

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet

Konvektív instabilitási indexek statisztikai vizsgálata

Szakedolgozat



Készítette: Fischer Antal

Földtudomány alapszak, Meteorológia szakirány

Témavezető: Tuba Zoltán főhadnagy

MH 86. Szolnok Helikopter Bázis, meteorológiai csoport

Tanszéki konzulens: Dr. Gyuró György

ELTE Meteorológiai tanszék

OMSZ konzulens: Dombai Ferenc

Országos Meteorológiai Szolgálat Távérzékelési osztály

Budapest, 2010

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Felhasznált adatok és módszerek	5
2.1. Adatbázis létrehozása, adatszűrés	5
2.2. A vizsgált indexek bemutatása.....	8
2.2.2. <i>Lifted index (LI)</i>	9
2.2.3. <i>K-index (KI)</i>	10
2.2.4. <i>Thompson-index (TI)</i>	11
2.2.5. <i>A Miller-féle összegző indexek („Totals”)</i>	11
2.3. A vizsgálati módszer bemutatása.....	12
2.3.1. <i>Az esetek kontingencia-táblázat alapján történő besorolása</i>	12
2.3.2. <i>Skill Score-ok és alkalmazásai</i>	14
3. Eredmények	17
3.1. Az eredmények bemutatása a négy különböző esetre vonatkozóan	17
3.1.1. <i>Zivataros / nemzivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetében</i>	18
3.1.2. <i>A zivataros / nemzivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetében</i>	19
3.1.3. <i>Elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetére</i>	21
3.1.4. <i>Elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetére</i>	23
3.2. Az eredmények összehasonlítása a vizsgált terület nagysága szerint	24
3.2.1. <i>A zivataros / nem zivataros időszakok elkülönítésére kapott eredmények összehasonlítása</i>	25
3.2.2. <i>Az elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok elkülönítésére kapott eredmények összehasonlítása</i>	27
4. Összefoglalás	29
Köszönetnyilvánítás	30
Irodalomjegyzék	31
Függelék	34

1. Bevezetés

A légköri konvekció intenzitásának, azaz a hidrosztatikai labilitásnak a kialakulásához szükséges feltételek (megfelelő hőmérsékleti rétegződés, nedvességtartalom és feláramlás) meglétét a szinoptikus gyakorlatban leginkább az 1950-es évektől megalkotott különféle instabilitási indexek segítségével vizsgálják. Ezeket napjainkban is elterjedten használják az operatív zivatarprognosztikában, amit a konvektivitás alacsony előrejelezhetősége is indokoltá tesz (*Salvati and Berlusconi, 2009*).

Az indexek legfőbb előnye az egyszerűségük: értékeik egyetlen számban összegzik a konvektív környezet karakterisztikáját, segítségével könnyedén vizsgálható az alsó-troposzféra termikus instabilitása. A másik nagy előnyük, hogy a rádiószondákkal végzett magaslégköri mérésekből származó paramétereiből könnyedén kiszámíthatóak. Ezek a paraméterek az általunk vizsgálni kívánt indexek esetén a konvekcióban leggyakrabban érintett három főzobárszinten (850, 700 és 500 hPa) a hőmérséklet, a harmatpont, illetve a potenciális hőmérséklet értékek különböző algebrai összegei (Részletesen lásd **2.2.** fejezetet).

Minden egyes indexnek léteznek saját prognosztikai határértékei, amelyek meghatározzák, hogy az elkövetkezendő időszakban várható-e zivatar. Emellett egyes indexek a zivatarok bekövetkezésének valószínűségéről, valamint várható erősségéről is nyújtanak információt.

Mivel a zivartartevékenységgel járó jelenségek (heves csapadék, jégeső, villámlás, kifutószél, tornádó, stb.) mind a felszíni értékekre és az emberi életre, mind a repülésre is komoly veszélyt jelentenek, ezért használhatóságuk javítása, valamint a legmegfelelőbb index(ek) kiválasztása alapvető fontosságú a rövidtávú előrejelzésekben.

Annak ellenére, hogy ezek a paraméterek széles körben használtak, az egyes indexeknek hazánkban még nincsenek meghatározva a lokális klimatológiai viszonyokhoz adaptált előrejelzési határértékei, pedig használhatóságuk nagyban függ ettől. Napjainkban is az európai, illetve amerikai szakirodalomban elfogadott kritikus értékeket használják, amelyek közül azonban kevés egységes és általánosan elfogadott. Ennek egyik oka a már említett klimatológiai viszonyoktól való függés, a másik pedig az, hogy a zivatarklimatológiai kutatások pontosítása csak a villámlokalizációs rendszerek adatainak felhasználásával lehetséges a megfelelő mértékben.

Az elmúlt időszakban számos tanulmány és statisztikai vizsgálat született az indexek különböző európai régiókhoz, illetve országokhoz történő adaptálásáról, továbbfejlesztéséről. (*Jacovides and Yonetani, 1990; Huntrieser et al., 1997; Kunz, 2007; Dalla Fontana 2008; Salvati and Berlusconi, 2009*).

Munkánk célja elsősorban az volt, hogy az általunk kiválasztott indexeket bemutassuk, majd a közelmúlt európai szakirodalmában felhasznált kutatási módszereket felhasználva és alkalmazva a Magyarországon használt indexek határértékeit pontosítsuk, továbbá a lokális zivatarklimatológiai viszonyokat figyelembe véve kiválasszuk a legjobban használható index(ek)et.

2. Felhasznált adatok és módszerek

2.1. Adatbázis létrehozása, adatszűrés

Munkánk során hét, a konvektivitás előrejelzésére ma is világszerte használt indexet vizsgáltunk meg. Ezek a következők (zárójelben a továbbiakban használatos rövidítésüket tüntettük fel): Showalter-féle instabilitási index (SI), Lifted index (LI), K-index (KI), Thompson-index (TI), Cross Totals (CT), Vertical Totals (VT) és Total Totals (TT).

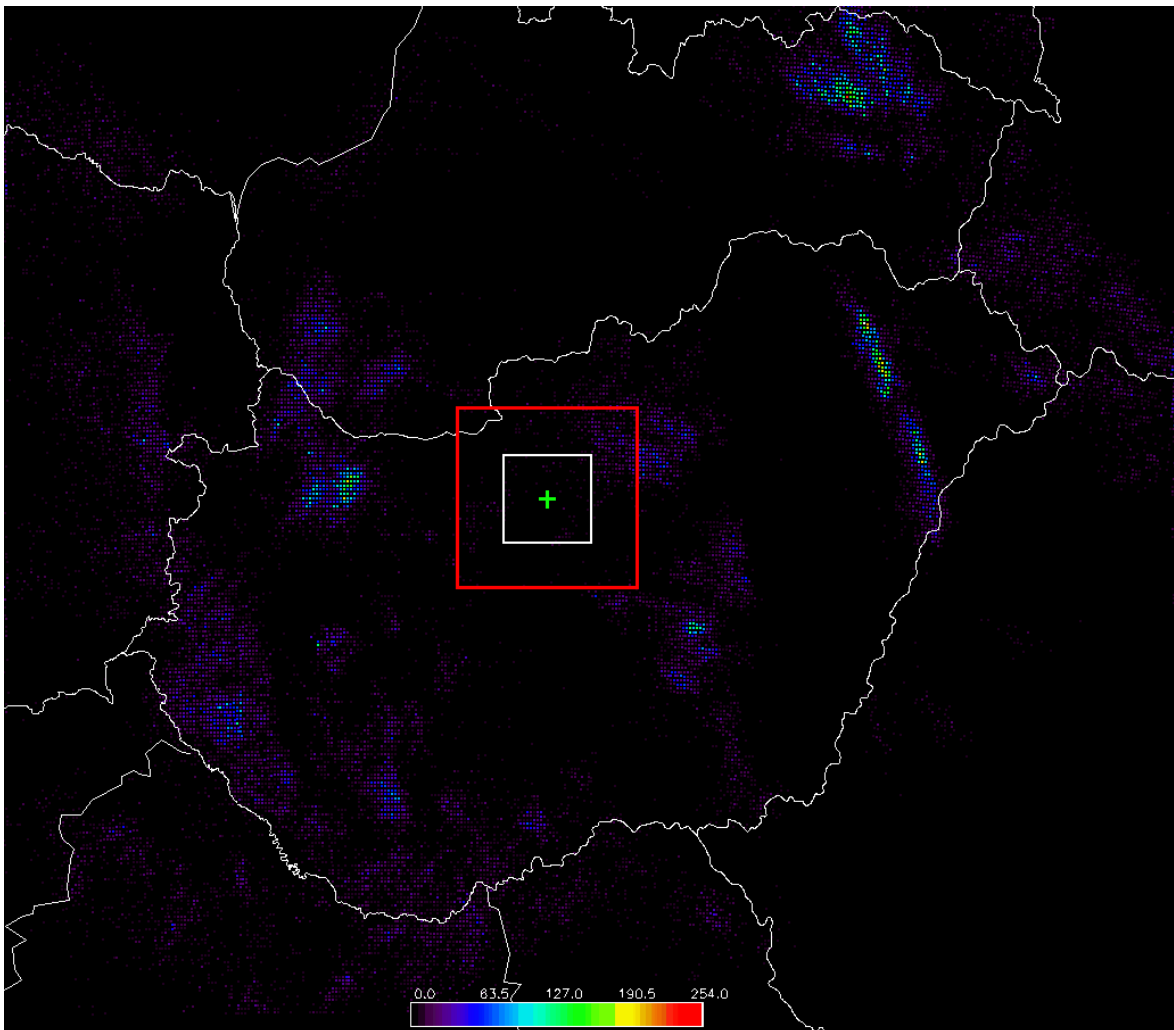
A szükséges adatokat a Budapest-Lőrinc állomáson naponta kétszer, 00 és 12 UTC-kor végzett rádiószondás felszállások szolgáltatták. Az egyes indexek értékei a magaslégköri mérések adatait tartalmazó text-fájlok végén szerepelnek felsorolásszerűen, ezért ahhoz, hogy az indexekkel dolgozni tudjunk, rendszereztük őket egy könnyen átlátható és egyszerűen kezelhető adatbázisba. Ennek első részében a felszállások időpontjai (év, hónap, nap, 00 illetve 12 UTC), a másodikban pedig az egyes indexek megfelelő értékei szerepelnek (**1. Táblázat**).

