

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet

A vegetációs időszak hosszának vizsgálata különböző módszerekkel

Szakdolgozat



Készítette: Káposztás Noémi

Földtudomány alapszak, Meteorológus szakirány

Témavezető: dr. Barcza Zoltán

Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2010

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Felhasznált adatok és módszerek	4
2.1. Az NEE módszer	4
2.1.1. Mérések 3 méteren	5
2.1.2. Mérések 82 méteren	6
2.2. A GSI módszer	8
2.3. A TS módszer	11
2.4. Az 5Dave módszer	11
2.5. A TGS módszer	12
2.6. A módszerek összehasonlítása	13
3. Eredmények	14
3.1. A módszerek eredményeinek bemutatása gyepre vonatkozóan.....	14
3.1.1. NEE	14
3.1.2. GSI	14
3.1.3. TS, 5Dave, TGS	15
3.2. A módszerek eredményeinek bemutatása mezőgazdasági területre vonatkozóan	16
3.2.1. NEE	16
3.2.2. GSI	18
3.2.3. TS, 5Dave, TGS	18
3.3. A gyepre vonatkozó eredmények összehasonlítása.....	20
3.4. A mezőgazdasági területre vonatkozó eredmények összehasonlítása.....	23
3.5. A hegyhátsáli és a bugacpusztai eredmények összehasonlítása	27
3.5.1. NEE	28
3.5.2. GSI	29
3.5.3. TS, 5Dave, TGS	30
4. Összefoglalás	32
Köszönetnyilvánítás.....	34
Irodalomjegyzék	35

1. Bevezetés

Vegetációs időszaknak (VI) hívjuk azt az időintervallumot, amikor a növényzet számára a növekedés lehetővé válik. Emiatt a vegetációs időszak hossza (VIH) a növényi életfolyamatok egyik legfontosabb mérőszáma. A VI terjedelmének meghatározása meteorológiai szempontból is hasznos, ugyanis a növény gyakran a teljes vegetációs időszak alatt aktív szén-dioxid abszorbens, valamint a növényzet fejlődése a felszín albedójára és érdességére is nagy hatással van. Emellett azért is fontos, hogy nyomon kövessük a növényzet aktivitásának változását, mert a talaj, valamint a szárazföldi növényzet az évente globálisan kibocsátott szén-dioxid egy nem elhanyagolható részét elnyelheti és tárolhatja (IPCC, 2007).

A vegetációs időszak hosszának vizsgálata különböző módszerekkel történhet. Hagyományosan a vegetációs periódust különböző meteorológiai elemek (pl. hőmérséklet, légnedvesség) segítségével határozzák meg (Varga-Haszonits és Varga, 2004). A technika fejlődésével egyre többen foglalkoztak a VIH tendenciájának műholdas elemzésével is (Myneni et al., 1997; Tucker et al., 2001). Kevés olyan tanulmány látott napvilágot, ahol a vegetációs időszakot közvetlen, növényi szén-dioxid kicserélődés (fotoszintetikus aktivitás) mérési adatok segítségével számítják. Hazánkban ezen a téren még nem született ilyen általánosan használható VIH becslés.

Munkám során az 1997-2009 között Hegyhátsálon (Nyugat-Magyarország) mért adatokat dolgozom fel, hogy e területen évről-évre megbecsülhessük a vegetációs időszak hosszát és időben változó tendenciáját. Itt két különböző magasságban történik a szén-dioxid fluxus mérése. A vegetációs időszakot egy naptári éven belül vizsgáljuk (tehát minden évre külön határozzuk meg), gyeper és mezőgazdaságú terület fölött, közvetlen szén-dioxid fluxus adatok alapján. Ez a megközelítés eltér az egyedi mezőgazdasági haszonnövények esetében alkalmazott módszertől, ami az eredmények értékelése szempontjából lényeges információ.

Fő célunk, hogy a VI hosszának becslésére irányuló, eddig főleg boreális területeken alkalmazott módszereket és kritériumaikat a Kárpát-medence éghajlatának megfelelően vizsgáljuk, és szükség szerint módosítsuk.

A közvetlen mérési adatokon alapuló, vegetációs időszak hosszára vonatkozó eredményeket összevetjük egyéb, sugárzás-, hőmérséklet- és harmatpont adatokon alapuló módszerekkel (pl. hőmérsékleti összeg módszer). A hegyhátsági mérési adatok alapján kalibrált módszereinket ellenőrzésképpen egy másik gyeperes mérőhely (Bugacpuszta) adataira is alkalmaztuk, megvizsgálva a módszerek eredményességét, pontosságát, és térbeli kiterjeszhetőségét.

2. Felhasznált adatok és módszerek

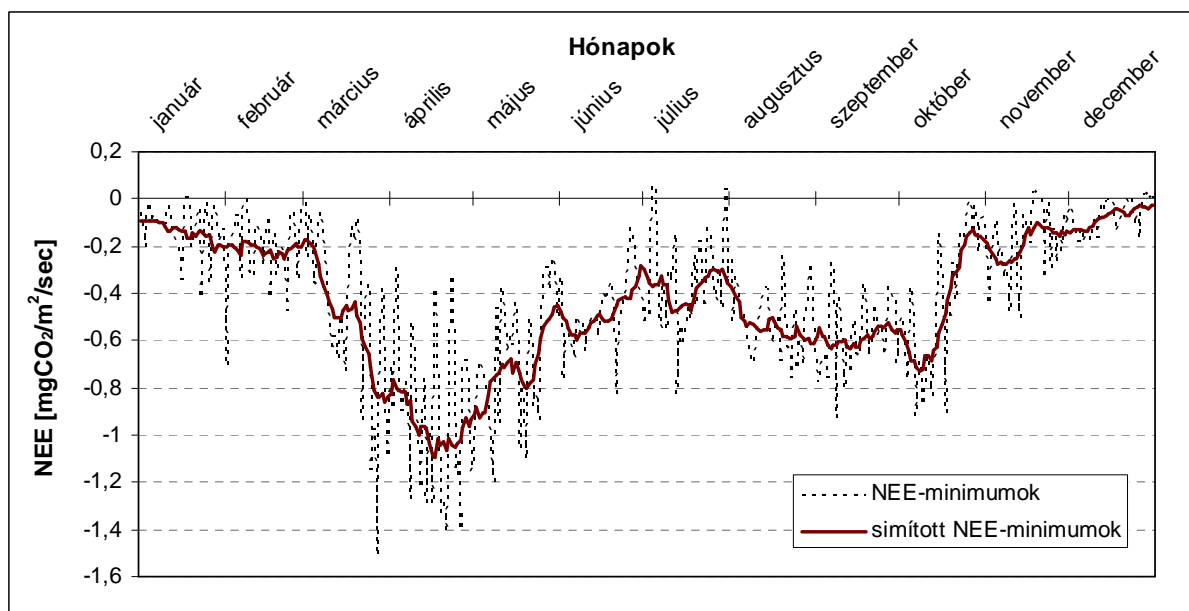
2.1. Az NEE módszer

A vegetációs időszak hosszának becslése többféle állapothatározó szerint, többféle módszerrel történhet. Az NEE (Net Ecosystem Exchange) a növényzet nettó szén-dioxid kicserélődésének mérőszáma (Haszpra et al., 2005; Thum et al., 2009). Megmutatja, hogy a növényállomány felett egy négyzetméteren, időegység alatt mekkora a függőleges szén-dioxid kicserélődés. Definíció szerint *negatív* értéket vesz fel, ha a növény a környezetéből szén-dioxidot von el, és *pozitív* értéket, ha szén-dioxidot bocsát ki.

Az NEE módszer az NEE-minimumokkal dolgozik, ugyanis megközelítően ezek tükrözik legjobban a naponta maximálisan felvett szén-dioxid mennyiségét (Thum et al., 2009). Az NEE módszer legnagyobb előnye, hogy a közvetlen szén-dioxid kicserélődési adatokkal számol, tehát kizárólag a fotoszintetikus aktivitás alapján határozza meg a vegetációs időszak hosszát. Az NEE alapú módszer közvetlen információt szolgáltat a növényi növekedésről, így szoros kapcsolatban áll a vegetációs időszak definíciójával. A módszer alkalmazása előtt figyelembe kell venni, hogy az NEE erősen függ a környezet tulajdonságaitól (besugárzás, rendelkezésre álló tápanyag), a felszínborítottságtól és a növényzet fenológiai ciklusától. Ezért fontos felmérni, hogy a mérések környezete hogyan befolyásolja a szén-dioxid fluxus éves menetét. Lombhullató erdők esetén a növényzet éves életciklusa miatt az NEE éves menete más, mint az örökzöld fenyvesekben. Mezőgazdasági területekről származó adatok vizsgálata esetén pedig számolnunk kell az emberi beavatkozás VIH-ra gyakorolt hatásaival.

A hegyhátsági mérőtornyon az NEE-t 3 és 82 méteres magasságban mérik (Barcza et al., 2003; Haszpra et al., 2005). A módszer, mint említettük, a VIH meghatározására a napi NEE-minimumokat használja. Mivel a mérések a turbulencia sztochasztikus jellege és egyéb mérés technikai okok miatt zajosak, érdemes a továbbiakban ezen értékek – jelen esetben 11 napos – mozgóátlagával számolni (**1. ábra**). Ahhoz, hogy évről-évre meghatározhassuk a vegetációs időszak hosszát, célszerű megállapítani egy küszöbértéket, amelynek átlépése jelzi a VI kezdetét és végét. Optimális megállapításához több évnnyi adatsort kell megvizsgáljunk, és ismernünk kell a környező területek mezőgazdasági viszonyait, éghajlatát. Fontos leszögezni például, hogy Magyarországon a tapasztalatok szerint vegetációs időszakról ténylegesen csak a március és október közötti intervallumban beszélhetünk. Ezen időszakon kívül esetlegesen előforduló, jelentős növényi aktivitást mutató időszakot téli fotoszintézisnek hívjuk. Mindezen kritérium felállítása után, összevetve az éves NEE görbéket, 3 és 82

méteren a $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -os értéknél a legoptimálisabb a küszöbérték megállapítása. Azt az időszakot, amikor az NEE-értékek a március és október közti intervallumban először lépik át a küszöböt és utoljára hagyják el e küszöbérték fölötti tartományt, az NEE módszerrel megállapított vegetációs időszaknak hívjuk.



1. ábra. A nyers és a 11 napos futóátlaggal simított, gyep felett mért napi NEE-minimumok összevetése (Hegyhátsál, 2007)

Ez a módszer a vegetációs időszak definíciójával áll szoros kapcsolatban, mivel szén-dioxid fluxusméréseken alapszik. A későbbiekben tárgyalt módszerek eredményeit ennek eredményeivel fogom összehasonlítani, azaz a többi módszert a NEE módszerrel fogom kalibrálni. A további vizsgálatokhoz meghatároztunk egy NEE referenciaévet. Ez, a 2008-as év segít majd összevetni a főleg hőmérsékleti adatokon alapuló módszert a szén-dioxid kicserélődésének módszerével.

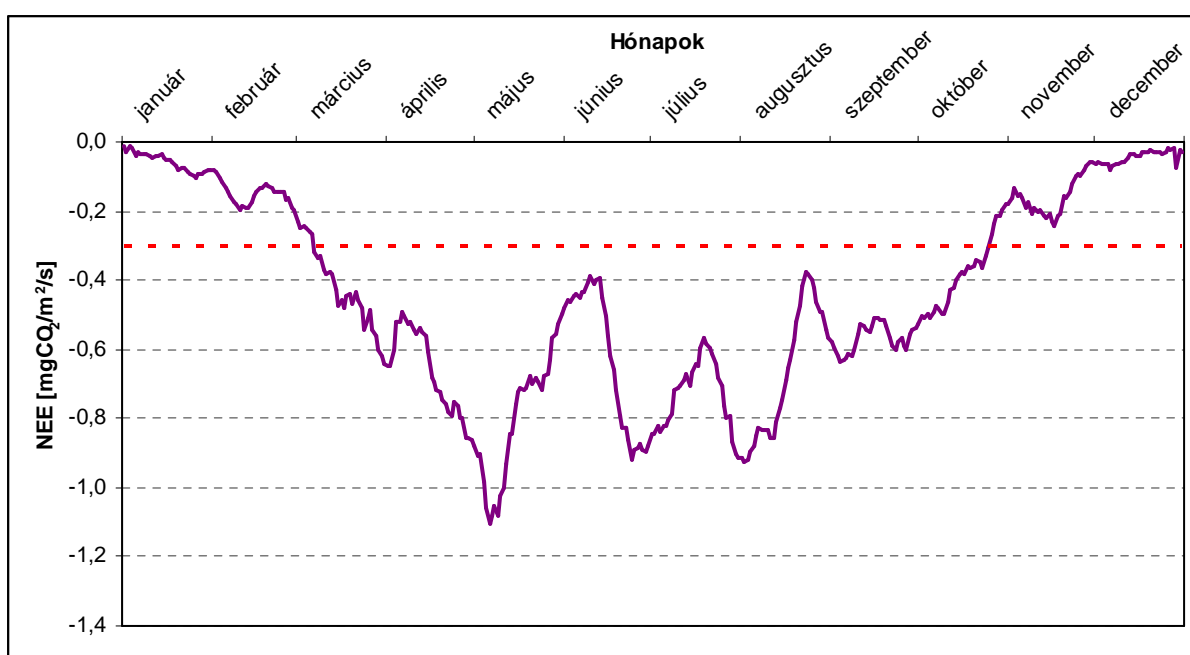
Az alábbiakban külön mutatjuk be a 3 és a 82 méteres mérés jellegzetességeit.

2.1.1. Mérések 3 méteren

Hegyhátsálon a 3 méteres eddy-kovariancia mérésekre a gyepes területek gyakorolnak hatást. Ezen a magasságon az NEE-t fél óránként mérik, és ötévnyi adat áll rendelkezésünkre. Műszerhiba esetén a hiányzó adatokat modell pótolja (Barcza et al., 2003; Haszpra et al., 2005). Mivel a gyep nagyon érzékeny az időjárási viszonyokra és gyorsan reagál a hőmérséklet növekedésére, a kora tavasszal, illetve késő ősszel esetlegesen beköszöntő

enyhébb időszakok alkalmával is számolhatunk aktívabb működéssel. Az eredményeket illetően tehát alacsonyabb NEE-eket és hosszabb vegetációs időszakot várhatunk 3 méteres magasságban. A **2. ábrán** a gyept felett mért napi NEE-minimumokat ábrázoló lila görbe és a küszöbértéket szemléltető piros szaggatott vonal metszéspontjaiban kezdődik el, illetve fejeződik be a 2008-as év (vagyis a referenciaév) vegetációs időszaka.

