an analysis and perspective. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 71:1291-1304.

177. **Shaw, R. H.** (1977) Climatic requirement. In. G. F. Sprague (ed.) Corn and improvement. *Agronomy*. 18:591-623.
178. **Shaw, R., Thom, H.** (1951) On the phenology of field corn, and vegetative period. *Agronomy J.* 43:9-15.
179. **Shibles, R. M., C. R. Weber** (1965) Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. *Crop. Sci.* 5:575-577.
180. **Siegenthaler, U., Oeschger, H.** (1987) Biospheric CO₂ emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data. *Tellus* 39B. pp. 140-154.
181. **Sierra, E. M.** (1977) Energetic photothermal development model for medium late and late soybean cultivars. *Agric. Meteorol.* 18:277-291.
182. **Smith, B. J., Warr, K.** (1991) Global environmental issues. Hodder and Stoughton, London. pp. 294.
183. **Snyder, R. L.** (1985) Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35:353-358.
184. **Sprague, G. F.** (1934) Experiments in inbreeding corn. *J. Agr. Res.* 48:1113-1120.
185. **Stauber, M. S., M. S. Zuber, W. L. Decker** (1968) Estimation of the tasseling date of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 60:432-434.
186. **Stern, A. C., Bobel, R. W., Tutner, D. B., Fox, D. L.** (1984) Fundamentals of air pollution. Academic Press, Orlando (Florida) pp. 530.
187. **Stevenson, J. C., Goodman, M. M.** (1972) Ecology of exotic races of maize. I. Leaf number and tillering of 16 races under four temperatures and two photoperiods. *Crop Sci.* 12:864-868.
188. **Stewart, D., Dwyer, L. M., Andrews, C. J., Dugas, J. A.** (1997) Modeling carbohydrate production, storage, and export in leafy and normal maize (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 37:1228-1236.
189. **Stewart, D. W., Dwyer, L. M., Carrigan, L.** (1998) Phenological temperature response of maize. *Agr. J.* 90:73-79.

190. **Stolarski, R. S.** (1988) Ózonlyuk az Antarktisz felett. Tudomány 4. pp. 10-16.
191. **Summerfield, R. J., Ellis, R. H., Roberts, E. H.** (1989) Vernalization in chickpea (*Cicer arietinum*): fact or artefact. Ann. Bot. 64:599-603.
192. **Swan, J. B., E. C. Schneider, J. F. Moncrief, W. H. Paulson, A. E. Peterson** (1987) Estimating corn growth, yield and grain moisture from air growing degree days and residue cover. Agron. J. 79:53-60.
193. **Swanson, S. P., Wilhelm, W. W.** (1996) Planting date and residue rate effects on growth, partitioning, and yield of corn. Agron. J. 88.
194. **Szalai S., Szentimrey T.** (1998) Éghajlatváltozási vizsgálatok, éghajlati adatsorok, statisztikai módszerek. In: Az éghajlatváltozás következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97. OMSZ. Budapest.
195. **Szász G.** (1968) A kukorica- és lucernaállomány nyári vízfogyasztásának meteorológiai vizsgálata. Növénytermelés. 18.
196. **Szász G.** (1970) A debreceni löszhát talajának hóforgalma. Időjárás. 74. évf.
197. **Szász G.** (1988) Agrometeorológia, általános és speciális
198. **Szlovák S.** (1974) A kukorica egységnyi levélfelületére számított transzspirációintenzitás-különbségek vizsgálata különböző tápanyag-ellátottságnál. Növénytermelés. 23.
199. **Thompson, L. M.** (1988) Effects of changes in climate and weather variability on the yields of corn and soybeans. J. Prod. Agric. 1:20-27.
200. **Tollenaar, M., T. B. Daynard, R. B. Hunter.** (1979) Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. Crop Sci. 19:363-366.
201. **Tollenaar, M., Hunter, R. B.** (1983) A photoperiod and temperature sensitive period for leaf number of maize. Crop Sci. 23:457-460.
202. **Toon, O. B., Turco, R. P.** (1991) A fogyatkozó ózon és a sarkvidékek sztratoszférikus felhői. Tudomány 7. 8. pp. 34-40.

203. **Tóth Z., Németh P., Ferenczi Z.** (1998) A légköri ózontartalom viselkedése az utóbbi években. In: Az éghajlatváltozás következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97. OMSZ. Budapest.
204. **Tsotsis, B.** (1958) The use of thermal and photothermal units for describing flowering and maturation in maize. Diss. Abstr. 19:1156-1157.
205. **Tyldesley, J. B.** (1978) A method of evaluating the effect of temperature on an organism when the response is non-linear. Agric. Met. 19:137-153.
206. **Yin, X., M. J. Kropff, G. McLaren, R. M. Visperas** (1995) A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agric. For. Meteorol. 77:1-16.
207. **Valli, V. J.** (1965) Predicting economic maturity of peanuts by use of a photothermal unit. 62nd Annu. Proc. Ass. Southern Agr. Workers, Inc. p. 72-73.
208. **Varga-Haszonits Z., Botos L.** (1974) Agroklimatológia és növénytermesztés. MÉM-OMSZ, Budapest.
209. **Warrington, I. J. and Kanemasu, E. T.** (1983) Corn growth response to temperature and photoperiod. III. Leaf number. Agron. J. 75:762-766.
210. **Washington, W. M., Meehl, G. A.** (1984) Seasonal cycle experiment on the climate sensitivity due to a doubling of CO₂ with an atmospheric general circulation model couple to a simple mixed-layer ocean model. J. Geophys. Res. 89. pp. 9475-9503.
211. **Watts, W. R.** (1972) Leaf extension (*Zea mays*) in response to independent variation of the temperature of the apical meristem, of the air around the leaves, and of the root-zone. J. Exp. Bot. 76:713-721.
212. **Watts, W. R.** (1972) Leaf extension in *Zea mays* L. Leaf extension and water potential in relation to root zone and air temperature. J. Exp. Bot. 23:704-712.
213. **Wang, J. Y.** (1960) A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology. 41:785-790.
214. **Webb, T., Wigley, T. M. L.** (1985) What past climate can indicate about a warmer world. In: Projecting the climatic effects of increasing carbon-dioxide. US Dept of

Energy, Office of Energy Research, Carbon Dioxide Research Division.
Washington, DC.

215. **Weir, A. H., Bragg, P. L., Porter, J. R., Rayner, J. H.** (1984) A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J. Agric. Sci. Camb.* 102:371-382.
216. **Wierenga, P. J., D. R. Nielsen, R. Horton, B. Kies** (1982) Tillage effects on soil temperature and thermal conductivity. p. 69-90 IN Unger and Van Doren, Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA Spec. Publ. 44. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
217. **Wilhelm, W. W., G. S. McMaster** (1995) The importance of phyllochron in studying development and growth of grasses. *Crop Sci.* 35:1-3.
218. **Wilson, C. A., Mitchell, J. F. B.** (1987) A doubled CO₂ climate sensitivity experiment with global climate model including a simple ocean. *J. Geophys. Res.* 92. pp. 13315-13343.