1. Táblázat. Az általunk létrehozott adatbázis részlete. A három elkülönített részben rendre az időszakok, a vizsgált indexek értékei, valamint a kétféle területre vonatkozó százalékos lefedettség szerepel

ÉV	HÓNAP	NAP	UTC	SI	LI	KI	TI	CT	VT	TT	LEFED [%]	
											50*50 km	100*100 km
2006	07	22	00	-1,89	-3,34	31,10	34,44	22,10	29,10	51,20	0,00	0,17
2006	07	22	12	8,96	8,61	25,10	16,49	10,80	18,80	29,60	18,12	18,97
2006	07	23	00	-2,94	-0,21	37,70	37,91	23,10	29,10	52,20	3,60	10,97
2006	07	23	12	1,67	-2,90	30,90	33,80	17,70	28,70	46,40	2,49	2,39
2006	07	24	00	2,15	-1,41	31,00	32,41	16,50	29,50	46,00	4,01	3,67
2006	07	24	12	-2,51	-2,37	33,70	36,07	23,10	28,10	51,20	31,95	38,73
2006	07	25	12	-1,17	-2,02	31,90	33,92	22,10	27,10	49,20	1,38	3,12
2006	07	26	00	-2,02	-2,84	35,30	38,14	22,90	27,50	50,40	0,00	0,03
2006	07	26	12	-0,40	-2,70	33,40	36,10	21,30	27,30	48,60	0,00	0,00
2006	07	27	00	-1,54	-0,90	35,40	36,30	22,30	27,30	49,60	0,00	0,00
2006	07	27	12	-0,14	-1,57	31,50	33,07	20,30	29,30	49,60	0,00	0,17

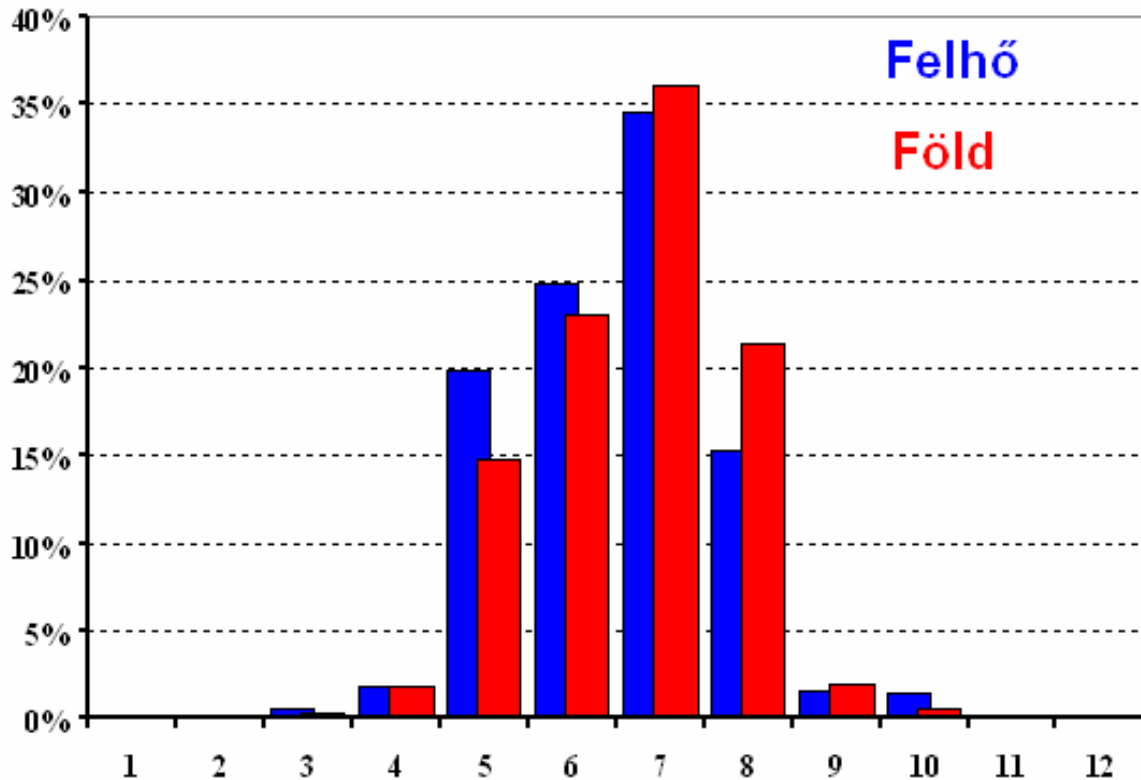
Annak megállapítására, hogy a felszállás helyének környezetében volt-e bármilyen villám- és ezzel együtt zivatartevékenység, a SAFIR villámlokalizációs rendszer adatait használtuk fel. Ezek az adatok a rendszer egész mérési tartományát lefedő 250 sorból és 400 oszlopból álló rácshálózat minden pontjában ismert 00-12 illetve 12-24 UTC-s időszakokra felösszegzett normált villámszámok, melyeket bináris fájlokban tárolnak. Ehhez egy saját, FORTRAN nyelven írt programot (Lásd **Függelék**) használtunk fel, amellyel beolvastattuk az adatokat, és azokból egy előre meghatározott területre

kiszámoltuk a villámtevékenység százalékos területi lefedettségét egy adott 12 órás időszakra. A futtatást Budapest-Lőrinc 50×50 és 100×100 km-es körzetére is elvégeztük. Az adatbázisunk harmadik részét a kétféle területi lefedettség adatok adják, úgy, hogy a 00 UTC-s mérésekből származó indexekhez a 00-12 UTC-s, míg a 12 UTC-s felszállások adatai mellé a 12-24 UTC-s időszak villámlokalizációs adatait rendeztük.



1. ábra Az általunk használt SAFIR adatok megjelenítése. A rendszer teljes mérési tartományán 2009. 06. 26-án 12 és 24 UTC között észlelt villámok térbeli elhelyezkedése és sűrűsége. A zöld kereszt Budapest-Lőrincet, a fehér négyzet az 50×50, a piros a 100×100 km-es vizsgált területet jelöli.

Munkánk során a 2005-2009 közötti időszak nyári hónapjait (június, július, augusztus) vizsgáltuk, mivel a SAFIR-adatok megbízhatóan és folytonosan csak 2005-től állnak rendelkezésre. A hónapok kiválasztását az indokolta, hogy Magyarországon a villám- és a zivatartevékenység döntő hányada nyáron fordul elő, amint azt az **1. ábra** is mutatja.



2. ábra. Az összes felhő- ill. föld villám eloszlása az egyes hónapok között az 1999, 2000, 2001, 2003 évek mérési adatai alapján (Wantuch, 2005)

A rendelkezésre álló adatok segítségével összesen 920 esetből (12 órás időszakból) álló adatbázist hoztunk létre. Ezek közel 5%-át adathiány miatt nem tudtuk feldolgozni (összesen 44 esetben nem álltak rendelkezésre rádioszondázási adatok). Emellett kiszűrtük azokat az eseteket is, amelyek nem az aktuális rétegzettségi viszonyokat, hanem a konvektivitást reprezentálják, vagy a relatív nedvesség-értékek nagytérségben felhőzetet, illetve szondázáskor éppen a helyszínen lévő felhőt jeleznek. Erre azért van szükség, mert „az instabilitási indexek csaknem kivétel nélkül olyan esetekben alkalmazhatóak, amikor a zivatar nem frontális vagy orografikus kényszerkonvekció során alakult ki” (Götz és Pápainé, 1964). Mivel annak eldöntése, hogy mely szondázások adatait ne vegyük figyelembe, nagyban függ a vizsgálat háttérétől és a felhasznált módszerektől (Brooks *et al.*, 1994), ezért a kizáró kritériumok meghatározása részben szubjektív megítélés alapján történt. Mi azokat az eseteket vetettük el, amelyeknél a 925 és 500 hPa közötti szintek nagy részében a relatív nedvesség-értékek meghaladták a 80%-ot, vagy a 850, 700 és 500 hPa-s szintek közül legalább kettőnél a relatív nedvesség nagyobb volt, mint 80%. Utóbbira azért volt szükség, mert a legtöbb indexet e három szinten mért paramétereiből származtatják. Ezek során összesen 163 mérést (az összes eset közel 13%-át) szűrtünk ki.

Végül összesen 757 olyan eset maradt, amivel a vizsgálatainkat elvégeztük

(2. Táblázat).

2. Táblázat. A meglévő és hiányzó adatok száma havi bontásban.

ÉV	HÓNAP	ADATHIÁNY			„JÓ” MÉRÉS	
		ÖSSZES MÉRÉS	MÉRÉS	FELHŐZET		
2005	06	60	0	8	82	
2005	07	62	1	12	49	
2005	08	62	1	18	43	
2006	06	60	7	6	47	
2006	07	62	2	5	55	
2006	08	62	2	11	49	
2007	06	60	4	2	54	
2007	07	62	4	2	56	
2007	08	62	0	13	49	
2008	06	60	13	10	37	
2008	07	62	7	9	46	
2008	08	62	0	3	59	
2009	06	60	2	9	49	
2009	07	62	0	2	60	
2009	08	62	1	9	52	
ÖSSZESEN [db]		920	44	119	163	757
ÖSSZESEN [%]		100	4,78	12,93	17,72	82,28

2.2. A vizsgált indexek bemutatása

A következőekben főként *Peppler* (1989) alapján részletesebben ismertetjük a fentiekben említett és általunk vizsgált hét instabilitási index legfontosabb tulajdonságait, kiszámításuk módját és az *eredetileg* használatos határértékeiket. (A napjainkban alkalmazott többféle osztályozást lásd a **Függelékben**)

2.2.1. Showalter-féle stabilitási index (SI)

A Showalter-féle instabilitási index a legelőször megalkotott labilitási index, amelyet az USA délnyugati területein előforduló zivatarok előrejelzésére fejlesztették ki. Az index a következő hőmérséklet-különbséggént definiálható (Showalter, 1953):

$$SI = t_{500} - t'_{500}$$

ahol t_{500} az 500 hPa-os főzobárszinten mért hőmérséklet, t'_{500} alatt pedig azt a hőmérsékletet értjük, amelyet a légrészecske felvesz, ha a 850 hPa-os főzobárszintről a kondenzációs szintjéig száraz, majd onnan az 500 hPa-os főzobárszintig nedves adiabata mentén emeljük.