Minél magasabban végezzük a mérést, annál nagyobb terület hatásai fedezhetők fel az NEE-értékeken. Éppen ezért, ha csak a torony közvetlen környezetében, a torony kertjében szeretnénk a vegetációs időszak hosszáról képet kapni, a gyeptes mérések adataival kell dolgoznunk.

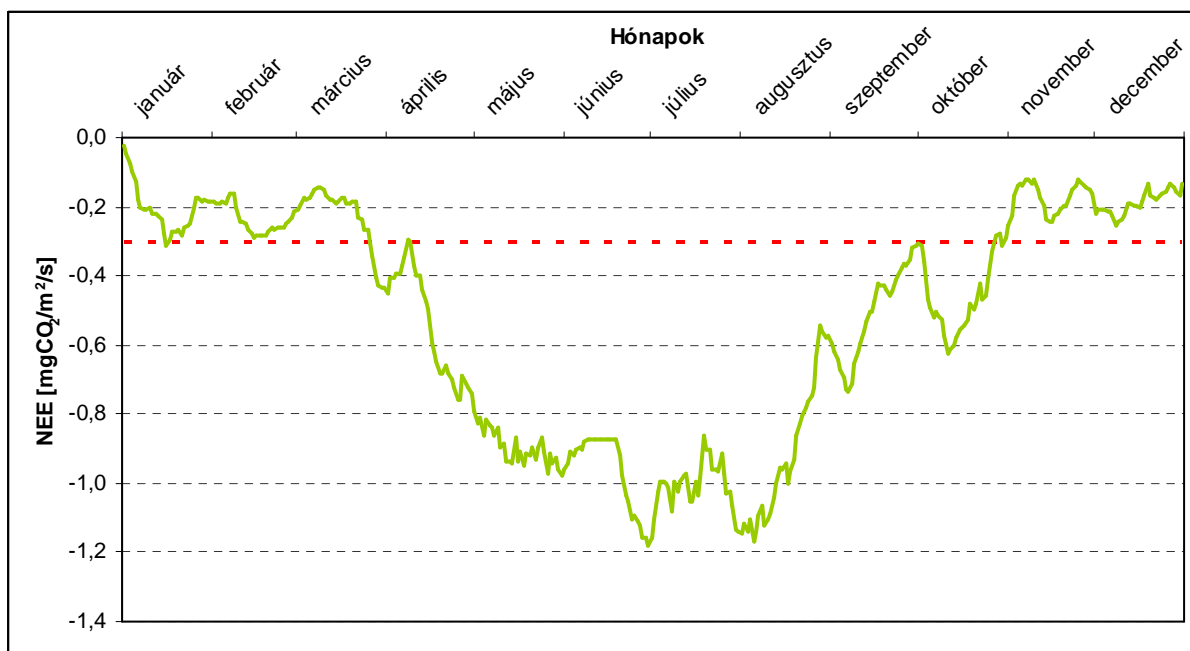


2. ábra. A 2008-as évre vonatkozó, gyept felett mért NEE-minimumok (simított lila görbe) és a $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -os küszöbérték (piros szaggatott vonal)

2.1.2. Mérések 82 méteren

A 82 méteres eddy-kovariancia mérések esetén a környező, mezőgazdasági művelés alatt álló területek hatásai érezhetők. Ebben a magasságban óránkénti mérések zajlanak, s ezekről 11 évnyi adatunk van. Az adatokat hiány esetén itt is modell segítségével pótolhatjuk (Barcza et al., 2003; Haszpra et al., 2005). Ha a mérőhely környezetében egy nagyobb terület vegetációs időszakát vizsgáljuk meg, mindenképp célszerű magasabban végezni a mérést. A közvetett módszerek 82 méteren mért NEE-vel történő kalibrálását szintén a 2008-as

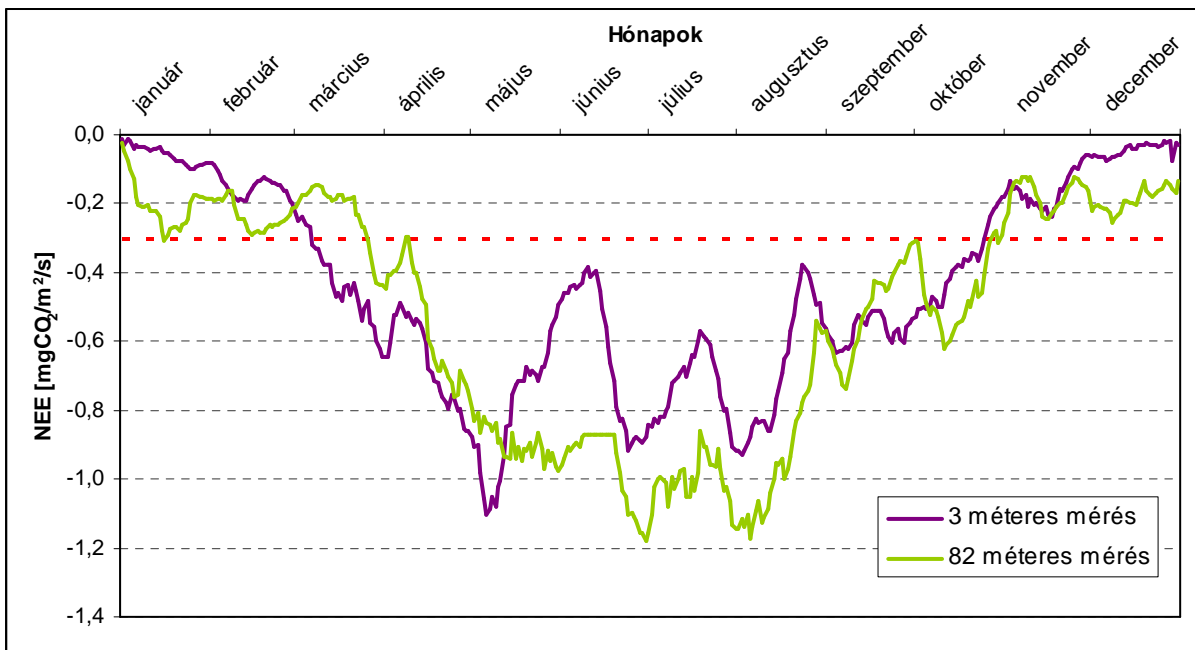
referenciaév segítségével végeztük. A **3. ábrán** a 82 méteren mért NEE-minimumok alakulása látható, a $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -os határérték jelölésével (2008).



3. ábra. A 2008-as referenciaév 82 méteren mért NEE-minimumai (simított zöld görbe) és a $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -os küszöbérték (piros szaggatott vonal)

A mérőtorony körüli területeken többféle növényfajt termesztenek (őszi búza, kukorica, repce, stb.), ezért az átmeneti évszakokban gyakran megfigyelhető, ahogy a növényzet fejlődése és aratása befolyásolja a szén-dioxid kicserélődését. A **3. ábrán** is jól kivehető, március végi NEE emelkedés az őszi búza növekedésének, míg az októberi aktivitás a kukorica fejlődésének tudható be.

A 3 és 82 méteres magasságban kapott, simított NEE-minimumok (lila, illetve zöld görbe) összevetésére szolgál a **4. ábra**. Amikor a március és október közötti időszakban a görbék átlépik a küszöbértéket (piros szaggatott vonal), vegetációs időszakról beszélünk. Észrevehető, hogy 3 méteres mérések alapján a vegetációs időszak kezdete előbbre, március elejére tehető, a VI végei között az eltérés viszont jóval kisebb. Ezekben a hónapokban a szén-dioxid elnyelés a 82 méteres magasságban jelentősebbnek mutatkozik, azaz az NEE-minimumok alacsonyabb értékeket vesznek fel. A **4. ábrán** megfigyelhető az is, hogy a meleg, csapadékosabb nyári hetekben, hónapokban, amikor a növényzet működéséhez a körülmények ideálisak, a két görbe sokkal jobban együtt mozog, mint az év többi időszakában. A nyári visszaesések egy-egy szárazabb, aszályosabb hétnek tudhatóak be.



4. ábra. A 3 és 82 méteren mért hegyhátsági napi NEE-minimumok összehasonlítása 2008-ra. A simítás 11 napos mozgóátlaggal történt. A piros szaggatott vonal a küszöbértéket jelöli.

2.2. A GSI módszer

A GSI (Growing Season Index) egy olyan mérőszám, amellyel a vegetáció fejlődése számára optimális meteorológiai körülményeket lehet számszerűsíteni. A GSI módszer három mért meteorológiai paraméterrel dolgozik. Számszerűsíti a növényzet fejlődéséhez szükséges körülményeket az adott napon, ezen keresztül megbecsülve annak fotoszintetizáló-képességét. A módszer a vegetációs időszak hosszát az időjárási körülményekkel limitálja és azt a lehetséges napsütéses órák számától, a levegő nedvességétől, hőmérsékletétől teszi függővé. Az évről-évre megállapított GSI-küszöbérték segítségével becsülhetjük a vegetációs időszak hosszát (Jolly et al., 2005). A GSI módszer tehát a VIH-t a környezeti feltételektől teszi függővé.

A GSI módszer alkalmazásához szükségünk van a napi minimumhőmérséklet (T_{Min}), a gőznyomás deficit (VPD) adatokra, valamint ismernünk kell az év adott napján a nappal hosszát másodpercekben ($Photo$). Ezen adatokból és az alábbi három képletet felhasználva indexeket számolunk, amikkel majd tovább dolgozunk (Jolly et al., 2005):

$$iT_{\text{Min}} = \begin{cases} 0, & \text{ha } T_{\text{Min}} \leq T_{\text{MMin}}, \\ \frac{T_{\text{Min}} - T_{\text{MMin}}}{T_{\text{MMax}} - T_{\text{MMin}}}, & \text{ha } T_{\text{MMax}} > T_{\text{Min}} > T_{\text{MMin}}, \\ 1, & \text{ha } T_{\text{Min}} \geq T_{\text{MMax}}, \end{cases} \quad (1)$$

ahol iT_{Min} a minimumhőmérséklet-index, $T_{\text{MMin}} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$ és $T_{\text{MMax}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$iVPD = \begin{cases} 0, & \text{ha } VPD \geq VPD_{\text{Max}}, \\ 1 - \frac{VPD - VPD_{\text{Min}}}{VPD_{\text{Max}} - VPD_{\text{Min}}}, & \text{ha } VPD_{\text{Max}} > VPD > VPD_{\text{Min}}, \\ 1, & \text{ha } VPD \leq VPD_{\text{Min}}, \end{cases} \quad (2)$$

ahol $iVPD$ a gőznyomás deficit indexe, $VPD_{\text{Min}} = 900 \text{ Pa}$ és $VPD_{\text{Max}} = 4100 \text{ Pa}$.

$$iPhoto = \begin{cases} 0, & \text{ha } Photo \leq Photo_{\text{Min}}, \\ \frac{Photo - Photo_{\text{Min}}}{Photo_{\text{Max}} - Photo_{\text{Min}}}, & \text{ha } Photo_{\text{Max}} > Photo > Photo_{\text{Min}}, \\ 1, & \text{ha } Photo \geq Photo_{\text{Max}}, \end{cases} \quad (3)$$

ahol $iPhoto$ a nappalok másodpercben megadott hosszának az indexe, $Photo_{\text{Min}} = 36000 \text{ s}$ és $Photo_{\text{Max}} = 39600 \text{ s}$.

E feltételek mellett mindhárom index 0 és 1 közé eső értéket vesz majd fel. A napi GSI megállapításához még egy indexet vezetünk be, ami a három előbb kiszámított index szorzataként áll össze. Tehát:

$$iGSI = iT_{\text{Min}} \cdot iVPD \cdot iPhoto, \quad (4)$$

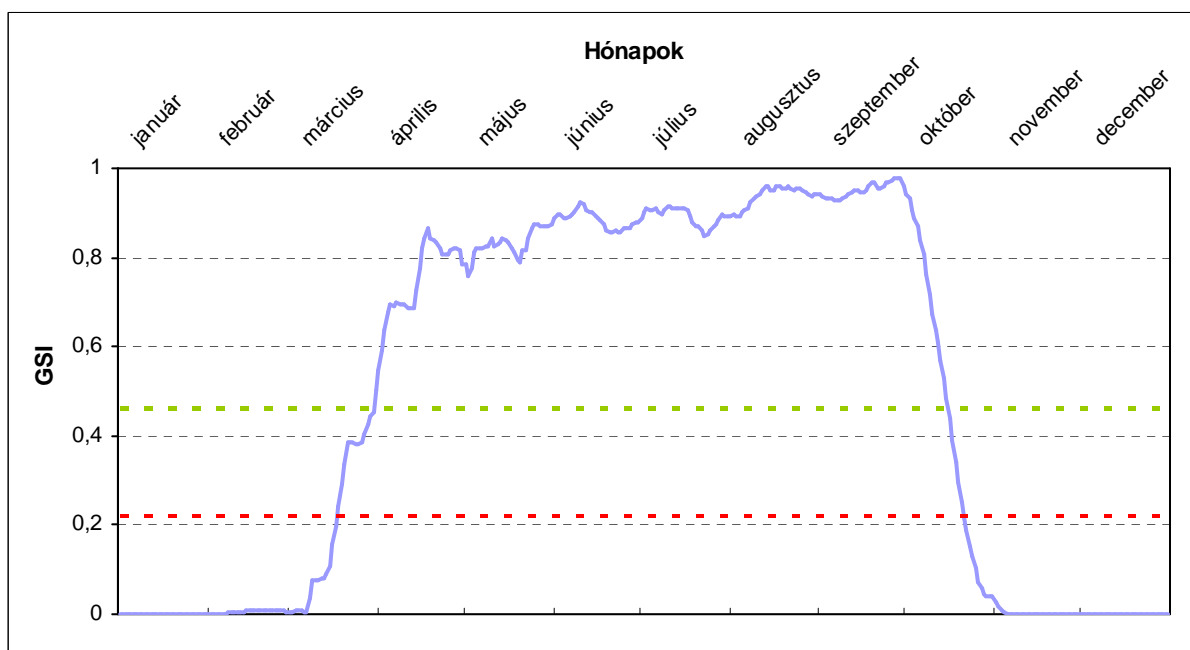
ahol $iGSI$ a napi GSI indikátor.

Az így kapott $iGSI$ -görbék nagyon zajosak, ezért az egy napra vonatkozó GSI-t az $iGSI$ mozgóátlaggal való simításából származtatjuk. Mivel a (4) egyenletben a szorzat minden tagja 0 és 1 között változik, az $iGSI$ és így a GSI is 0 és 1 közé fog esni. Minél kedvezőbbek voltak az adott napon az időjárási körülmények és a környezeti feltételek, a GSI-érték annál jobban közelít az 1-hez.

A GSI módszer használatakor, ahogy az az NEE módszernél is kritérium, a vegetációs időszak nem kezdődhet március előtt és nem fejeződhet be október után. Ha e módszert több

év vegetációs időszakának összehasonlítására szeretnénk használni, célszerű meghatározni egy referenciaévet, hogy a VIH-kat viszonyítani tudjuk egymáshoz. Minden módszer esetén jobb becslés várható, ha a szén-dioxid kicserélődéssel együtt vizsgálódunk, ezért az NEE módszernél is mindkét magasságban referenciaként megállapított, 2008-as év VI kezdetéhez tartozó GSI-értékeit veszem a további összevetések alapjául. A módszer alapja az, hogy a referenciaév vegetációs időszakának első és utolsó napján megvizsgáljuk a 2008-as GSI-értéket, és azok lesznek a küszöbök a többi évben a VIH-nak e módszerrel történő megállapításakor.

Eredményeink szerint a 3 méterről érkező adatok vizsgálatakor vegetációs időszakról a 0,5-ös küszöb tavaszi és a 0,07-es küszöb őszi átlépése között beszélhetünk. Ha a 82 méteres adatokkal dolgozunk, a VI 2008-ban a 0,46-os GSI mellett kezdődik el és 0,22-es érték mellett fejeződik be. Ezek lesznek tehát az általam feldolgozott 12 évben a GSI módszer be- és kilépő küszöbértékei. A VI első napja arra a napra tehető, amikor a GSI az adott évben először vesz fel az adott belépő küszöb feletti értéket, és akkor fejeződik be, amikor utoljára süllyed a kilépő érték alá.



5. ábra. A GSI értékeinek alakulása 2005-ben a mezőgazdasági terület fölött. A zöld szaggatott vonal a belépő (0,46-os), a piros a kilépő (0,22-es) küszöbértéket jelöli.

Például az **5. ábrán**, ha a GSI-értékeket ábrázoló görbe a küszöbértéket jelölő zöld szaggatott vonalat először, majd a piros szaggatott vonalat utoljára lépi át, akkor a két metszéspont között vegetációs időszakról beszélünk. A GSI visszaesése nyáron egy-egy

hűvösebb, vagy aszályosabb időszak miatt mutatkozik. Télen a növényzet teljes passzivitását jelzi a módszer, azokban az években is, amikor az NEE módszer téli fotoszintézist mutat.

2.3. A TS módszer

A TS (Temperature Sum) módszer a napi átlaghőmérsékletek vizsgálatával határozza meg a vegetációs időszak kezdetét (Tanja et al., 2003). Hőösszegek számításával a hőmérséklet növényzetre gyakorolt hatását lehet megállapítani, ezért főleg a mezőgazdaságban használják (Varga-Haszonits és Varga, 2004). Segít megbecsülni, hogy az adott év eleji hőmérsékleti viszonyok mellett, mikor és milyen mértékben várható például a búza fejlődése.

E módszer alkalmazásakor effektív hőmérsékleti összegekkel (ETS) számolunk. Az ETS definíció szerint a napi átlaghőmérséklet és az 5 °C-os határérték közti pozitív hőmérsékletkülönbségek összege (Solantie, 2004). Az NEE módszernél megállapított 2008-as referenciaévet alkalmazzuk ugyanazon év ETS-ének kiszámítására. Ehhez a napi átlaghőmérséklet 5 °C-tól való pozitív eltéréseit összegezzük az NEE referenciaév első napjától a vegetációs időszak kezdőnapjáig. A többi évben, ha ezt a küszöböt eléri az adott napon az effektív hőmérsékleti összeg, az a vegetációs időszak kezdetét jelenti majd. Gyep fölött az 56 °C-os, mezőgazdasági terület felett pedig a 104 °C-os ETS küszöbvel dolgozunk.

Mivel a referenciaévben a mezőgazdasági terület esetén a vegetációs időszak később kezdődik, mint gyepvel borított terület esetén, így ebben a magasságban nagyobb TS küszöböt várhatunk.

A TS módszerrel csupán a vegetációs időszak kezdetét lehet megállapítani, hiszen a nyári hőmérsékletösszegek már nagymértékben torzítanak a VI utolsó napjáról kapott becsléseink eredményeit.

2.4. Az 5Dave módszer

Az 5Dave (Five-day Running Average Temperature) módszer szintén a napi átlaghőmérséklet adatokkal dolgozik. Az átlaghőmérsékleti adatsort 5 napos mozgóátlaggal simítja, majd a referenciaév NEE módszerrel meghatározott kezdő- és végnapján kapott értékeket tekinti küszöbértéknek. Az 5Dave módszer, a TS módszerrel ellentétben, képes meghatározni a VI első és utolsó napját is.

Számításaink szerint 3 méteren az 5D_{ave} belépő küszöbértéke 4 °C, 82 méteren 5 °C. Az alacsony hőmérsékleti küszöbök miatt gyakran megeshet, hogy a VI március előtt elkezdődik, ezért e módszer használatakor az esetleges szisztematikus hibák elkerülése végett nem érdemes korlátozni a VI lehetséges intervallumát. Így a vegetációs időszak kezdete arra a napra esik, amikor a módszerrel kapott értékek a küszöböt tavasszal utoljára érik el.

A VI végét meghatározó küszöb 3 méteren 8 °C, 82 méteren pedig 14 °C. Mivel a kilépő küszöbértékek különbsége nagy, más-más intervallumkorlátozással kell élnünk a két magasságban. A gyepszintről érkező adatok vizsgálatkor a küszöb olyan alacsony, hogy intervallumkorlátozás nélkül az esetleges téli fotoszintézist és az azt megelőző passzív időszakot is a vegetációs időszak részeként kezelné. A tapasztalatok alapján ezért azt a feltételt célszerű kitűzni ebben a magasságban, hogy a VI akkor fejeződik be, amikor ősszel a 8 °C-os határ alá először süllyednek az értékek. Ezzel szemben a 82 méteres küszöbérték már elég nagy ahhoz, hogy reális eredményt adjon a vegetációs időszak határát illetően (ilyen magas értékek a téli fotoszintézis alkalmával sem mutatkoznak). Ezért itt azt a kritériumot szabjuk meg, miszerint a vegetációs időszak utolsó napja arra a napra tehető, amikor az értékek utoljára lépnek 14 °C alá.

2.5. A TGS módszer

A TGS (Thermal Growing Season) módszer csupán hőmérsékleti adatok felhasználásával határozza meg a vegetációs időszak hosszát (Thum et al., 2009). Mivel a növényzet fotoszintetikus aktivitása nem csak a hőmérséklet függvénye, a kapott eredményeket relatív adatokként kell kezelni, valamint célszerű azokat az egyes évek összehasonlítására, vagy többéves tendenciák megállapítására használni. Ez a módszer a legelterjedtebb, széles körben alkalmazzák egyszerű használata miatt a mezőgazdaságban, klimatológiában.

A módszer azt állítja, hogy a VI akkor kezdődik, amikor a napi átlaghőmérséklet öt egymást követő napon 5 °C fok fölé emelkedik, és akkor fejeződik be, amikor 5 °C alá süllyed. Hazánkban azonban gyakran előfordulnak olyan enyhébb telek, amikor e hőmérsékleti feltételek már januárban teljesülnek, holott e rövid aktívabb időszak után a hőmérséklet újra fagypontra alá süllyedhet. Ilyen értelemben a növényzet egy rövidebb, fotoszintetikusan aktív időszakot követően újra passzívvá válhat. A módszer a hőmérséklet őszi, hosszabb lecsengése miatt sem szolgálna megbízható becsléssel a VI végét illetően, ha ennél is alkalmaznánk az idáig használt, március és október közötti intervallumra vonatkozó

kritériumot. Mindezen oknál fogva a módszer a tapasztalatok alapján átalakításra szorul. A későbbi összehasonlíthatóság érdekében tehát ennél a módszernél sem korlátozzuk a vegetációs időszak kezdő- és utolsó napját. Ahogy azt az 5Dave módszernél (gyep esetén) is kijelentettük, a VI akkor kezdődik, amikor a feltételek tavasszal utoljára, őszen pedig először teljesülnek. A módszer fix hőmérsékleti küszöbvel dolgozik, így várhatóan a vegetációs időszak kezdete hamarabbra, vége pedig későbbre tehető, azaz az NEE módszer eredményeihez képest hosszabb vegetációs időszakra számíthatunk. Mivel a módszer a fix küszöb miatt nem kalibrálható, így a két magasságban kapott eredmények között nem lesz különbség.

2.6. A módszerek összehasonlítása

Ahhoz, hogy megállapítsuk, mely módszer közelíti leginkább a NEE módszer eredményeit, ismernünk kell a tulajdonságaikat és a használatukkor kapott eredményeket. Az általunk használt és bemutatott módszerek legfőbb sajátosságait az **1. táblázat** foglalja össze.

	NEE	GSI	TS	5Dave	TGS
Előny:	- VI definíciója (CO ₂ fluxus) alapján	- három paraméterrel számol	- egyszerű számítás és használat	- egyszerű számítás és használat	- egyszerű számítás - széles körben használják
Hátrány:	<i>nincs</i>	- bonyolult számítás - a téli fotoszintézis lehetőségét kizárja	- csak hőmérséklet alapján	- csak hőmérséklet alapján - kizárólag VI kezdetére jó	- csak hőmérséklet alapján - nem kalibrálható

1. táblázat. Az alkalmazott módszerek tulajdonságainak összefoglalása

3. Eredmények

A módszerek alkalmazásakor két különböző magasságban mért NEE adatokkal dolgoztunk. Az eltérő magasságokon történő mérés földrajzilag azonos helyen történik, de a magasság változásával különböző vegetációk hatásai mutatkoznak (Barcza et al., 2003; Haszpra et al., 2005). Éppen ezért a 3 és a 82 méteren kapott eredményeket külön kell tárgyalnunk.

A továbbiakban a VI kezdeténél és végénél a számok azt jelentik, hogy az év hányadik napján kezdődött el, illetve fejeződött be a vegetációs időszak.

3.1. A módszerek eredményeinek bemutatása gyepre vonatkozóan

3.1.1. NEE

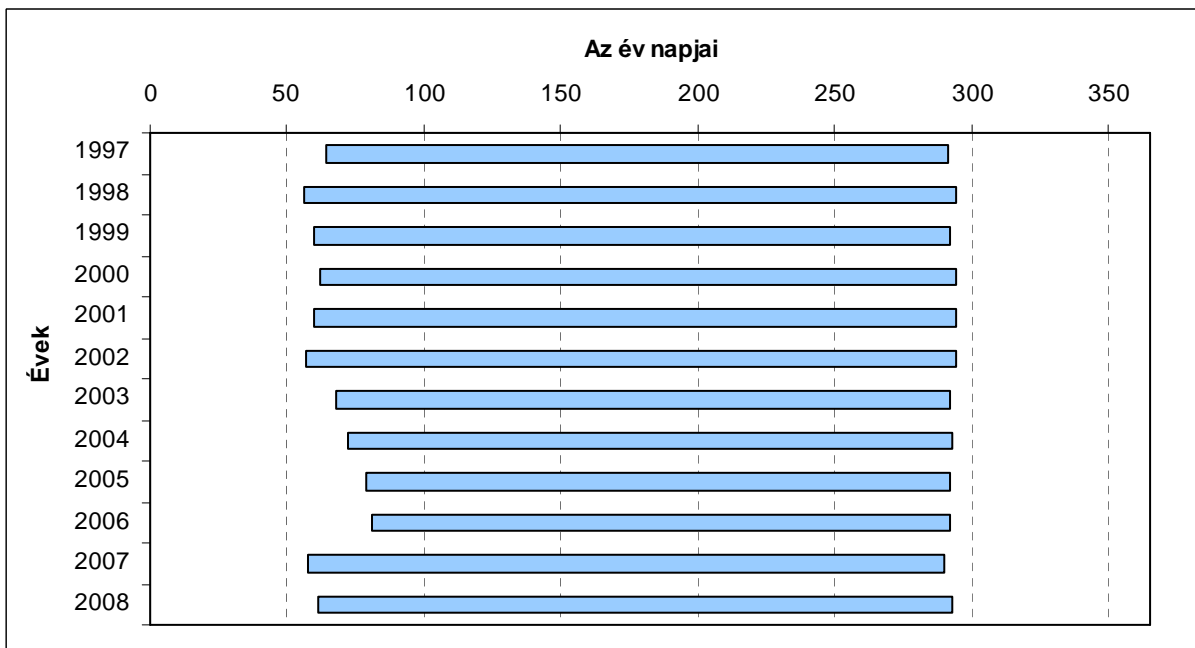
Első lépésként megvizsgáltuk a VIH alakulását a közvetlen, NEE módszer segítségével. Vizsgálataink során a küszöbérték 3 méteren $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ volt. A gyep esetén 5 évnyi eddy-kovariancia adatsor áll rendelkezésünkre. A VI átlagos hossza az 5 év alatt 227 napnak adódott, kezdete átlagosan az év 78., vége a 305. napján mutatkozik.