A Showalter-index a 850 és 500 hPa-os főzobárszintek közti légréteg látens instabilitására ad becslést (Showalter, 1953; Galway, 1956): minél kisebb az index értéke, a labilitás mértéke annál nagyobb. Másképpen a zivatar valószínűsége és intenzitása az index értékének csökkenésével nő.

A Showalter által definiált eredeti határértékek a következők:

$SI \leq +3$	zápor, lehetséges zivatar
$SI \leq -3$	nagyobb / intenzívebb konvekció

2.2.2. Lifted index (LI)

A Showalter-index módosított változatát a lokális hevesebb zivatarok előrejelzésére, a látens instabilitás mutatójaként fejlesztették ki az USA-ban (Galway, 1956). Kiszámítási módja ugyanaz, mint az SI-indexé, azzal a különbséggel, hogy a légrészecskét nem a 850 hPa-os, hanem egy előre meghatározott szintről indítjuk. Azaz:

$$LI = t_{500} - t^*_{500}$$

ahol t_{500} az 500 hPa-os főzobárszinten mért hőmérséklet, t^*_{500} alatt pedig azt a hőmérsékletet értjük, amelyet a légrészecske felvesz, ha a várható napi maximumhőmérséklet értékétől a kondenzációs szintjéig száraz, majd onnan az 500 hPa-os főzobárszintig nedves adiabata mentén emeljük.

A Showalter-féle instabilitási indextől abban is különbözik, hogy míg előbbi ún. statikus-megfigyelt (adott értékekkel dolgozik), addig a Lifted egy előrejelzési index (előrejelzett paramétert is felhasznál a számításnál). A labilitás mértéke valamint a zivatar intenzitása és területi lefedettsége az index értékének *csökkenésével* nő.

Miller (1967) a heves zivatarok keletkezésének előrejelzéséhez a Lifted index -2 -es értékét használta korlátként. *David* és *Smith* (1971) a ≤ 0 értéket alkalmazta az USA keleti 2/3-án a zivatarok és tornádók előrejelzéséhez.

2.2.3. *K-index (KI)*

Az USA keleti feléről és Kanada déli részéről származó rádiószondázási adatok feldolgozásával kifejlesztett index képlete a következő (*George*, 1960):

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})$$

azaz a 850 és az 500 hPa-os főizobárszint közötti hőmérsékletkülönbségéhez hozzáadjuk a 850 hPa-os főizobárszint harmatpont-hőmérsékletét (ami az alacsonyszintű nedvesség direkt mérőszáma), végül ebből kivonjuk a 700 hPa-os főizobárszint harmatpont-deficitjét (ami a nedves réteg vertikális kiterjedésének indirekt mértékét adja meg).

Az első tag ($t_{850} - t_{500}$) az alsó troposzféra hőmérsékleti rétegződését, a második tag (t_{d850}) az alsó szintek nedvességviszonyait, a harmadik ($t_{700} - t_{d700}$) pedig a nedves réteg függőleges kiterjedését jellemzi (*Götz* és *Pápainé*, 1964). Az index értékeinek növekedésével együtt nő a zivatar kialakulásának valószínűsége és elterjedtségének mértéke.

Az eredeti határérték, amely felett az index értékével együtt nő a légtömegben belül kialakult zivatarok aktivitása, a $K \geq +20$ volt. *Hambidge* (1967) a K-index értékeit az USA nyugati felén vizsgálva azt tapasztalta, hogy a zivatar előfordulásának valószínűsége $+15 \leq K \leq +20$ értékek között kisebb, mint 20%, míg a $K > +40$ értékek esetén közel 100%-os valószínűséggel várható zivatar.

2.2.4. Thompson-index (TI)

A Thompson-index egy származtatott instabilitási paraméter, mely a K és a Lifted index különbségéből számolható ki (az egyes tagok jelentését lásd feljebb):

$$TI = KI - LI = t_{850} - 2t_{500} + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700}) - t^*_{500}$$

A Thompson-index „jól alkalmazható paraméter, mivel egyesíti az említett két index előnyös tulajdonságait, nevezetesen a K-index esetében a magasabb légrétegek labilitását és nedvességi viszonyait, valamint LI esetében a felszín közeléből induló konvekció erősségét” (<http://www.szupercella.hu>). A nagyobb indexértékek intenzívebb zivatar-tevékenységre utalnak.

2.2.5. A Miller-féle összegző indexek („Totals”)

A Miller-féle összegző indexek alatt a következő három indexet értjük, melyeket szintén az USA keleti felén előforduló zivatarok előrejelzésére fejlesztettek ki (Miller, 1967).

a) Cross Totals (CT)

$$CT = t_{d850} - t_{500}$$

ahol t_{d850} a 850 hPa-os főizobárszinten mért harmatpont, t_{500} pedig az 500 hPa-os főizobárszinten mért hőmérséklet.

b) Vertical Totals (VT)

$$VT = VT = t_{850} - t_{500}$$

azaz a 850 és 500 hPa-os főizobárszinten mért hőmérsékletek különbsége.

c) Total Totals (TT)

A Total Totals a légköri labilitás mérésére szolgáló paraméter, amelyet az előző két index, azaz a Cross Totals és a Vertical Totals összegéből származtatjuk (az egyes tagok jelentését lásd feljebb):

$$TT = VT + CT = t_{850} + t_{d850} - 2 t_{500}$$

A Total Totals index tartalmazza a 850 hPa-os és az 500 hPa-os szintek közötti hőmérséklet-különbséget, ami a légkör labilitását jellemzi, illetve a 850 hPa-os harmatpontot, amely az alsó szintek nedvességéről ad információt.

Mindhárom „Totals” esetén a nagyobb indexérték nagyobb intenzitású és nagyobb területi lefedettségű zivatarvevényekre utal. Az USA keleti felében az elszigetelt / néhány kevésbé heves zivatar esetén a $CT = +18$, $VT = +26$ és $TT = +44$ voltak az előrejelzési határértékek. Számos közepesen erős vagy néhány heves zivatar és tornádó előrejelzéséhez pedig a $CT = +30$, $VT = +30$ és $TT = +60$ határértékeket használták.

2.3. A vizsgálati módszer bemutatása

Az instabilitási indexek prognosztikai beválását többféle, ún. „Skill Score” segítségével vizsgáltuk. Ezeket széles körben használják a meteorológia több területén is előrejelzések verifikációjára és az előrejelzési paraméterek használhatóságának vizsgálatára. Az instabilitási indexek vizsgálata esetén is számos európai tanulmány során használták őket (*Jacovides and Yonetani, 1990; Lee and Passner, 1993; Huntrieser et al., 1997; Kunz, 2007; Fontana, 2008*).

2.3.1. Az esetek kontingencia-táblázat alapján történő besorolása

Jelölje a továbbiakban X azt az indexet, amelyet éppen vizsgálunk, X' pedig ennek az indexnek egy általunk megadott prognosztikai határértékét. X' -t minden olyan (egész) értéknek megválasztottunk, amely az adott indexnél az adatbázisban előfordult. A

megválasztást az SI, LI, CT, VT és TT indexeknél 1-es, a KI és TI indexnél 5-ös lépésenként végeztük el az előforduló értékek teljes spektrumán végighaladva.

Minden X' esetén besoroltuk az adatbázis összes elemét egy 2×2 -es kontingencia-táblázat kategóriájába, aszerint, hogy az eseményt előrejelezték-e (IGEN / NEM) és megfigyelték-e (IGEN / NEM). Ha az eseményt – esetünkben a zivatart – előrejelezték és az be is következett, vagy nem jelezték előre és nem is észleltek zivatart, akkor „Helyes előrejelzésről” beszélhetünk. Ha az eseményt nem jelezték előre, de az mégis bekövetkezett, akkor azt „Mulasztásnak”, ha pedig a zivatart előrejelezték, de mégsem észlelték, akkor azt „Téves riasztásnak” nevezzük (**3. Táblázat**).

3. Táblázat. A 2×2 -es kontingencia-táblázat (pirossal az egyes kategóriákban lévő esetek számának összegét jelöltük a továbbiakban).

Előrejelzés Megfigyelés	IGEN (Eseményt előrejelezték)	NEM (Eseményt nem jelezték előre)
IGEN (Esemény bekövetkezett)	Helyes (+) előrejelzés [A]	Mulasztás [B]
NEM (Esemény nem következett be)	Téves riasztás [C]	Helyes (-) előrejelzés [D]

A kontingencia-táblázat minden elemét kiszámoltuk az összes általunk kiválasztott X' határértékre a következő módon. Azoknál az indexeknél, amelyeknél az index értéke az instabilitás mértékével – azaz a zivatar valószínűségével és intenzitásával – együtt nő, „IGEN”-nek számít az előrejelzés, ha $X \geq X'$ (KI, TI, CT, VT és TT indexek esetén). Azoknál pedig, ahol a kisebb indexérték jelenti a nagyobb instabilitást (SI és LI indexek), „IGEN” az előrejelzés, ha $X' \leq X$ teljesül (értelemszerűen mindkét esetben a „NEM” a fordított relációval azonos).

A Megfigyelésnél kétféle osztályozási módszert alkalmaztunk.

Először zivataros és nemzivataros időszakokat különítettünk el a villámlás területi lefedettségi adatok (Lásd **2.1.** fejezetet) alapján. A megfigyelés „IGEN”-nek számít, azaz zivataros időszokról beszélünk, ha a vizsgált területen volt bármilyen villámtevékenység, tehát a lefedettség $> 0\%$.

Másodszor a zivatark kiterjedésének nagysága szerint elszigetelten és szórványosan előforduló zivataros időszakokat különböztettünk meg. Azt a lefedettségi határértéket,

amely felett már szórványosan előforduló zivatarokról beszélhetünk, az Országos Meteorológiai Szolgálatnál és szakmai körökben meghonosodott területi lefedettségre vonatkozó kifejezések alapján 15%-ban határoztuk meg.

2.3.2. Skill Score-ok és alkalmazásaik

Miután minden esetet besoroltunk, összeadtuk, hogy hány eset tartozik összesen a kontingencia-táblázat egyes kategóriáiba (A, B, C és D, lásd **3. Táblázat**). Ezen értékek segítségével a következő három skill score-t határoztuk meg (*Donaldson et al.*, 1975).

A **POD**, azaz a *Probability of Detection* az összes Helyes (+) előrejelzés, valamint az összes „Igen” megfigyelés hányadosa:

$$POD = \frac{A}{A + B}$$

Értéke 0 és 1 közé eshet, POD = 1 esetén B, azaz a Mulasztások száma = 0. Ebben az esetben beszélhetünk „tökéletes előrejelzésről”.

A **FAR**, azaz a *False Alarm Ratio* a Téves riasztások és az összes „Igen” előrejelzés hányadosát jelenti:

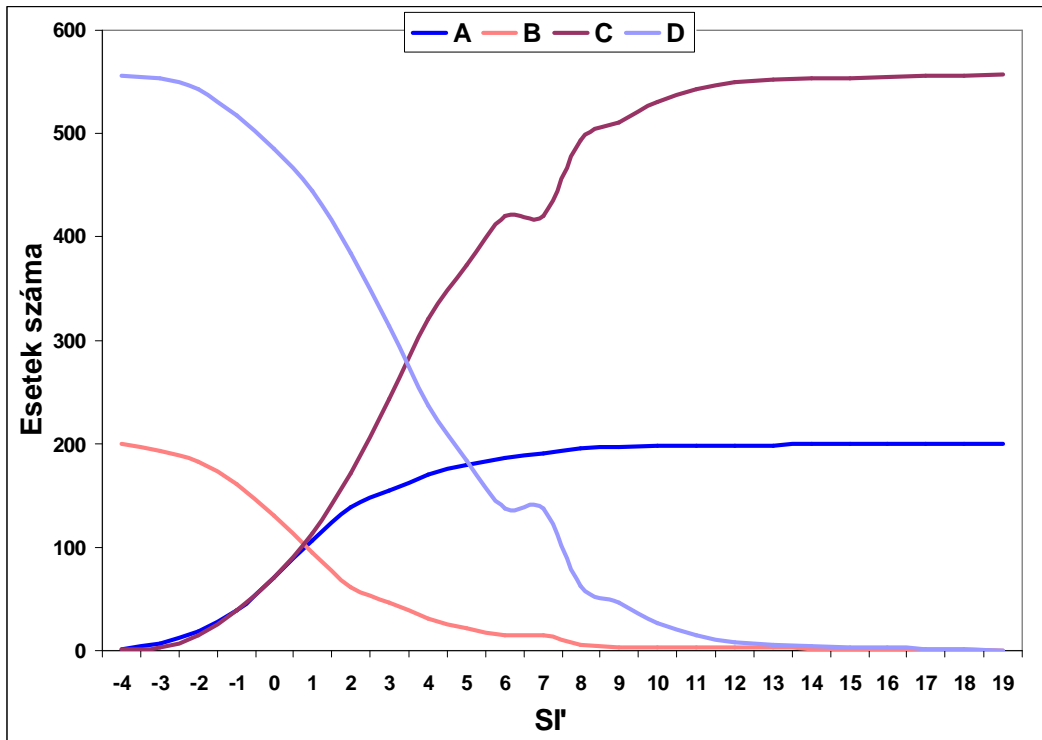
$$FAR = \frac{C}{A + C}$$

A FAR szintén 0 és 1 közötti értéket vehet fel. FAR = 0 jelenti a „tökéletes előrejelzést”, azaz minél kisebb az értéke, annál kisebb az előrejelzésben a téves riasztások aránya.

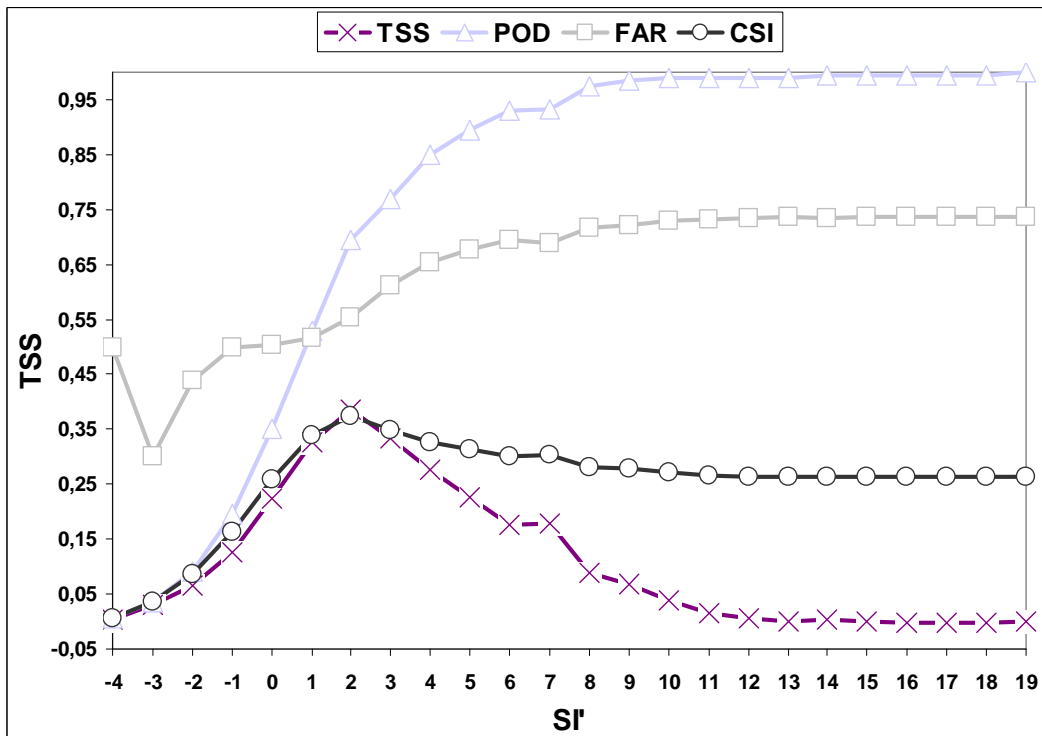
A **CSI**, vagyis a *Critical Success Index*, a POD-ot és a FAR-t egyesíti oly módon, hogy a Helyes (+) előrejelzések számát elosztjuk a Helyes (+) előrejelzések, a Mulasztások, valamint a Téves riasztások számának összegével, azaz:

$$CSI = \frac{A}{A + B + C}$$

Értéke ugyancsak 0 és 1 közé esik, az 1-es értéke esetén „tökéletes” az előrejelzésünk. Ekkor B és C értéke, azaz a Mulasztások és a Téves riasztások száma egyaránt 0.



3.a. ábra. A kontingencia-táblázat elemeinek változása SI' függvényében, zivataros / nemzivataros esetek elkülönítése és Budapest-Lőrinc 50×50 km-es környezete esetén.



3.b. ábra. A négy Skill Score értékének változása SI' függvényében, zivataros / nemzivataros esetek elkülönítése és Budapest-Lőrinc 50×50 km-es környezete esetén.

Az a tény, hogy egy kiválasztott X' esetén a POD értéke 1, vagy a FAR-é 0, még nem jelenti azt, hogy ez a határérték megfelelő lenne! Ennek bemutatásához tekintsük a következő példát. Ha a Showalter-index esetén X' -t +10-nek választjuk, akkor ezzel közel az összes esetben „Igen” előrejelzést fogunk adni, azaz a POD értéke 1-hez tart. Ezzel együtt azonban a Téves riasztások (C) száma, valamint a FAR értéke is magas lesz, ami azt jelenti, hogy az így megválasztott küszöbszámnak nincs prognosztikai értéke. A példa megértését segítik a **3.a** és **3.b ábrák**.

Hasonlóképpen elmondható, hogy ha például a Lifted index határértékét -6 -nak választjuk, akkor kevés esetben adunk „Igen” előrejelzést, ami azt jelenti, hogy a FAR ugyan nagyon alacsony lesz, de sok esetet elmulasztunk.

A cél az, hogy az indexeknek olyan határértéket határozzunk meg, amelynél a Találatok számának maximalizálása mellett a Mulasztások és Téves riasztások aránya a lehető legkisebb legyen (*Huntrieser et al., 1997*).

Mivel a POD, FAR, és CSI skill score-ok egyike sem ad információt a Helyes (-) előrejelzésekről, ezért egy negyedik skill score-t kellett alkalmaznunk, amely a kontingencia-táblázat minden elemét tartalmazza.

A **True Skill Score**, azaz **TSS** széles körben használt a zivatar-előrejelzési indexek ellenőrzésére, aminek oka, hogy a kontingencia-táblázat mindegyik elemével számol. Ezt a következőképpen határozhatjuk meg (*Hanssen and Kuipers, 1965*):

$$TSS = \left(\frac{A}{A+B} \right) - \left(\frac{C}{C+D} \right)$$

Ezt az értéket is kiszámoltuk minden esetben, majd ennek segítségével a következő módon határoztuk meg a legjobban használható határértéket: azt az X' -t, amelynél a TSS a maximális értéket veszi fel, a továbbiakban X^* -gal jelöltük, és erre mondtuk azt, hogy a legjobb előrejelzési hatékonysággal különíti el a zivataros / nemzivataros, illetve elszigetelten / szórványosan zivataros eseteket.

A Megfigyelés kétféle osztályozása alapján minden indexnél két határértéket határoztunk meg. Először azt, amelyik a legjobb előrejelzést adja arra vonatkozóan, hogy az elkövetkezendő időszakban lesz-e bármilyen zivartartevékenység. Emellett azokat az X^* értékeket is meghatároztuk, amelyek a zivatarok területi elterjedését a legjobban prognosztizálják.