Mivel a továbbiakban e közvetlen szén-dioxid kicserélődésen alapuló módszert tekintjük az összehasonlítások alapjaként, fontos megemlíteni, hogy a referenciaév vegetációs időszakára vonatkozó adatok hogyan alakultak. A 2008-as évben 3 méteren a VI a 67. napon kezdődött el és a 300. napon fejeződött be. A VI átlagos hossza 233 nap volt. Ezen adatok segítségével állapítottuk meg a közvetett módszerek küszöbértékeit.

3.1.2. GSI

3 méteren a vegetációs időszak hosszának növekedése mutatható ki a kalibrált GSI módszerrel is, csak úgy, mint az NEE módszerrel. A **6. ábrán** láthatjuk, hogy a 3 méterre kalibrált, GSI módszerrel kapott vegetációs időszakok hogyan alakultak az egyes években.

A VI az évek során egyre hamarabb köszönt be (átlagosan az év 78. napján), eszerint a tavaszi aktivitás egyre korábban kezdődik. A **6. ábrán** az is megfigyelhető, hogy a VI vége évről-évre szinte ugyanarra a napra, a 301.-re tehető (a szórás csupán 1,4 nap). A vegetációs időszak átlagos hossza 223 nap.

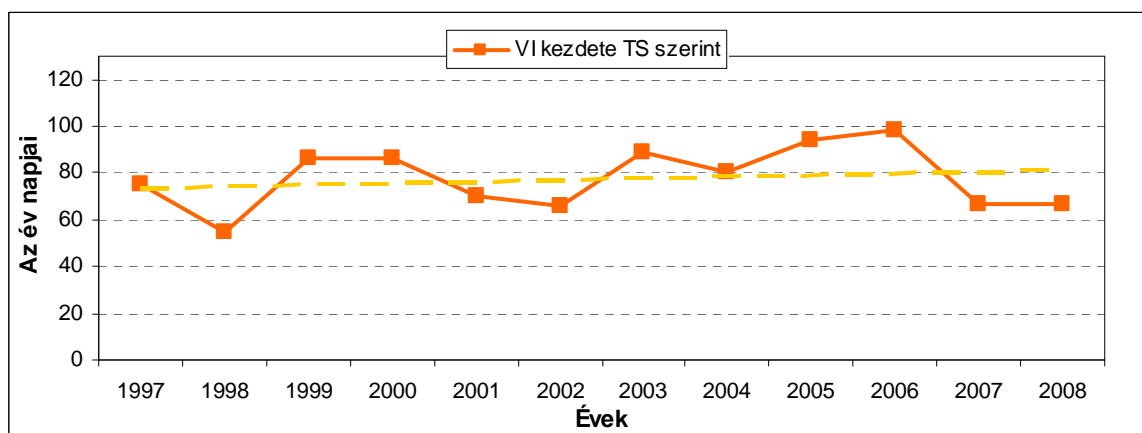


6. ábra. A GSI módszerrel kapott vegetációs időszakok alakulása 3 méteren

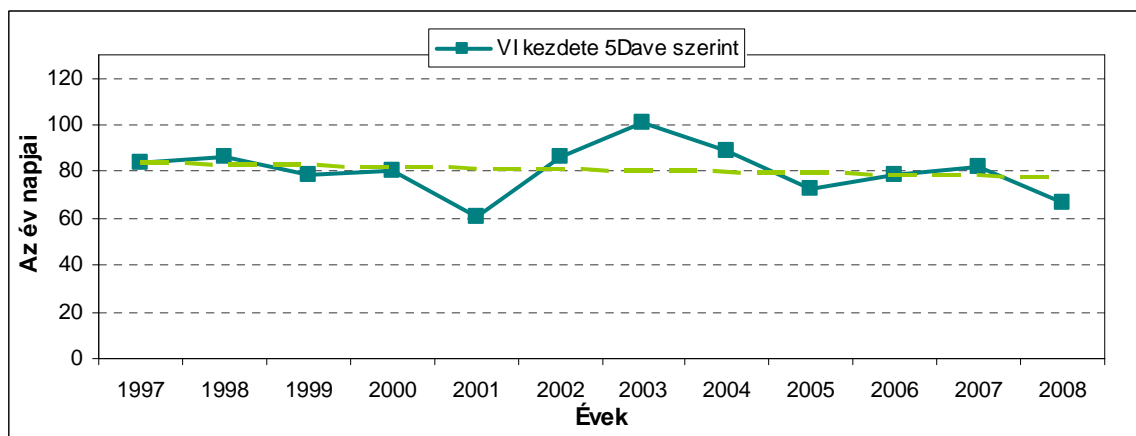
3.1.3. TS, 5Dave, TGS

A 3 méterről származó mérési adatokat vizsgálva a vegetációs időszak kezdetére a három, hőmérsékleti adatokon alapuló módszerrel kapott eredményeket a 7.a., b., c. ábrákon láthatjuk.

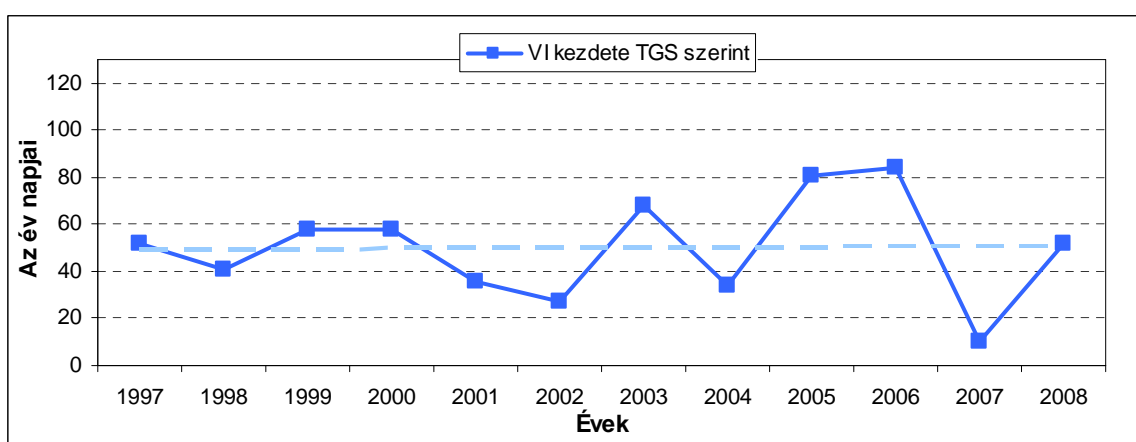
A TS módszer, amelyet csak a VI kezdetének megállapítására használunk, egyre későbbre teszi a tenyészidőszak első napját. E módszer szerint a VI átlagosan a 78. napon köszöntött be, az 5Dave módszer szerint pedig pár nappal később, a 82. napon. Az 5Dave szerint a VI vége a 296. nap körül mutatkozik, vagyis a VIH 214 nap.



7.a. ábra. A TS módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 3 méteren



7.b. ábra. Az 5Dave módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 3 méteren



7.c. ábra. A TGS módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 3 méteren

A TGS módszer szerint az évek során a vegetációs időszak kezdete nem változott, az utolsó napja viszont egyre későbbre tolódik. A VI hosszai így növekvő tendenciát mutatnak. Általában a vegetációs időszak első napja az év 50. napjára, utolsó napja pedig az év 319. napjára esik. Az átlagos VIH 269 nap. A TGS módszer vegetációs időszakának kezdetei a TS módszeréhez hasonlóan alakulnak (7.b. és 7.c. ábrák).

3.2. A módszerek eredményeinek bemutatása mezőgazdasági területre vonatkozóan

3.2.1. NEE

Az NEE módszer 82 méteren történő alkalmazásakor a küszöbértéket szintén a $-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -os értéknél választottuk meg. A 11 évnyi NEE adatsor vizsgálata után a

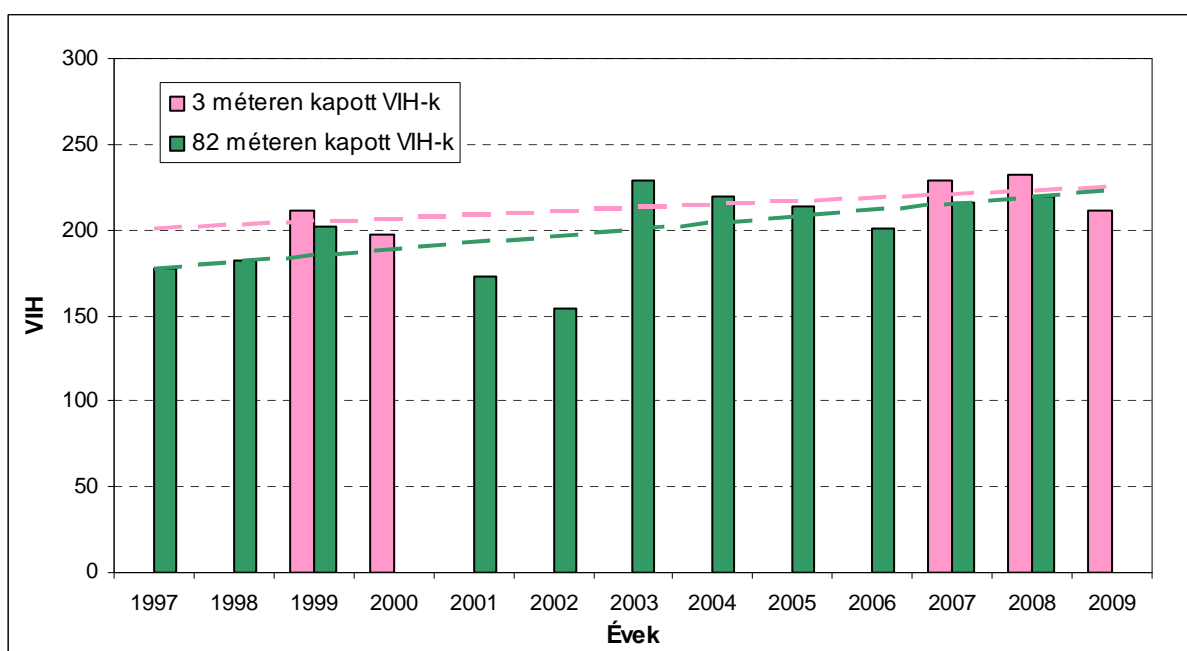
tenyészidőszak átlagosan az év 91. és 290. napja közé tehető. Az átlag VIH 199 nap. Ez 4 héttel rövidebb, mint a gyep esetén becsült érték (227 nap).

A bemutatott közvetett módszerekkel a 82 méteres magasságról származó adatokat is feldolgoztuk, hogy ugyanazon a mérőhelyen, két különböző magasságban is megismerhessük a vegetációs időszak alakulását. Fontos ismét hangsúlyozni, hogy a két magasságban az adatokra eltérő nagyságú területek és különböző növények gyakorolnak hatást.

A **8. ábrán** látható, hogy bár a vegetációs időszak hossza a gyep esetén szisztematikusan nagyobb volt a vizsgált években, a VIH-k trendvonalai – valószínűleg az azonos földrajzi elhelyezkedésnek köszönhetően – közel futnak egymáshoz. A VIH átlagos eltérése a két magasságban 28 nap.

Szintén a **8. ábrán** vehető észre, hogy az NEE módszer 3 és 82 méteren egyaránt a tenyészidőszak növekedését mutatja. Eredményeink összhangban vannak külföldi tanulmányok következtetéseivel is (pl. Thum et al., 2009). Természetesen a rendelkezésünkre álló adatsor még nem elegendően hosszú ahhoz, hogy szignifikáns tendenciákat mutassunk ki, de a trendvonal alapján feltételezhető, hogy a VIH átalakulóban van, mind a gyep, mind a mezőgazdasági kultúrnövények esetén.

A 82 méter adatsorainak közvetett módszerrel történő vizsgálatakor, azaz a küszöbértékek meghatározásakor a 2008-as referenciaévben kapott értékeket használtuk. Tehát 2008-ban a 82 méteres adatok alapján a VI átlagosan a 86. napon köszöntött be és a 305. napon végződött, vagyis a VIH 219 nap volt.

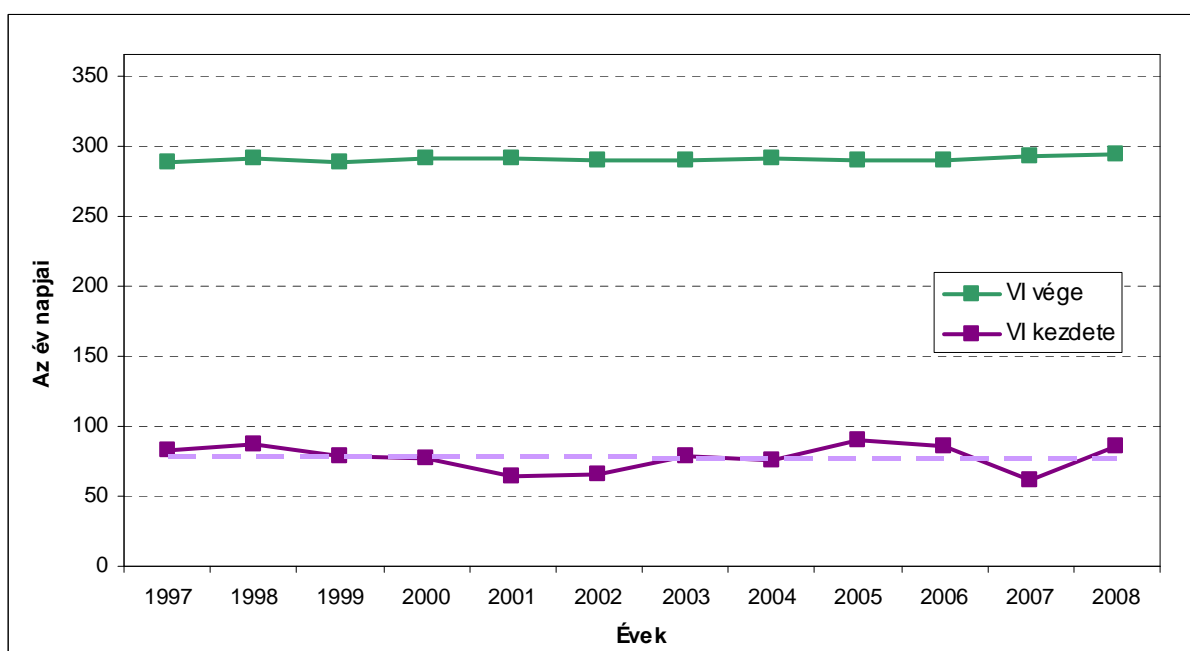


8. ábra. A 3, illetve 82 méteren kapott VIH-k összehasonlítása és tendenciáik

3.2.2. GSI

Ha a GSI módszerrel vizsgálódunk, a VIH az évek folyamán növekvő tendenciát mutat a 82 méteres eredmények kapcsán is.

A **9. ábrán** észrevehető, hogy a vegetációs időszak kis mértékben ugyan, de egyre korábban kezdődik, miközben évről-évre közel ugyanazon a napon fejeződik be. Mindez igaz volt a gyeperől érkező adatok vizsgálatakor is. Az éves GSI-menetek szerint a VI márciusban vagy áprilisban kezdődik (átlagosan a 78. napon), és a vége kivétel nélkül októberben köszönt be, a 296. nap körül. A vegetációs időszak hossza átlagosan 218 nap.

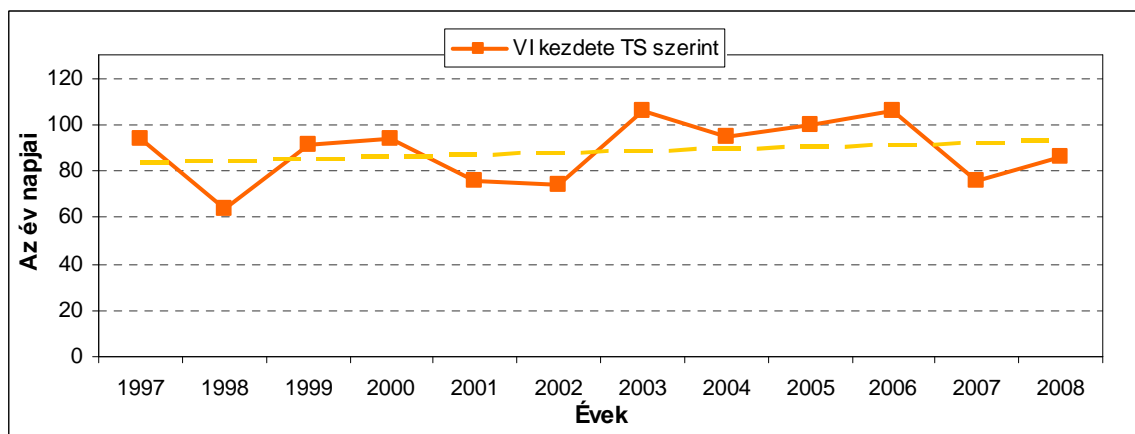


9. ábra. A GSI módszerrel számított vegetációs időszakok kezdetének és végének alakulása 82 méteren

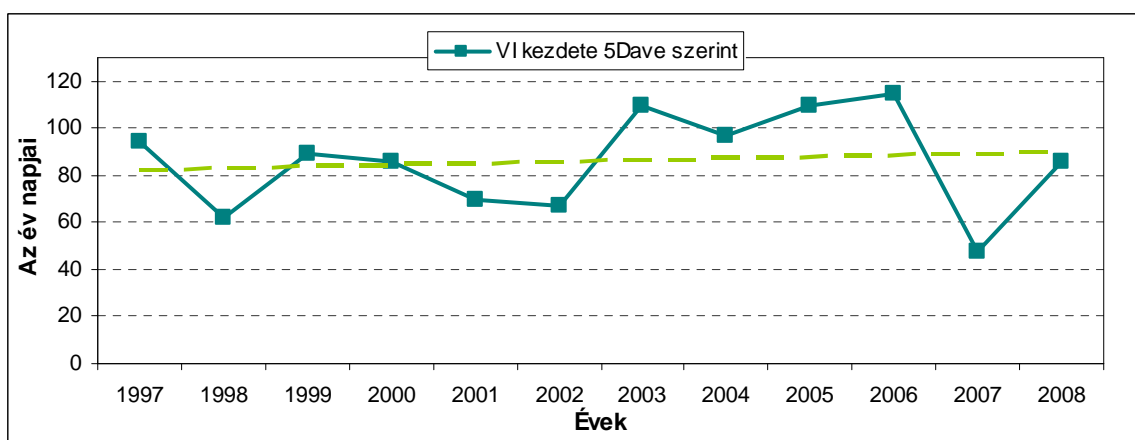
3.2.3. TS, 5Dave, TGS

A módszerek eredményeinek vizsgálatakor a 82 méteres eddy-kovariancia adatokat is feldolgoztuk. Az alábbi ábrák segítségével az ebben a magasságban kapott, VI kezdetére vonatkozó értékeket hasonlítjuk össze az NEE módszerrel (**10.a., b., c. ábrák**).

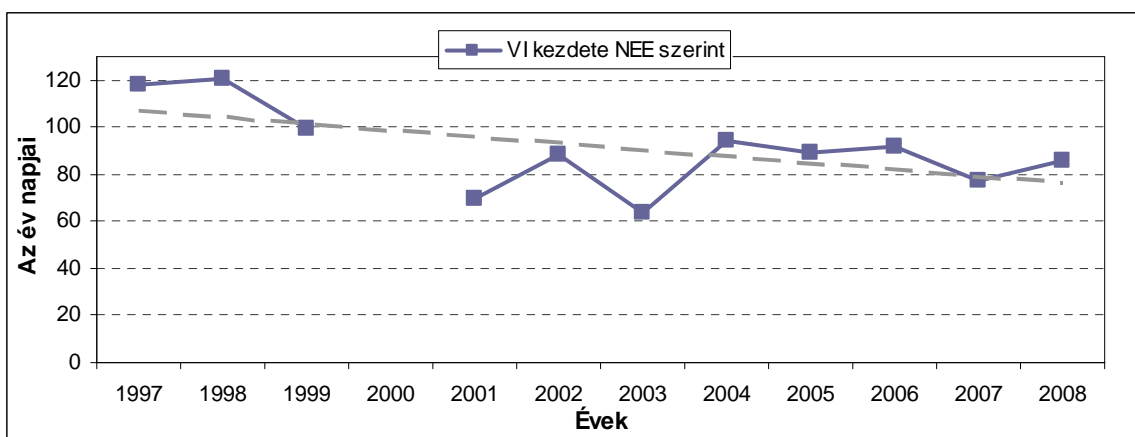
A TGS módszer eredményei a 3 és a 82 méteres magasságban nem különböznek, azaz mindkét esetben a vegetációs időszak első napja (lásd **7.c. ábra**) az év 50. napja, utolsó napja az év 319. napja körül mutatkozik, az átlagos VIH 269 nap.



10.a. ábra. A TS módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 82 méteren



10.b. ábra. Az 5Dave módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 82 méteren



10.c. ábra. Az NEE módszerrel kapott VI kezdőnapok alakulása és tendenciájuk 82 méteren

Mivel a TS módszert csak a VI kezdőnapjának kiszámítására alkalmaztuk, ezért csak az erre vonatkozó adatokat tudjuk összehasonlítani (10.a. ábra). A TS módszer szerint

átlagosan a VI az év 89. napján kezdődik, míg az 5Dave szerint a 84. napon. A módszer trendvonala leginkább a TGS módszer kezdőnapjaival korrelál (**10.a.** és **7.c. ábrák**).

Az 5Dave módszer a vegetációs időszak végét a 293. nap környékére teszi, a VIH a 12 év alatt átlagosan 209 nap volt. A VI kezdete e módszer szerint egyre később köszönt be az NEE módszer szerint pedig egyre hamarabb (**10.b.** és **10.c. ábrák**). Az 5Dave és a TGS módszerek szerint a vegetációs időszak hossza növekvő tendenciát mutat a 82 méteres adatok alapján.

3.3. A gyepre vonatkozó eredmények összehasonlítása

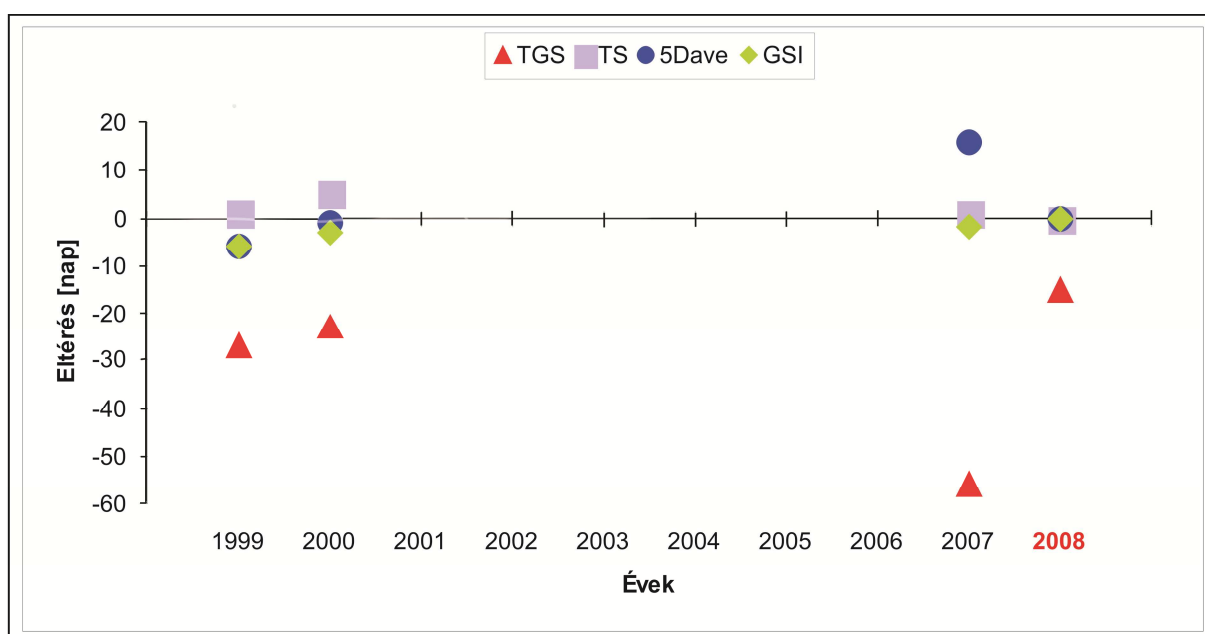
A közvetett módszerek a tenyésztési időszak hosszára vonatkozó eredményeinek összehasonlításával képet kaphatunk arról, mely módszer alkalmazásakor számíthatunk a legnagyobb hatékonyságra, prediktivitásra. A gyepre vonatkozó eredmények összehasonlítását segíti a **2. táblázat**, amely a rendelkezésünkre álló adatsorokból kapott átlagolt értékeket foglalja magában.

A **2. táblázat** alapján elmondható, hogy a TGS módszer általában torz eredményeket produkált – ezt a módszer saját, fix hőmérsékleti küszöbének tudhatjuk be. A többi módszer meglepő pontossággal képes meghatározni a VI kezdetét, különösen a GSI és a TS módszer. Az 5Dave a VI utolsó napját illetően pontatlanabb. A GSI a VIH-t átlagosan 4 nappal érzékeli rövidebbnek, mint az NEE módszer, de az 5Dave is kéthetes pontossággal képes dolgozni. Azonban még mielőtt részletesebben megvizsgálánánk a módszerek hatékonyságát, kijelenthetjük, hogy a TGS szolgáltatja a legrosszabb becslést (az átlagos eltérés 42 nap).

	NEE (3m)	GSI	TS	5Dave	TGS
VI kezdete: (az év napja)	78	78	78	82	50
VI vége: (az év napja)	305	301	-	296	319
VI hossza: (nap)	227	223	-	214	269

2. táblázat. Az alkalmazott módszerek gyep felett kapott átlagos eredményeinek összehasonlítása

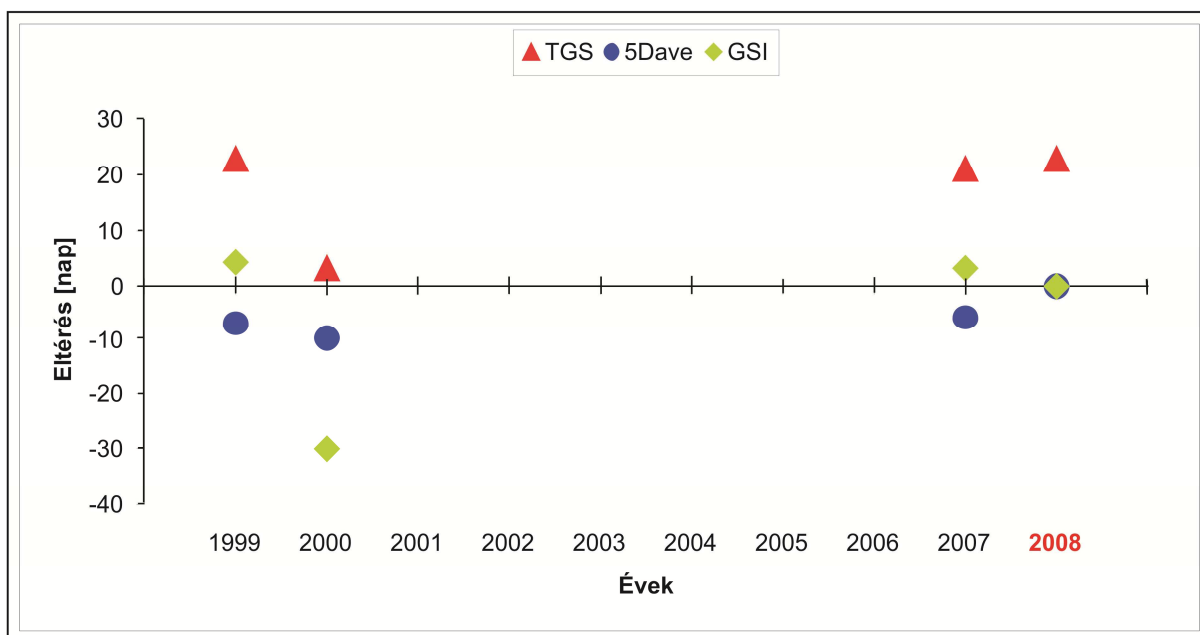
A következő ábrák mutatják be a közvetlen módszerek eltéréseit a referenciamódszertől az adott évben. A **11. ábra** a 3 méterre kalibrált módszerek VI kezdetére vonatkozó eredményeit ábrázolja. A függőleges tengely a referenciamódszer eredményeitől való eltéréseket szemlélteti. A nulla érték az adott évre vonatkozó NEE módszerrel kapott eredmény. A pozitív értékek a későbbre, a negatívak az előbbre tolódást jelentik a **11.** és a **12. ábrán**. Minél kisebb az eltérés abszolút értéke, annál közelebb van az adott módszerrel kapott eredmény az NEE-éhez. A gyepszint felett adathiány miatt csak négy évet tudunk megvizsgálni. A négy évből egy a referenciaév (2008), ezért lényegében csak három évet tudunk összehasonlítani ily módon, ebben a magasságban. Mindezért az alábbi következtetéseket nagyobb fenntartással kell kezelni, mint 82 méter esetén, ahol 11 év adatsora állt rendelkezésünkre.



11. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI kezdetére, gyepre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hamarabb kezdődik az adott módszer szerint.

A **11. ábra** bemutatja, hogy a VI kezdetét illetően a TGS módszer produkálja a legnagyobb eltéréseket. A négy általunk vizsgált évben az 5Dave pontossága kissé változó (az eltérések szórása 11,5 nap). A GSI és a TS viszont sokkal megbízhatóbban adta az NEE módszerhez közeli eredményeket (szórásuk 2,1 és 2,3 nap). Az eltérések átlaga és szórása alapján a TS adja a legjobb becslést a VI kezdetére (az átlagos eltérés és a szórás 2,3 nap), de az 5Dave és a GSI módszerben is megbízhatunk (átlagos eltérés 3, illetve -3,7 nap).

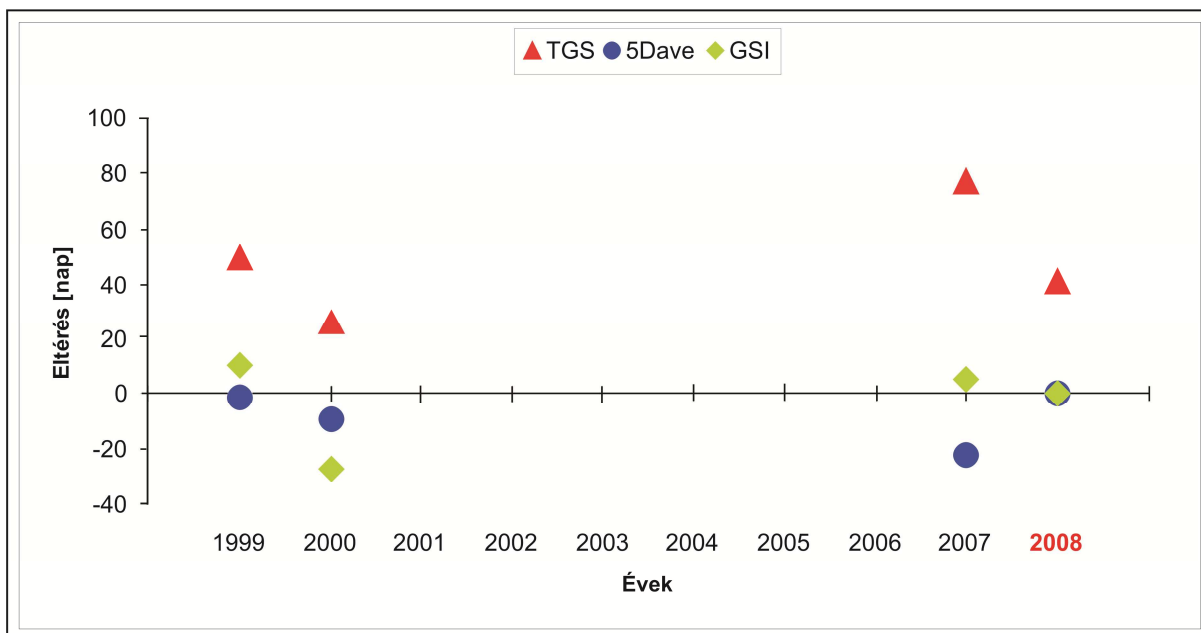
A VI utolsó napját vizsgálva (**12. ábra**) szembevetve a 2000-es év eltérése. Ebben az évben a GSI módszer a vártnál nagyobb különbséget mutat. A többi évben a TGS módszerrel kaptuk a legnagyobb eltéréseket. Ezért – és a módszerek tulajdonságainak ismeretében – elmondhatjuk, hogy nagy valószínűséggel a TGS módszer alkalmazásakor számolhatunk a legnagyobb eltolódással, vagyis a legrosszabb eredményekkel a VI végére vonatkozóan. Az átlagos eltérés az 5Dave és a GSI módszernél egyaránt -6 nap. A három, illetve – TGS módszer esetén – négy év alapján az eltérések szórása a VI végére vonatkozóan az 5Dave módszernél a legkisebb (2,1 nap). Ezek alapján elmondható, hogy a gyepszint felett a VI végére a legjobb becslést az 5Dave adja.



12. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI végére, gyepre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hamarabb fejeződik be az adott módszer szerint.

Az **13. ábrán** a módszerek VIH becsléseinek NEE módszertől való eltéréseit ábrázoltuk. A TGS szerint a vegetációs időszak átlagosan 48 nappal hosszabb, mint a tényleges. Ez, és az idáig kapott eredmények is arra engednek következtetni, hogy a TGS a legpontatlanabb módszer a 3 méteres magasságban. A GSI 3, az 5Dave 8 nappal rövidíti meg (átlagosan) a VI hosszát.

A legkisebb szórással az 5Dave módszer rendelkezik a VIH esetén (10,6 nap). A GSI módszeré 20,1 nap. Ha tehát az átlagolt eredményeket nézzük a GSI a legpontosabb, de a legmegbízhatóbb módszernek az 5Dave tűnik.



13. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI hosszára, gyepre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hossza csökkenést mutat az adott módszer szerint.

Az általunk vizsgált módszerekkel kapott eredmények elemzését követően elmondható, hogy 3 méteren a vegetációs időszak kezdetét tulajdonképpen a TGS kivételével a módszerek nagyon pontosan leírják. A VI végére az 5Dave adja a legjobb becslést, a legpontatlanabb módszer ez esetben is a TGS. Elmondható, hogy a vegetációs időszak hosszát a 3 méterről származtatott adatok alapján az 5Dave módszer képes a legbizhatóbban meghatározni.

3.4. A mezőgazdasági területre vonatkozó eredmények összehasonlítása

A 82 méteres mérések esetén is mindegyik módszerrel, mindegyik rendelkezésünkre álló éves adatsor alapján megállapítottuk a vegetációs időszak kezdetét, végét és hosszát, majd az eredményeket több évre átlagoltuk. A **3. táblázat** az így kapott értékeket mutatja be. Mivel az NEE módszert tekintjük referenciamódszernek, ennek segítségével vizsgáltuk meg a többi módszer hatékonyságát.

Ha a **2. és 3. táblázat** NEE módszerre vonatkozó adatait összevetjük, a magasabban végzett mérések esetén a vegetációs időszak valóban rövidebbnek bizonyult, mint a 3 méteres magasságban. (Ezt feltételeztük az NEE módszer jellemzőinek ismeretében is.) 82 méteren átlagosan közel két héttel (13 nappal) későbbre tehető a VI kezdete.

	NEE (82m)	GSI	TS	5Dave	TGS
VI kezdete: (az év napja)	91	78	89	84	50
VI vége: (az év napja)	290	296	-	293	319
VI hossza: (nap)	199	218	-	209	269

3. táblázat. Az alkalmazott módszerek mezőgazdasági terület felett kapott átlagos eredményeinek összehasonlítása

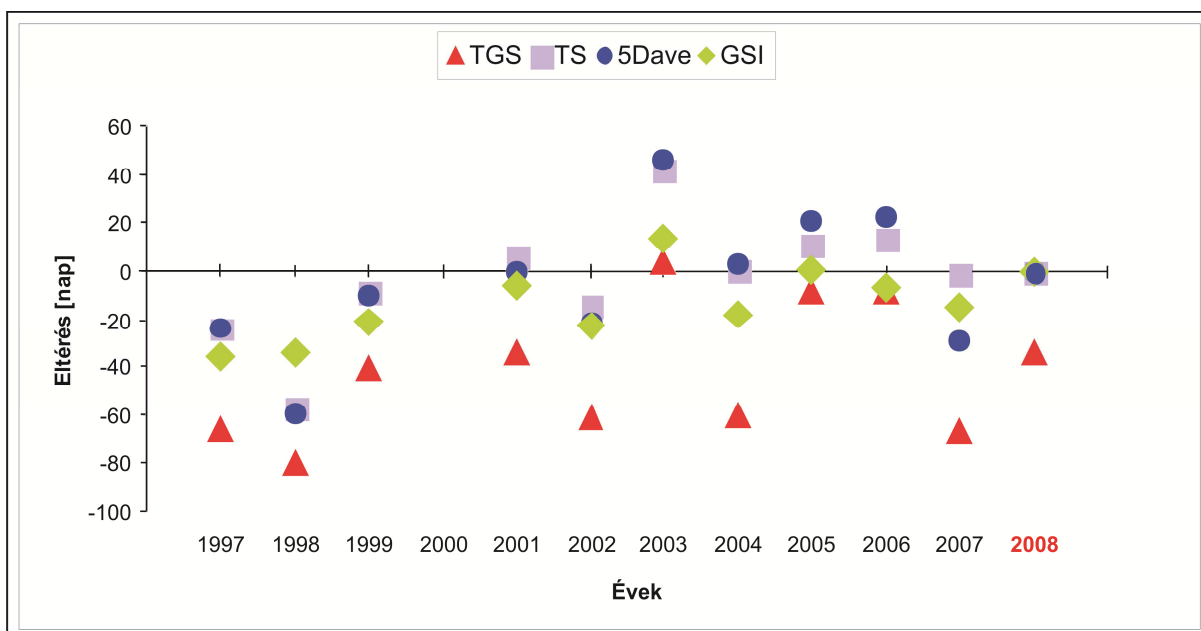
A TGS módszertől a fix küszöb miatt azt vártuk, hogy a vegetációs időszak hosszabb lesz a többi módszer eredményeihez képest. Ezt a felvetést az eredmények szintén alátámasztották. A TGS módszer a VI kezdetét átlagosan 41 nappal korábbra teszi, mint az NEE módszer, a végét pedig 29 nappal későbbre. A VIH így több mint két hónappal (70 nappal) hosszabb. Elmondható tehát, hogy ez a módszer mutatja a legnagyobb eltérést a referenciamódszerhez képest.

Ha az NEE módszerrel a 82 méteren, évről-évre kapott eredményeket összevetjük a többi módszer eredményeivel, megvizsgálhatjuk, hogy az egyes módszerek mekkora eltéréssel dolgoznak. (2000-ben nem volt mérés Hegyhátsálon ebben a magasságban.)

Összességében elmondható, hogy az alábbi ábrák fogják szemléltetni, hogy az általunk alkalmazott közvetett módszerek mennyire adnak hasonló képet a VI-t (kezdetét, végét és hosszát) illetően, valamint az, hogy az eredmények milyen mértékben hasonlítanak az NEE módszeréhez a 82 méteres magasságban mért adatokat vizsgálva. Megtudhatjuk tehát, milyen becslést várhatunk, ha ezekkel a módszerekkel dolgozunk.

A **14. ábra** a VI kezdetére vonatkozó eredményeket hasonlítja össze. Ezeken az ábrákon is a függőleges tengelyen az NEE módszer eredményeitől való eltérések szerepelnek az adott évre. Ez esetben a negatív értékek azt jelentik, hogy a vegetációs időszak előbb kezdődött az NEE módszerhez képest, míg a pozitív értékek a VI kezdetének későbbre tolódását szemléltetik. Minél kisebb az eltérés abszolút értéke, annál közelebb van az adott módszer eredménye a referenciamódszeréhez. Látható, hogy a TGS módszer majdnem minden évben (a 2003. évet kivéve) a vegetációs időszak kezdetét hamarabbra teszi, mint a referenciamódszerünk. A legnagyobb kiugrásokat is a TGS módszer produkálja (az átlagos eltérése -41,4 nap, szórása 28,1 nap). A TGS kivételével a módszerek az utóbbi években

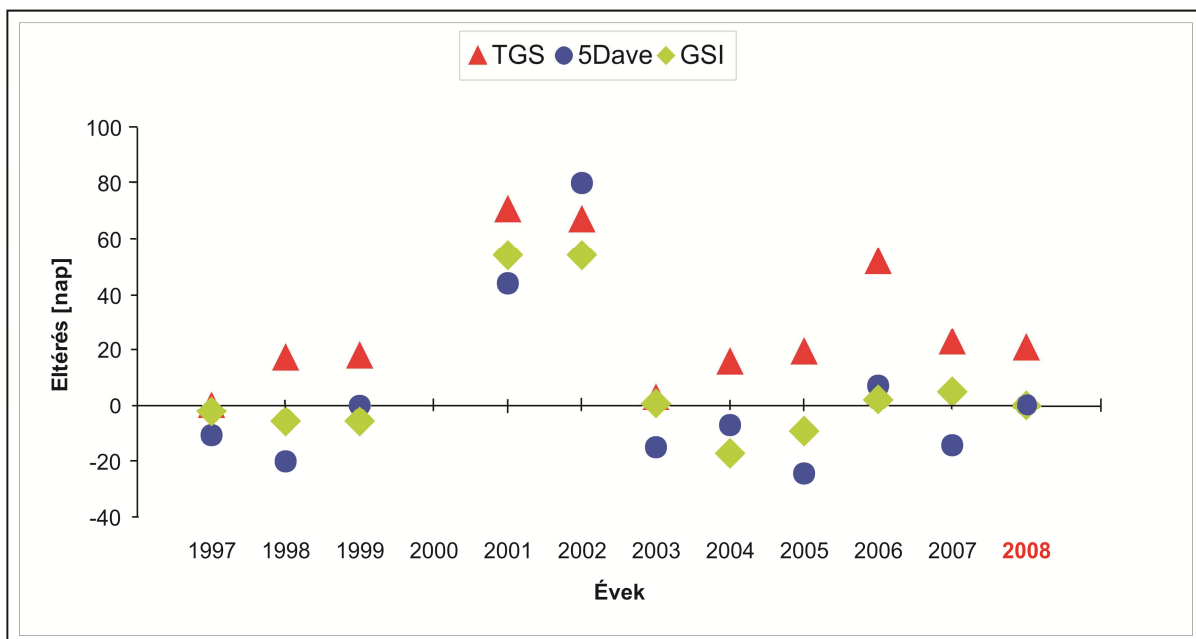
egyre jobban együtt mozognak az NEE eredményeivel. A GSI módszer átlagosan két héttel korábbi napra teszi a VI kezdetét (szórása: 15,5 nap). A TS módszer átlagos eltérése a legkisebb (-3 nap), ebben a módszerben bízhatunk meg leginkább (a szórás: 26,1 nap). Az 5Dave is jó módszernek nevezhető, átlagosan csupán 5 nappal teszi korábbra a VI első napját (szórása 30,3 nap).



14. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI kezdetére, mezőgazdasági területre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hamarabb kezdődik az adott módszer szerint.

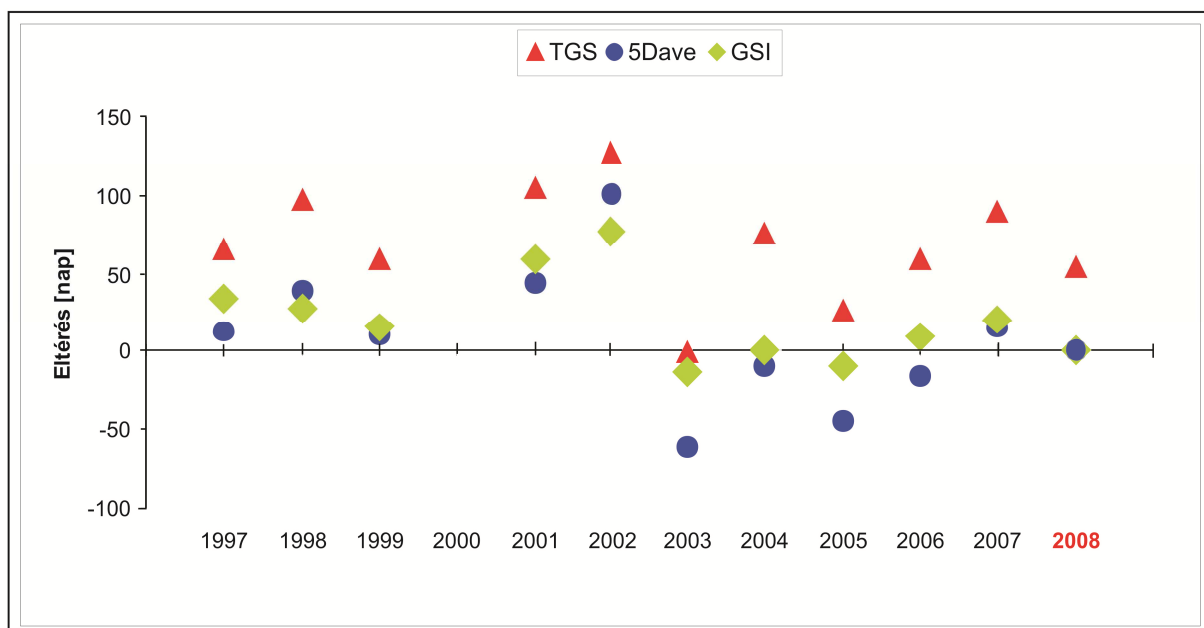
A **15. ábra** a vegetációs időszak végeire vonatkozó eredményeket ábrázolja. Ha az érték pozitív, a VI vége későbbre tolódik, ha negatív, előbbre. Ebben az esetben is elmondható, hogy összességében a TGS módszer használatakor találkozhatunk a legnagyobb eltérésekkel (átlag: 28 nap, szórás: 24,2 nap), ez szolgál a legpontatlanabb becsléssel a VI utolsó napját illetően. A TGS eredményei szerint a vegetációs időszak vége az NEE módszerénél később köszönt be (az 1997. évet kivéve).

A GSI módszer az esetek többségében elég közel mozog az NEE módszer eredményeihez (az átlag 7,6 nap, a szórás 25,2 nap). Az eltérések maximuma mindhárom módszernél a 2001. és 2002. években jelentkeztek. A legjobb becslést a VI végére az 5Dave módszer adja, az NEE eredményeitől vett átlagos eltérése 4 nap.



15. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI végére, mezőgazdasági területre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hamarabb fejeződik be az adott módszer szerint.

A **16. ábrán** a VI hosszára kapott eredményeket vetettük össze. A fentiekből kiderült, hogy a TGS teszi legkorábbra a VI kezdetét, a végét pedig a legkésőbbre, így nem meglepő, hogy az NEE módszerhez képest sokkal nagyobb értéket ad a VIH-ra (átlag: 70 nap; szórás: 36,2 nap).



16. ábra. A vizsgált módszerek eredményeinek NEE módszertől való átlagos eltérései a VI hosszára, mezőgazdasági területre vonatkozóan. Az eltérés negatív, ha a VI hossza csökkenést mutat az adott módszer szerint.

Az átlagérték az 5Dave esetén csupán 9 nap, így ez lett a legmegbízhatóbb becslés a VI hosszának vizsgálatakor (a szórása 46,5 nap). A GSI módszer a VIH-t illetően sem ad akkora eltéréseket (átlag: 22,1 nap; szórás: 29 nap), mint a TGS.

A 2001, illetve 2002 években láthatjuk mindhárom módszer maximális (pozitív) eltéréseit a VIH-ra. A VI végére vonatkozó ábrán (**15. ábra**) ugyancsak észrevehető, hogy ez a két év kitűnik a többi közül. Ezek alapján elmondható, hogy a VI hosszának megugrása ezekben az években főleg a VI végének későbbre tolódásának köszönhető. E két évben feltehetően a kukorica késő őszi aratásának hatásai jelentkezhetnek, de további vizsgálatokra van szükség ahhoz, hogy jobban megértsük a jelenséget.

Miután a módszerek tulajdonságait és eredményeit megvizsgáltuk, elmondható, hogy a vegyes mezőgazdaságú terület felett a VI kezdetére a legjobb becsléssel a TS módszer szolgál. A VI végét és hosszát az 5Dave módszer írja le a legpontosabban. Tehát, ha egyetlen módszerrel szeretnénk megvizsgálni a VI alakulását egy hasonló, mezőgazdasági művelés alatt álló terület felett, célszerű az 5Dave-t használni. Érdekességképp megemlítenénk, hogy ha a szélsőséges értékeket eredményező éveket (2001, 2002) az átlag- és szórásvizsgálatkor kiszűrjük, a VI végét és hosszát illetően a GSI egyértelműen pontosabb, megbízhatóbb becsléssel szolgál, az 5Dave viszont a VI végére vonatkozóan rosszabb módszernek bizonyul.

Ha összevetjük a módszerek 3 és 82 méteres magasságban mért értékekkel kapott eredményeit a VI első napjára vonatkozóan, elmondható, hogy a TGS-en kívül valamennyi általunk vizsgált módszerrel a referenciamódszerhez hasonló eredményeket kapunk, de legpontosabban a TS módszerrel dolgozhatunk. A VI végéről az 5Dave szolgáltatja a legmegbízhatóbb eredményeket. Ha a vegetációs időszak hosszát szeretnénk minél pontosabban meghatározni, a legszerencsésebb, ha az 5Dave módszert választjuk, mind gyeper, mind mezőgazdasági terület esetén.

3.5. A hegyhátsáli és a bugacpusztai eredmények összehasonlítása

Munkánk célja volt az is, hogy miután Hegyhátsálon számszerűsítettük a vegetációs ciklus alakulását és meghatároztuk a legjobb, közvetett módszereken alapuló becsléseket, összehasonlítsuk az eredményeket az ország egy másik részéről származó adatokkal. Ahhoz, hogy meg tudjuk vizsgálni az NEE módszerrel kapott eredményeinket is, illetve értékelni tudjuk a közvetett módszerek pontosságát, az összehasonlítás alapjaként egy olyan mérőhelyet választottunk, ahol szintén évek óta zajlik eddy-kovariancia mérés. E célból a Hegyhátsálla kalibrált módszereket az alföldi fekvésű Bugacpuszta adatsoraira alkalmaztuk.

Bugacpusztán száraz kontinentális éghajlat uralkodik. A meteorológiai állomás egy homokos legelőn található (Pintér et al., 2007). Az NEE-t a legeltetett gyep fölött, 4 méteres magasságban mérik, ezért a továbbiakban kizárólag a hegyhátsáli, gyepszint fölött kapott küszöbökkel fogjuk megvizsgálni a módszerek eredményeit és azok pontosságát. Bugacról a 2003 és 2008 közötti évekből fél óránként mért fluxusadatok és egyéb meteorológiai idősorok álltak rendelkezésünkre.

3.5.1. NEE

Első lépésben természetesen itt is az NEE módszerrel kezdtük a vizsgálatot. A VIH alakulásának közvetlen becsléséhez a hegyhátsálra meghatározott küszöbértéket ($-0,3 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) alkalmaztuk (lásd 2.1. fejezet). A kapott eredmények szerint a vegetációs időszakok egyértelműen (átlagosan 29,2 nappal) rövidebbnek bizonyultak Bugacon, mint Hegyhátsálon (**4. táblázat**). Itt a VI kezdete átlagosan 8 nappal későbbre, vége pedig 21 nappal korábbra tehető. E különbségek valószínűleg a talaj rosszabb minőségének tudhatók be. A homokos talaj ugyanis rosszabb vízgazdálkodási tulajdonságokkal rendelkezik, ezért gyakran kedvezőtlenebb körülményeket szolgál a növényzet számára.

	Bugacpuszta	Hegyhátsál
VI kezdete: (az év napja)	86	78
VI vége: (az év napja)	284	305
VI hossza: (nap)	198	227

4. táblázat. A hegyhátsáli és a bugacpusztai, NEE módszerrel kapott átlagos eredmények összehasonlítása

A közvetett módszerek használatakor ez esetben nem a bugaci NEE eredményekkel kalibráltuk azokat. Célunk az volt, hogy a hegyhátsáli adatok alapján gyepre kifejlesztett módszereket egy másik mérőhelyre alkalmazzunk változtatás nélkül, és ellenőrizzük a módszerek pontosságát. Mivel definíció szerint az NEE módszer áll közvetlen kapcsolatban a vegetációs időszakkal, természetesen ezt tekintjük továbbra is referenciamódszernek a közvetett módszerek összehasonlításakor.

	NEE (Bugac)	GSI	TS	5Dave	TGS
VI kezdete: (az év napja)	86	91	83	82	93
VI vége: (az év napja)	284	299	-	289	305
VI hossza: (nap)	198	208	-	207	212

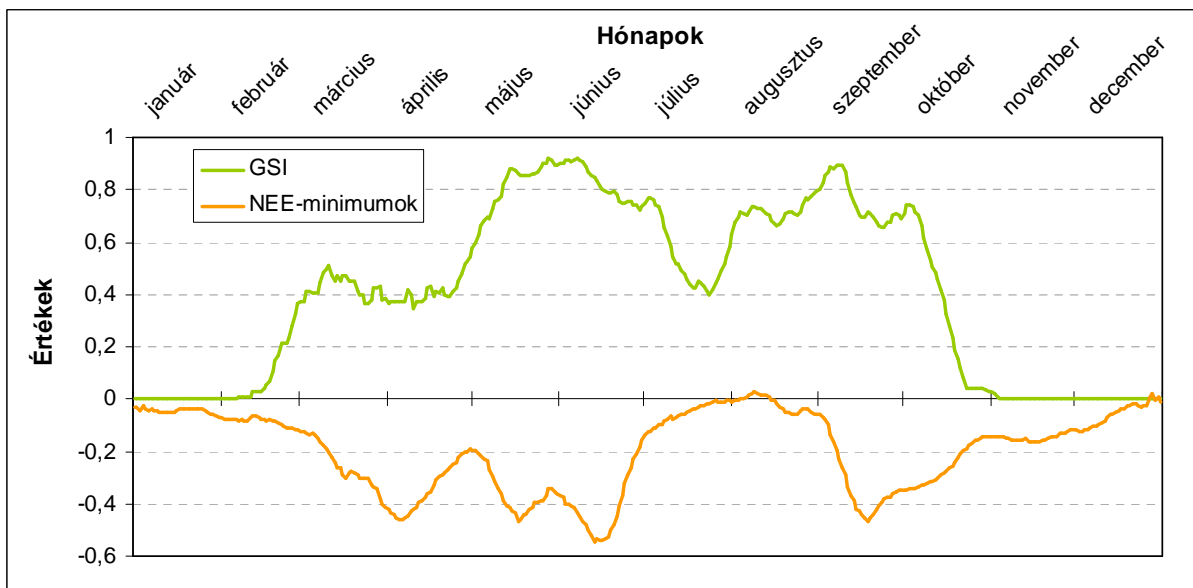
5. táblázat. Az alkalmazott módszerek Bugacpusztára kapott átlagos eredményeinek összehasonlítása

Ahogy az az **5. táblázatban** is látszik a VI az NEE módszer szerint Bugacon átlagosan a 86. napon köszönt be (szórás: 7,8 nap). A VI vége a 284. napra tehető (a szórás 15,1 nap), vagyis a VIH átlagosan 198 nap (a szórás 24,8 nap).

3.5.2. GSI

A módszer Hegyhátsálra megállapított belépő küszöbértéke 0,5; kilépő küszöbértéke pedig 0,07 (lásd 2.2. fejezet). A bugaci, NEE módszerrel kapott eredményekhez képest itt a GSI módszer a VI kezdetét átlagosan 5 nappal (szórás: 19,7 nap), a VI végét pedig 15 nappal teszi későbbre (szórás: 2,2 nap). A vegetációs periódus ezzel a módszerrel átlagosan 10 nappal hosszabb az NEE módszerrel becsült értékhez képest (a szórás 21,4 nap). A hegyhátsáli eredmények összehasonlítása után pedig ugyanarra a következtetésre juthatunk, mint az előbb bemutatott NEE módszernél: a VI a GSI módszerrel is rövidebbnek bizonyult Bugacon (átlagosan 15 nappal). Mindemellett elmondható, hogy az itteni vizsgálat során sokkal jobb eredményekkel szolgált a módszer, mint Hegyhátsál esetén (**2. és 5. táblázat**).