3. Eredmények

Munkánk során mind a hét instabilitási indexet négy különböző esetben vizsgáltuk meg. Ezeket az előrejelzések kétféle osztályozása (azaz az indexek kétféle elkülönítő szerepe, lásd 2.3. fejezetet), valamint a vizsgált terület nagysága szerint különböztetjük meg. A négy eset a következő:

- zivataros / nem zivataros időszakok elkülönítésére, Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetére vonatkozóan,
- zivataros / nem zivataros időszakok elkülönítésére, Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetére vonatkozóan,
- elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok elkülönítésére, Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetére vonatkozóan,
- elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok elkülönítésére, Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetére vonatkozóan.

3.1. Az eredmények bemutatása a négy különböző esetre vonatkozóan

A továbbiakban először az egyes esetekben kapott Skill Score-ok vizsgálatával és a TSS maximalizálásával kapott eredményeket mutatjuk be.

Itt azt vizsgáltuk, hogy mely indexek azok, amelyek a legjobb Skill Score-értékeket adják, azaz melyeknek a legnagyobb az előrejelzési hatékonysága. Fontos megemlíteni, hogy a TSS, POD és CSI esetén a *magasabb*, míg a FAR esetén az *alacsonyabb* értékek számítanak jobbnak.

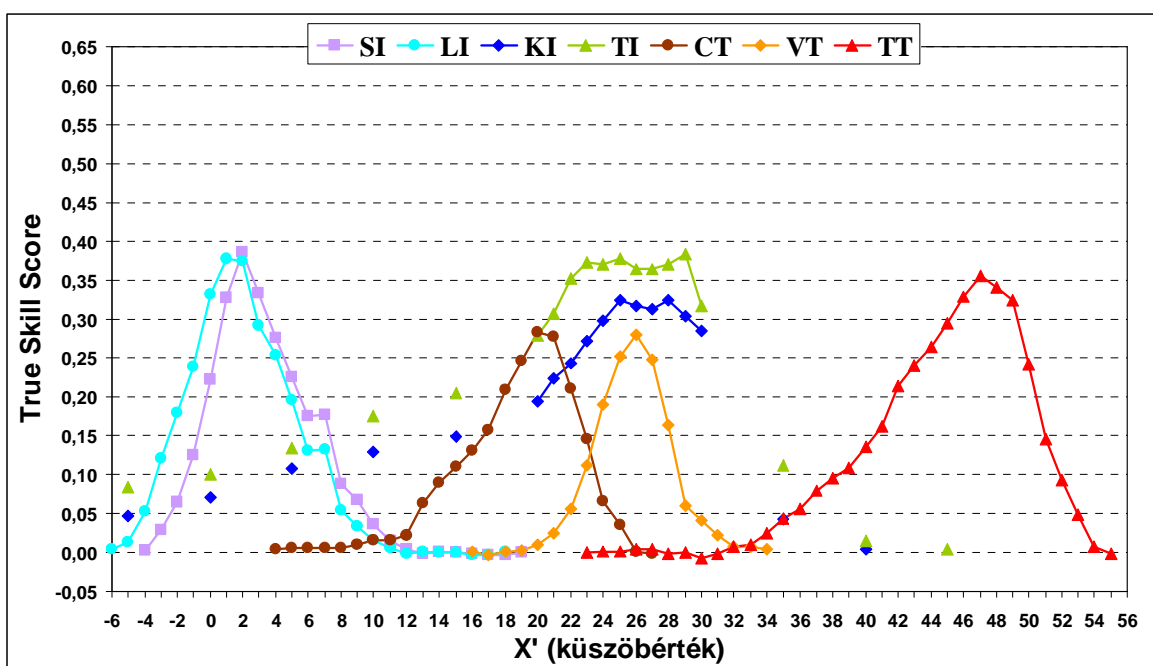
Mivel a TSS alapján határoztuk meg az X^* értékeket, ezért a használhatóság vizsgálatakor ez volt az elsődleges viszonyítási szempont. A többi Skill Score-t a TSS által kapott eredmény ellenőrzésére, megerősítésére használtuk.

Annak szemléltetésére, hogy a TSS értéke mely X' esetén lesz a maximális, azok változását grafikusán is ábrázoltuk.

Az ábrákon a Lifted és a Thompson-index esetén szerepelnek különálló pontok. Ezek az 5-ös léptetéssel számolt TSS értékek. A maximális TSS környezetében – utólag – besűrítettük a lépésközt 1-re, hogy a lehető legpontosabban határozzuk meg X^* -ot, ezt ábrázolják a görbével is összekötött értékek.

3.1.1. Zivataros / nemzivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetében

A **4. ábrán** a hét index TSS értékeit ábrázoltuk az X' határértékek függvényében. Látható, hogy a Showalter, a Vertical Totals és a Total Totals indexeknél élesen kirajzolódik, hogy a TSS melyik küszöbértéknél lesz maximális. Ezzel szemben a Lifted, a K, a Thompson és a Cross Totals indexek esetén bizonytalan az X^* értéke.



4. ábra Az indexek TSS értékeinek változása a megválasztott határérték (X') függvényében, zivataros / nemzivataros időszakokra és Budapest-Lőrinc 50×50 km-es környezetére vonatkozóan.

Az egyes indexekre kapott maximális TSS-eket, és az ezek alapján megállapított legmegbízhatóbb határértékeket a **4. Táblázatban** foglaltuk össze. A táblázat értékeit vizsgálva az alábbi megállapításokat tehetjük. Ha csak a TSS értékeit vizsgáljuk, akkor ez alapján nem mondhatjuk ki egyértelműen, hogy melyik a legmegbízhatóbb index. Ha a többi Skill Score-t is figyelembe vesszük, akkor a Thompson-index egy kicsivel megbízhatóbb az összes többi indexnél. Ezt annak köszönheti, hogy ennél kaptuk a FAR és a CSI esetén a legjobb értéket, TSS-e pedig a második legjobb (0,383), alig kisebb, mint a Showalter indexé (0,386). Jó megbízhatóságot mutat a Showalter és a Lifted index is. Előbbinél kaptuk a legmagasabb TSS értéket, valamint a CSI értéke mindössze 0,001-del marad el a Thompson-indexétől. A Lifted indexnek pedig mindegyik Skill Score-ja a legjobb három közé tartozik.

A legkevésbé alkalmazható index a Cross Totals, mert mindegyik Skill Score-értéke a legrosszabbak közé tartozik, valamint X^* határértéke sem egyértelmű.

4. Táblázat Az egyes indexek zivataros / nemzivataros elkülönítéssel és 50×50 km-es területre számolt maximális TSS értékei (TSS max), az ezek alapján megállapított legmegbízhatóbb határértékek (X^*), és az ehhez tartozó Skill Score értékek (a legjobb három értéket kiemeléssel, valamint az abszolút legjobbat pirossal jelöltük).

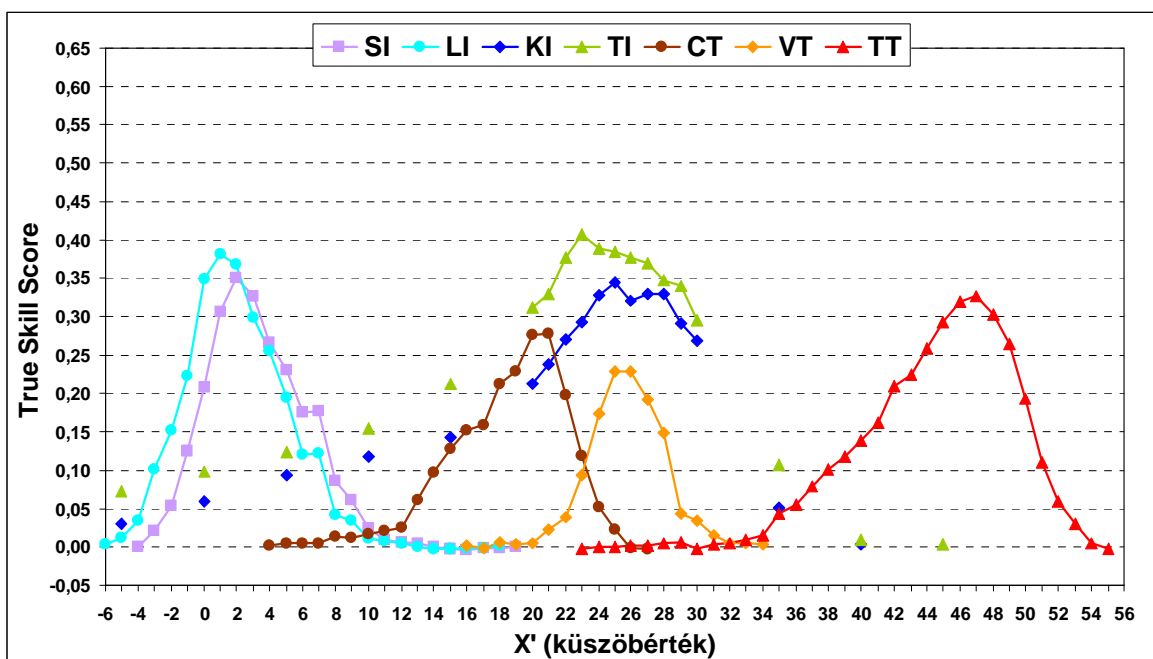
<i>Index</i>	<i>X*</i>	<i>TSS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>CSI</i>
<i>SI</i>	$\leq +2$	0,386	0,695	0,553	0,374
<i>LI</i>	$\leq +1$	0,377	0,715	0,568	0,369
<i>KI</i>	$\geq +25$	0,325	0,750	0,612	0,343
<i>TI</i>	≥ 29	0,383	0,570	0,477	0,375
<i>CT</i>	$\geq +20$	0,283	0,705	0,625	0,324
<i>VT</i>	$\geq +26$	0,281	0,715	0,629	0,324
<i>TT</i>	$\geq +47$	0,355	0,680	0,571	0,357

Összességében az állapítható meg, hogy ugyan a Thompson-index a legmegbízhatóbb, de a kisebb (50×50 km-es) vizsgált területre vonatkozóan, a zivataros és nemzivataros esetek elkülönítésére a Showalter-féle instabilitási index a legalkalmasabb. Ezt azzal indokoljuk, hogy az SI-nek a megbízhatósága alig marad el a TI-től, TSS-e a legjobbnak adódott, és X^* határértéke jól meghatározható.