Mivel a GSI módszer alkalmazásakor a növényzet fejlődéséhez szükséges körülményeket három meteorológiai állapototározó segítségével számszerűsítjük, a GSI-értékek az NEE-minimumokkal jobban együtt mozognak, mint a többi módszer esetén az átlaghőmérsékleti görbék (**17. ábra**). Érdekességképpen megjegyezzük, hogy a GSI index júliusi csökkenése egybeesik a gyepek kiszáradásával, ami a nulla körüli NEE-minimumokkal jellemezhető.

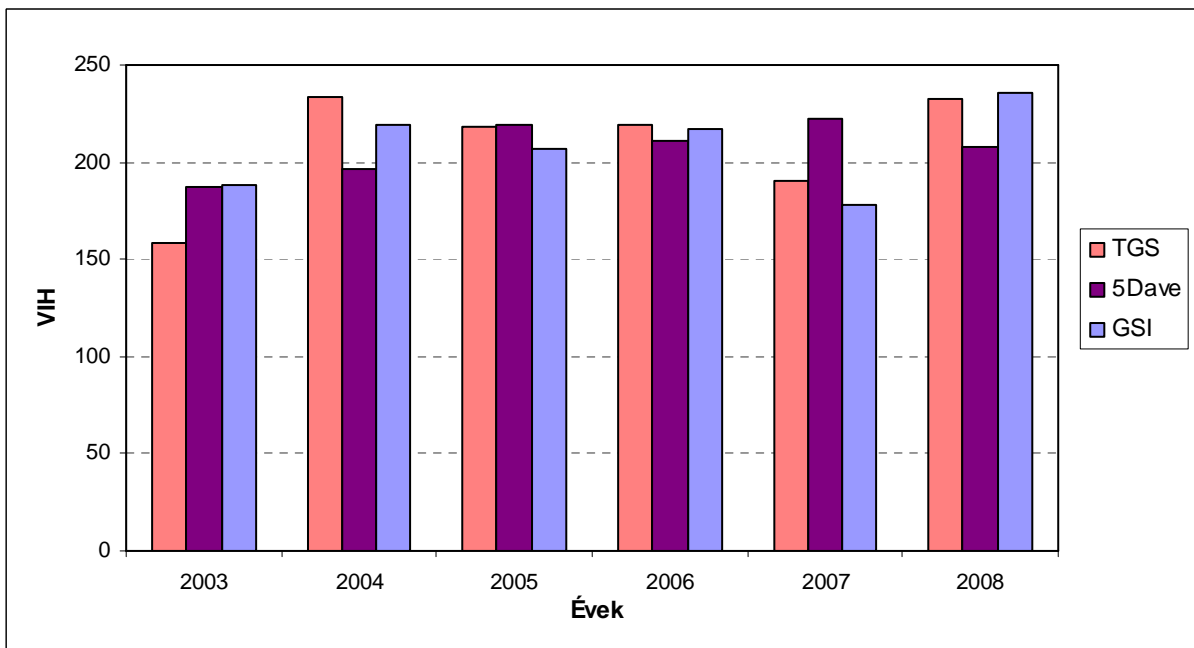


17. ábra. A GSI-értékek és az NEE-minimumok (mgCO₂/m²/s) alakulása Bugacpusztán (2007)

3.5.3. TS, 5Dave, TGS

Vegetációs időszakról gyepre vonatkozóan az 56 °C-os effektív hőmérsékleti összeg tavaszi elérése után beszélünk TS módszer esetén (lásd 2.3. fejezet). Ahogy korábban bemutattuk, Hegyhátsálon ez bizonyult a legjobb módszernek a VI kezdetének megállapítására. Ez Bugacon sincs másképp. A VI első napját átlagosan csupán 3 nappal teszi korábbra (a 83. napra) a TS módszer, mint az NEE módszer, ami pedig a legjobb eredménynek számít (szórása 14,5 nap).

A VI hosszát legpontosabban becslő és egyben a legjobb hegyhátsáli módszer az 5Dave. A számított belépő küszöb 4 °C, a kilépő 8 °C. A VI az 5Dave módszer szerint átlagosan a 82. napon kezdődik (a referenciához képest átlagosan 4 nappal hamarabb; a szórás 13,4 nap) és a 289. napon fejeződik be (a referenciához képest átlagosan 6 nappal később; a szórás 7,4 nap) Bugacpusztán. A VI átlagos hossza 207 nap (szórás: 13,5 nap), vagyis 9 nappal hosszabb tenyészidőszakkal számolhatunk ezzel a közvetett módszerrel, mint az NEE-vel. Bugac esetében tehát a VI elejét nem az 5Dave közelíti meg a leginkább, de elfogadható becslést ad arra is. Mindemellett a VI végére és hosszára ez a módszer szolgál a legpontosabb eredményekkel (lásd 2.4. fejezet). Az 5Dave módszerrel Bugacpusztán általában egy héttel rövidebb a tenyészidőszak, mint Hegyhátsálon.



18. ábra. A közvetett módszerekkel kapott átlagos VIH-k alakulása
(Bugacpuszta, 2003-2008)

A TGS módszer bizonyult a legkevésbé pontos módszernek a hegyhátsági VI meghatározásakor, és ugyanez mondható el a bugaci eredményeket látva. A VI kezdetét 7 nappal, a végét pedig 21 nappal teszi későbbre (a szórásuk 14,7; illetve 18,8 nap). Ennek megfelelően a VIH a TGS szerint 14 nappal hosszabb, mint a referenciamódszer szerint (a szórása 17,8 nap).

Összességében elmondható, hogy a Hegyhátsági adatok alapján kalibrált közvetett módszerek a VIH-t jól becsülik Bugacpuszta esetén is. Az erre vonatkozó eredményeket a **18. ábra** szemlélteti. A módszerek hatékonyságát illetően Hegyhátsálon a módszerek eredményei közt nagyobb különbségek mutatkoznak. A bugaci VI kezdetére a legjobb becsléssel a TS módszer szolgál, de ennél az 5Dave is csupán 1 nappal pontatlanabb. A VI végét és hosszát Bugacon is az 5Dave módszer írja le a legpontosabban. Mindezek alátámasztották, hogy a legjobb módszer Hegyhátsálon és Bugacpusztán egyaránt az 5Dave. Tehát ha egyetlen módszerrel szeretnénk meghatározni a vegetációs időszak hosszát gyepek esetén, a legjobb eredményeket az 5Dave használatával kaphatjuk. Mivel az utóbbi vizsgálat során a közvetett módszerek küszöbértékeit nem a bugaci NEE módszer eredményeivel kalibráltuk, elmondható, hogy az általunk vizsgált és módosított módszerek megállják a helyüket olyan földrajzi területen is, ahol csak az alapvető meteorológiai paraméterek állnak rendelkezésünkre.

4. Összefoglalás

Munkánk célja a vegetációs időszak hosszának becslése volt közvetlen szén-dioxid fluxusmérések, illetve közvetett meteorológiai állapothatározók segítségével. A VIH-val kapcsolatos vizsgálatainkat a Hegyhátsálon zajló, közvetlen bioszféra/légkör szén-dioxid kicserélődés mérések alapján végeztük. A mérőtornyon a 3 méter magasságban történő mérés egy gyepel borított terület, míg a 82 méteren működő műszeregyüttes egy vegyes mezőgazdasági terület szén-dioxid kicserélődését méri.

Az adatokat többféle módszerrel dolgoztuk fel, hogy megtaláljuk a legmegbízhatóbb becsléssel szolgáló közvetett módszert a hegyhátsági térségre vonatkozóan. A pontosabb eredmények érdekében figyelembe kellett vennünk a térség meteorológiai tulajdonságait, illetve a mérőtorny speciális környezetének a közvetlen módszerre gyakorolt hatásait. Mindezek ismeretében pedig módosítanunk kellett a módszerek kritériumait ahhoz, hogy minél megbízhatóbb becslést kapjunk e térségben.

A mezőgazdasági területre vonatkozó mérések esetén az eredményekben a különböző növényfajták által okozott zaj tette izgalmassá és egyben nehezítette a növényzet működésének megismerését, a vegetációs időszak hosszának meghatározását. A gyepre vonatkozó mérésekből kapott eredmények vizsgálatakor az esetenként előforduló téli fotoszintézis okozott bonyodalmat.

A közvetlen, szén-dioxid fluxus méréseken alapuló módszert vetettük össze a többi, hőmérsékleten és egyéb paraméteren alapuló módszerrel, hogy megállapítsuk, melyik adja a legjobb becslést a Hegyhátsálat körülvevő növényzet vegetációs időszakának hosszáról.

A 3 méteres magasságban mért adatok feldolgozása után elmondható, hogy a VI kezdetére vonatkozóan a TGS módszer kivételével az összes közvetett módszerben megbízhatunk. A 82 méteres adatok esetén a legjobb módszernek a TS bizonyult. A VI végét – a gyep és a mezőgazdasági területek esetén is – legpontosabban az 5Dave módszer közelítette. Ugyanez mondható el a vegetációs időszak hosszát illetően. A legrosszabb módszer minden esetben a TGS volt, holott ez a legelterjedtebb a mezőgazdaságban.

Az összes módszer a vegetációs időszak hosszának növekedését jelzi mind a gyepre, mind a mezőgazdasági területekre. A növekvő tendencia főleg a VI végének későbbre tolódásának köszönhető. Megmutattuk, hogy az NEE módszerrel a gyepel borított, illetve a mezőgazdasági területről érkező adatok alapján kapott VIH-k évek közötti változását leíró trendvonalak hasonlóak, és a nagyobb VIH értékeket a 3 méteres adatok feldolgozása után kaptuk.

A hegyhátsáli adatok segítségével kalibrált közvetett módszereket változtatás nélkül alkalmaztuk a bugacpusztai homokos gyep felett működő mérőállomásra. Bugacpusztán is az 5Dave módszer bizonyult a legjobb becslést nyújtó módszernek, ami azt mutatja, hogy a vizsgálataink nem kizárólag a hegyhátsáli gyepre vonatkoztathatóak. A továbbiakban tervezzük több hazai állomás (például Mátra) hasonló jellegű vizsgálatát is.

Az eredmények rámutattak, hogy Magyarországon, mint ahogy Európa majdnem minden országában, a vegetációs szakasz terjedelmét illetően a pozitív trend dominál (Bartholy és Pongrácz, 2005). Ezek alapján arra következtethetünk, hogy valószínűleg párhuzam állítható fel a klímaváltozás és a VIH növekedése között. Természetesen hosszabb mérési idősor és további vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy ezt a feltételezést bizonyítsuk.

A jövőre vonatkozó terveim közt szerepel, hogy a Hegyhátsálon mért szén-dioxid koncentráció adatainak feldolgozásával, egy újabb módszer eredményeinek figyelembe vételével még pontosabb becslést adjak a térség vegetációs időszakának hosszára és annak alakulására.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, dr. Barcza Zoltánnak folyamatos biztatását, türelmét, közvetlenségét és jókedvét.

Köszönöm dr. Haszpra Lászlónak a rendelkezésünkre bocsátott adatokat és azt, hogy véleményeivel, hozzászólásaival segítette a munka fejlődését, haladását.

Köszönöm Pintér Krisztinának, hogy a bugacpusztai adatsorok biztosításával további vizsgálatok elvégzésére nyílt lehetőségem.

Köszönöm a Családomnak és Barátaimnak, hogy mellettem állnak, és hálás vagyok azért, hogy türelmükkel, vidámságukkal megkönnyítették a munkát, hogy ez a dolgozat elkészülhessen.

Irodalomjegyzék

Barcza, Z., Haszpra, L., Kondo, H., Saigusa, N., Yamamoto, S., Bartholy, J., 2003. Carbon exchange of grass in Hungary. *Tellus* 55B, 187-196.

Bartholy, J. és Pongrácz, R., 2005. Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. *AGRO-21 füzetek* 40, 70-93.

Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. J., Tarczay, K., 2005. Long-term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 58-77. doi:10.1016/j.agrformet.2005.07.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jolly, W. M., Nemani, R., Running, S. W., 2005. A generalized, bioclimatic index to predict foliar phenology in response to climate. *Global Change Biology* 11, 619-632.

Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar G, Nemani R. R., 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386, 698-702.

Pintér, K., Nagy, Z., Barcza, Z., Balogh, J., Czóbel, Sz., Fóti, Sz., Weidinger, T., Tuba, Z., 2007. Az ökoszisztéma-léptékű fotoszintetikus CO₂-asszimiláció és légzés sajátosságai mérsékelt övi gyepekben. *Magyar Tudomány* 2007/10, 1280-1287.

Solantie, R., 2004. Daytime temperature sum – a new thermal variable describing growing season characteristics and explaining evapotranspiration. *Boreal Environment Research* 9, 319-333.

Tanja, S., Berninger, F., Vesala, T., Markkanen, T., Hari, P., Mäkelä, A., Ilvesniemi, H., Hänninen, H., Nikinmaa, E., Huttula, T., Laurila, T., Aurela, M., Grelle, A., Lindroth, A., Arneth, A., Shibistova, O., Lloyd, J., 2003. Air temperature triggers the recovery of evergreen boreal forest photosynthesis in spring. *Global Change Biology* 9, 1410-1426.

Thum, T., Aalto, T., Laurila, T., Aurela, M., Hatakka, J., Lindroth, A., Vesala, T., 2009. Spring initiation and autumn cessation of boreal coniferous forest CO₂ exchange assessed by meteorological and biological variables. *Tellus* 61B, 701-717.

Tucker, C. J., Slayback, D. A., Pinzon, J. E., Los, S. O., Myneni, R. B., Taylor, M. G., 2001. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology* 45, 184-190.

Varga-Haszonits, Z. és Varga, Z., 2004. Az éghajlati változékonyság és a természetes periódusok. *AGRO-21 füzetek* 37, 23-32.