3.1.2. A zivataros / nemzivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetében

Az **5.ábrán** az előző esethez hasonlóan az indexek TSS értékének megváltozását követhetjük nyomon.

A Cross Totals és a Vertical Totals kivételével mindegyik indexnél egyértelműen kirajzolódik a maximális TSS érték, azaz egyértelműen megállapítható, hogy melyik a legjobb küszöbszám. Ezzel szemben a Cross Totals esetén a +20 és +21 határértékekhez tartozó TSS értékek közel egyenlők (0,276 és 0,277). A Vertical Totals ugyancsak két határértéke (+25 és +26) mellett vesz fel alig különböző TSS értéket (0,229 és 0,228).



5. ábra. Az indexek TSS értékeinek változása a megválasztott határérték (X') függvényében, zivataros / nemzivataros időszakokra és Budapest-Lőrinc 100×100 km-es környezetére vonatkozóan.

Az 5. Táblázat értékeit vizsgálva az alábbi megállapításokat tehetjük. Az indexek maximális TSS-értékeit összevetve a legmegbízhatóbb a Thompson-index, amit a legjobb CSI értéke is megerősít. Jó megbízhatósági értékeket mutat a Lifted index is, ennél a legalacsonyabb a téves riasztások aránya (FAR), és második legjobb a TSS valamint a CSI értéke.

5. Táblázat Az egyes indexek zivataros / nemzivataros elkülönítéssel és 100×100 km-es területre számolt maximális TSS értékei (TSS max), az ezek alapján megállapított legmegbízhatóbb határértékek (X^*), és az ehhez tartozó Skill Score értékek (a legjobb három értéket kiemeléssel, valamint az abszolút legjobbat pirossal jelöltük).

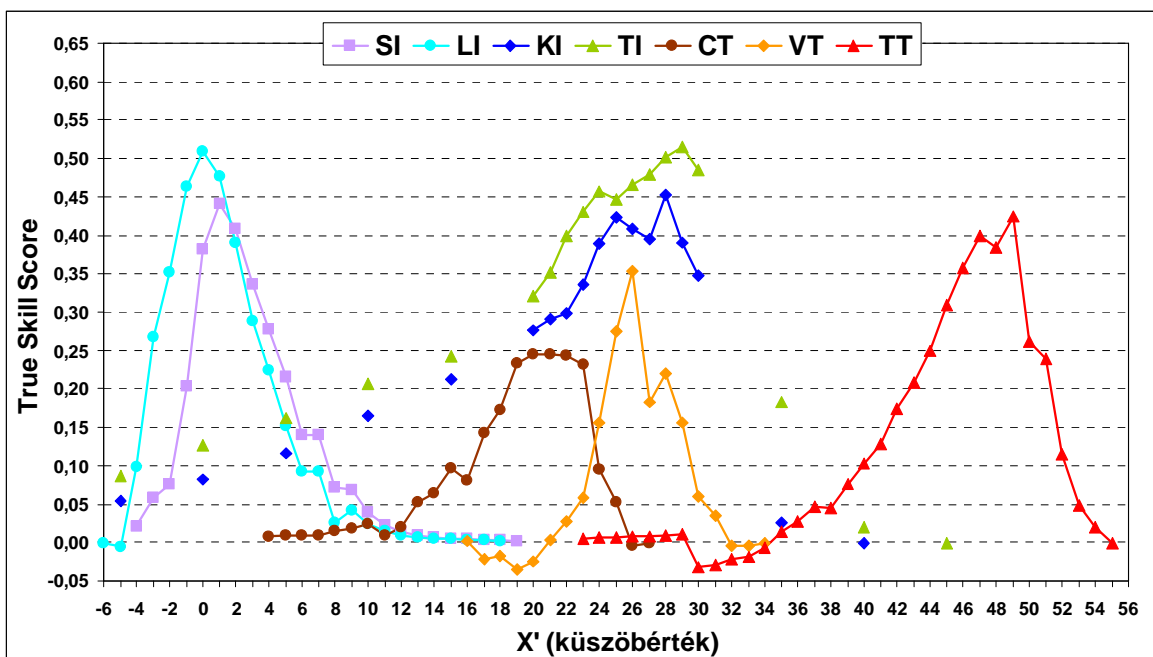
<i>Index</i>	X^*	<i>TSS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>CSI</i>
<i>SI</i>	$\leq +2$	0,351	0,617	0,383	0,447
<i>LI</i>	$\leq +1$	0,382	0,662	0,378	0,472
<i>KI</i>	$\geq +25$	0,344	0,714	0,426	0,466
<i>TI</i>	$\geq +23$	0,407	0,765	0,402	0,505
<i>CT</i>	$\geq +21$	0,277	0,524	0,403	0,387
<i>VT</i>	$\geq +25$	0,229	0,785	0,504	0,436
<i>TT</i>	$\geq +47$	0,326	0,611	0,401	0,434

A legrosszabbnak a TSS alapján a Vertical Totals-t ítéljük. Ezt annak ellenére mondhatjuk, hogy POD értéke az összes indexé közül a legjobb. Ahogyan azt a 2.3. -ban leírtuk, a magas POD érték nem jelenti azt, hogy a hozzá tartozó X^* határérték megfelelő lenne. Ugyanis ekkor az index az esetek nagy részében „Igen” előrejelzést fog adni, de ezzel együtt a téves rísztasok száma is fajlagosan nagy lesz. Ezt alátámasztja az, hogy a Vertical Totals-nál kaptuk a legnagyobb – azaz legrosszabb – FAR értéket.

Ha egyszerre nézzük az indexek határértékének egyértelműségét és megbízhatóságát, akkor a 100×100 km-es területre nézve a zivataros / nem zivataros esetek elkülönítésére egyértelműen a Thompson-index alkalmazása javasolható a fentiekben meghatározott határértékkel.

3.1.3. *Elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 50×50 km-es körzetére*

A 6. ábrán látható, hogy a Showalter, a Lifted, a Thompson és a Vertical Totals indexek esetén az X^* értéke egyértelműen meghatározható.



6. ábra Az indexek TSS értékének változása a megválasztott határérték (X') függvényében, elszigetelten / szórványosan zivataros időszakokra és Budapest-Lőrinc 50×50 km-es környezetére vonatkozóan.

A K és a Total Totals indexnél két éles, közel egyforma értékű maximum is adódik, aminek az lehet az oka, hogy a megvizsgált 12 órás időszakok száma (757) nem elég nagy ahhoz, hogy a maximum egyértelműen kirajzolódjon. A Cross Totals indexnél a +19 és +23 közötti X' esetén felvett TSS értékek között csak 10^{-3} nagyságrendű eltérést tapasztalunk.

6. Táblázat. Az egyes indexek elszigetelten / szórványosan zivataros elkülönítéssel és 50×50 km-es területre számolt maximális TSS értékei (TSS max), az ezek alapján megállapított legmegbízhatóbb határértékek (X*), és az ehhez tartozó Skill Score értékek (a legjobb három értéket kiemeléssel, valamint az abszolút legjobbat pirossal jelöltük).

<i>Index</i>	<i>X*</i>	<i>TSS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>CSI</i>
<i>SI</i>	≤ 1	0,441	0,705	0,858	0,134
<i>LI</i>	≤ 0	0,509	0,795	0,854	0,141
<i>KI</i>	≥ 28	0,453	0,773	0,870	0,125
<i>TI</i>	≥ 29	0,515	0,773	0,844	0,149
<i>CT</i>	≥ 20	0,245	0,727	0,915	0,082
<i>VT</i>	≥ 26	0,353	0,841	0,904	0,094
<i>TT</i>	≥ 49	0,425	0,636	0,844	0,144

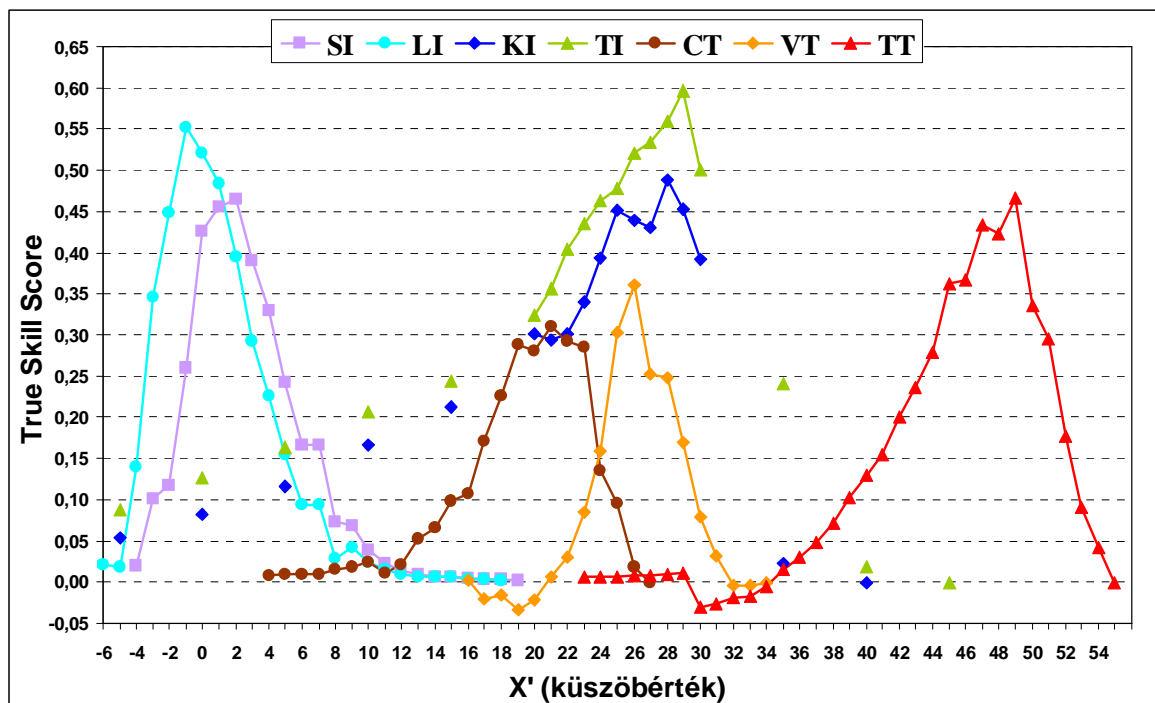
A **6. Táblázatra** tekintve azonnal észrevehetjük, hogy mindegyik index POD és FAR értékei igen magasak (utóbbinál minden esetben 0,8 feletti), azaz a legjobbnak ítélt határértékek sok esetben adnak „Igen” előrejelzést, de ezzel együtt a téves risztások aránya kirívóan magas. A Thompson-indexnek vannak a legjobb TSS, FAR és CSI értékei, ezektől a Lifted indexre vonatkozó értékek alig maradnak el, így ezt a kettőt tekinthetjük a legmegbízhatóbbnak.

A leggyengébb előrejelzési hatékonyságot ismét a Cross Totals index mutatja, köszönhetően annak, hogy TSS, FAR és CSI értékei is a legrosszabbak. A második legrosszabb a Vertical Totals, annak ellenére, hogy ismét a legmagasabb POD értéket adja, de láthatjuk, hogy emellett a téves risztási rátája (FAR) nagyon rossz (0,9 feletti). Érdekes, hogy a Total Totals index, ami a két legrosszabb összege, már egy közepesen jól használható index, amit a legalacsonyabb FAR értéke is megerősít.

Megállapítható tehát, hogy a kisebb vizsgált terület esetén a Lifted és a Thompson index a legalkalmasabb annak előrejelzésére, hogy a zivatarok mekkora területen fognak előfordulni.

3.1.4. *Elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok vizsgálata Budapest-Lőrinc 100×100 km-es körzetére*

A **7.ábrán** az előző három esethez hasonlóan a TSS értékek megválasztott X' határértéktől való függését ábrázoltuk. A Lifted, a Thompson és a Vertical Totals indexek maximális TSS értéke egyértelmű. A Showalter-index esetén az X^* egyértelműsége romlik az előző esethez képest, de még így is jól elkülöníthető. Az előző pontban leírtakhoz képest hasonlóságot mutat az, hogy a K és Total Totals indexeknél itt is megjelenik a „kettős” maximum, aminek szintén a vizsgált esetek relatívan alacsony száma az oka. A Cross Totals indexnél ismét a +19 és +23 X' értékek között tapasztaltunk meglehetősen nagy bizonytalanságot.



7. ábra. Az indexek TSS értékének változása a megválasztott határérték (X') függvényében, elszigetelten / szórványosan zivataros időszakokra és Budapest-Lőrinc 100×100 km-es környezetére vonatkozóan.

A **7. Táblázat** értékeit vizsgálva itt is szembetűnik, hogy a POD értékeivel párhuzamosan a FAR értékek is igen magasak. Ebben az esetben a legegységelműbb, hogy a Thompson-index a legmegbízhatóbb, itt ugyanis mind a négy Skill Score-értéke a TI-nek a legmagasabb. Fontos különbség, hogy a POD értéke a legjobb három indexnek ugyanaz, de míg a Showalter és a Vertical Totals esetén ehhez magas FAR értékek párosulnak, addig a Thompson-indexnél a legalacsonyabb a Téves riasztások aránya.

Ahogy az eddigiek során többször is, ugyanúgy ebben az esetben is a Cross Totals index szerepel megbízhatóságban az utolsó helyen, a TSS, a POD és a CSI esetén a legrosszabb, a FAR-nál a második legrosszabb értékekkel rendelkeznek.

7. Táblázat. Az egyes indexek elszigetelten / szórványosan zivataros elkülönítéssel és 100×100 km-es területre számolt maximális TSS értékei (TSS max), az ezek alapján megállapított legmegbízhatóbb határértékek (X^*), és az ehhez tartozó Skill Score értékek (a legjobb három értéket kiemeléssel, valamint az abszolút legjobbat pirossal jelöltük).

<i>Index</i>	X^*	<i>TSS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>CSI</i>
<i>SI</i>	≤ 2	0,465	0,848	0,875	0,123
<i>LI</i>	≤ -1	0,310	0,652	0,890	0,104
<i>KI</i>	≥ 28	0,488	0,804	0,859	0,137
<i>TI</i>	≥ 29	0,596	0,848	0,821	0,173
<i>CT</i>	≥ 21	0,310	0,652	0,890	0,104
<i>VT</i>	≥ 26	0,361	0,848	0,899	0,099
<i>TT</i>	≥ 49	0,466	0,674	0,827	0,160

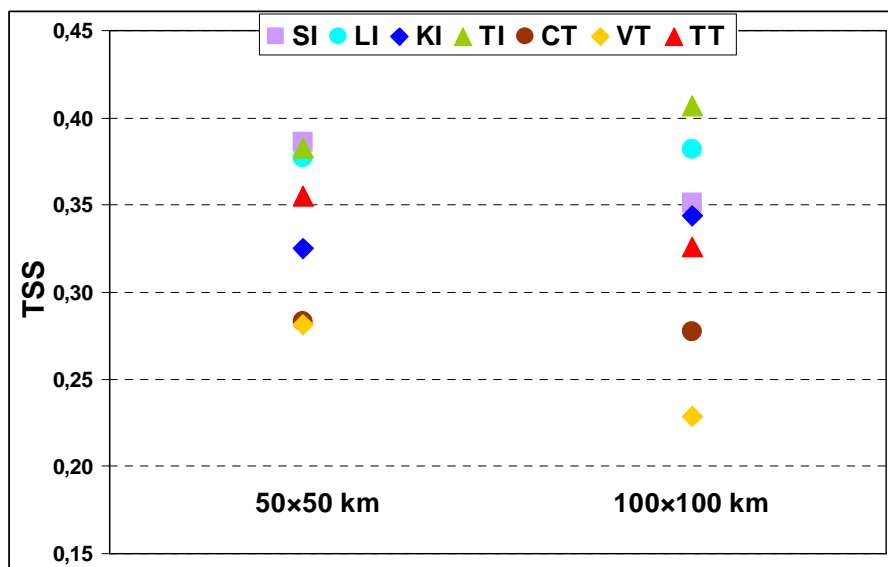
A vizsgált esetek közül itt született a legegységelműbb eredmény, ami alapján a Thompson-index használata javasolt a vizsgálat tárgyát képező elkülönítések esetében.

3.2. Az eredmények összehasonlítása a vizsgált terület nagysága szerint

Az előzőekben kapott eredmények tekintetében felmerülhet a kérdés, hogy a Skill Score-értékek, valamint a TSS maximalizálásával kapott határértékek hogyan módosulnak, ha növeljük a számításokhoz használt terület nagyságát. A következőkben az 50×50 illetve 100×100 km-re kapott eredményeket vetettük össze egymással.

3.2.1. A zivataros / nem zivataros időszakok elkülönítésére kapott eredmények összehasonlítása

A **8. ábra** a TSS maximális értékeit mutatja be a két területre nézve. A kisebb terület esetén a TSS értékek kis eltérései miatt nem mondhatjuk ki egyértelműen azt, hogy melyik index előrejelzési hatékonysága illetve megbízhatósága a legnagyobb, vagy a legkisebb. Ugyanakkor 100×100 km esetén az egyes indexek TSS értékei közti különbségek nagyobbak lesznek, azaz egyértelművé válik, hogy a TSS maximalizálásával kapott értékek alapján a legjobban a Thompson, míg legkevésbé a Vertical Totals index alkalmas a zivataros / nemzivataros időszakok elkülönítésére.



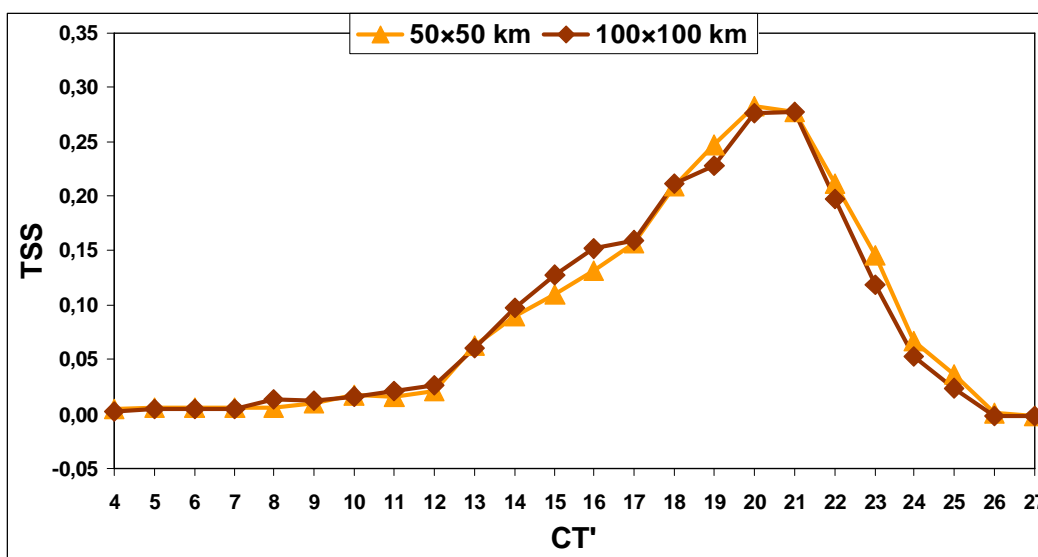
8. ábra. Az indexek zivataros / nemzivataros időszakokra kapott maximális TSS értékei.

Azt, hogy az egyes indexekre kapott legjobb határértékek a terület növelésével hogyan változnak, a **8. Táblázat**ban foglaltuk össze.

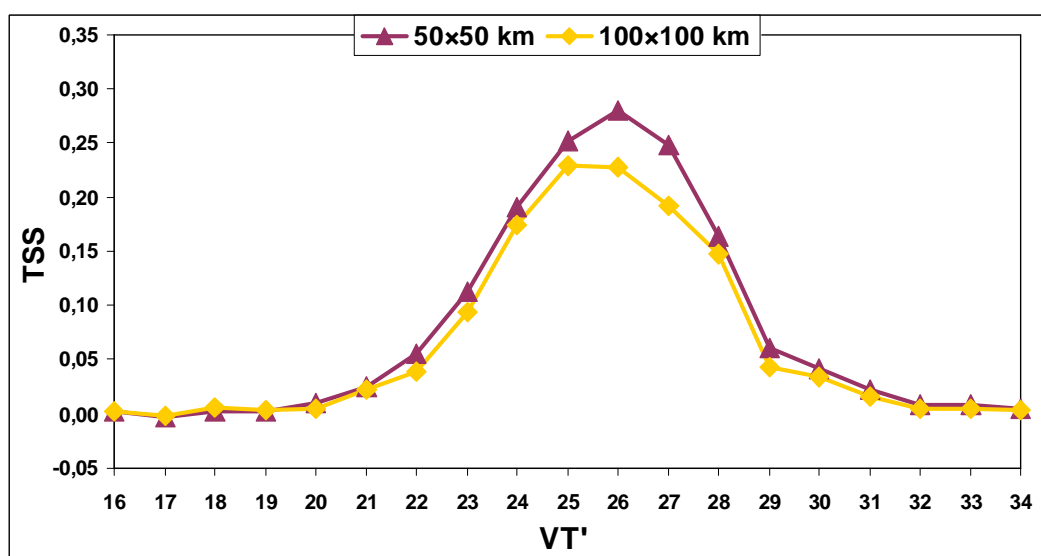
	SI	LI	KI	TI	CT	VT	TT
50×50 km	≤ 2	≤ 1	≥ 25	≥ 29	≥ 20	≥ 26	≥ 47
100×100 km	≤ 2	≤ 1	≥ 25	≥ 23	≥ 21	≥ 25	≥ 47

8. Táblázat Az indexek zivataros / nemzivataros esetek elkülönítésére kapott határértékei 50×50 és 100×100 km-es területre nézve (az eltérők pirossal kiemelve).

Láthatjuk, hogy három index esetén van eltérés. A **9.a.** és **9.b. ábrákon** láthatjuk, hogy a Cross Totals és Vertical Totals esetén az eltérés oka az, hogy bizonyos esetekben a TSS értékek maximuma nagyon bizonytalan, több határértéknél is közel azonos értékek szerepelnek. A CT-nél mind a két területre nézve ugyanannál a két küszöbértéknél (+20 és +21) kaptunk közel egyforma TSS értéket (0,283 és 0,278 valamint 0,276 és 0,277). A VT-nél a nagyobb területnél jelentkezik nagyobb bizonytalanság: +25 és +26 határértékek esetén van a TSS értékeinek nagyon kis (mindössze 0,001) eltérése.

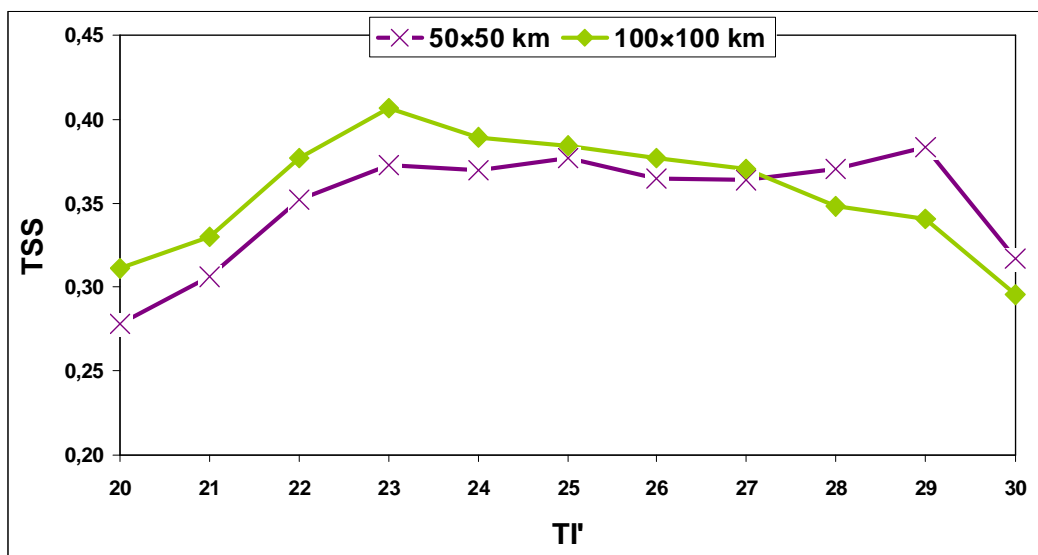


9.a. ábra. A Cross Totals TSS értékeinek változása az 50*50 és 100*100 km-es területek esetén, zivataros / nemzivataros időszakokra vonatkozóan.



9.b. ábra. A Cross Totals TSS értékeinek változása az 50*50 és 100*100 km-es területek esetén, zivataros / nemzivataros időszakokra vonatkozóan.

A TI esetén viszont viszonylag nagy eltérés mutatkozik a két határérték között, ami szintén arra vezethető vissza, hogy a TSS maximális értékei szélesebb spektrumban és kis szórással fordulnak elő, melyet a **9.c. ábrán** mutatunk be.

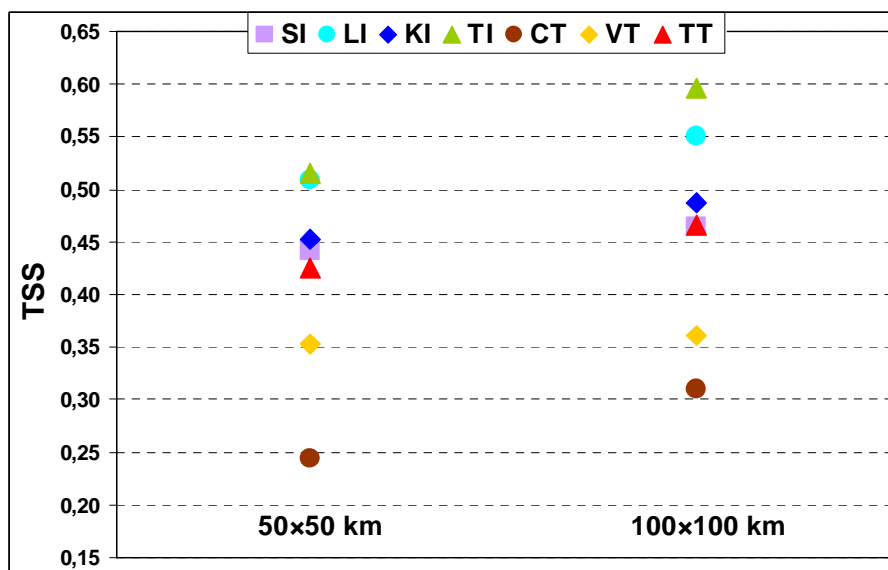


9.c. ábra. A Cross Totals TSS értékeinek változása az 50*50 és 100*100 km-es területek esetén, zivataros / nemzivataros időszakokra vonatkozóan.

Az összehasonlításból is kiderül, hogy a zivataros / nemzivataros esetek elkülönítésére a Cross Totals és Vertical Totals indexek a legkevésbé alkalmasak, köszönhetően alacsony TSS értékeknek és bizonytalan határértékeknek.

3.2.2. Az elszigetelten / szórványosan zivataros időszakok elkülönítésére kapott eredmények összehasonlítása

A **10. ábrán** azonnal látszik, hogy a zivataros / nemzivataros elkülönítéssel szemben itt minden index esetén egyértelműen nő a hatékonyság a vizsgált terület nagyságának növelésével. Ennek az oka az, hogy az 50x50 km-es terület túl kicsi a vizsgálatához. Egy zivatarcella horizontális kiterjedése (10-20 km) és a vizsgált terület nagysága között nincs nagyságrendi különbség, vagyis akár egyetlen cella végigsöpörheti a terület nagy részét. Ezért szükséges, hogy az indexeket további területi bontás esetén is megvizsgáljuk (150x150, 200x200 km, stb.), ahol már egyértelmű a nagyságrendbeli eltérés.



10. ábra. Az indexek elszigetelten / szórványosan időszakokra kapott maximális TSS értékei.

Az indexek X* értékének megváltozását a terület növelése során a **9. Táblázat** segítségével követhetjük nyomon.

	SI	LI	KI	TI	CT	VT	TT
50x50 km	1	0	28	29	20	26	49
100x100 km	2	-1	28	29	21	26	49

9. Táblázat Az indexek elszigetelten / szórványosan zivataros esetek elkülönítésére kapott X* határértékei 50x50 és 100x100 km-es területre nézve (az eltérők pirossal kiemelve).

Itt a Showalter, a Lifted és a Cross Totals indexek esetén tapasztalunk eltérést. Ennek oka az SI és CT esetén hasonló, mint az előbbieken – nevezetesen a TSS maximumok közel azonos értéke több X' esetén is. A Cross Totals indexnél, mint már említettük (3.1.3. és 3.1.4. fejezetek), X' +19 és +23 értékei között gyakorlatilag nincs különbség a TSS értékekben.

4. Összefoglalás

Munkánk célja az általunk kiválasztott instabilitási indexek vizsgálata volt az elmúlt évtized európai és amerikai szakirodalmában, és a meteorológiában elterjedten használt statisztikai módszerek alkalmazásával. Ennek során a rádiószondás felszállások adataiból származtatott indexértékek mellett a SAFIR villámlokalizációs rendszer villámsűrűség adatait használtuk és dolgoztuk fel. Vizsgálatainkat Budapest-Lőrinc 50×50 és 100×100 km-es körzetére is elvégeztük.

A zivataros és nemzivataros esetek elkülönítésére 50×50 km-es terület esetén a Showalter, míg a 100×100 km-es területnél a Thompson-index adódott a legmegbízhatóbbnak. Az elszigetelten és szórványosan zivataros esetek elkülönítésénél mindkét nagyságú vizsgált terület esetén a Thompson-index hatékonysága a legjobb. Összességében kijelenthetjük, hogy a zivatark prognosztizálásához a legnagyobb segítséget a Thompson-index használata jelentheti.

Eredményül kaptuk azt is, hogy az általunk vizsgált területekre nézve az egyes indexek kisebb hatékonysággal mondják meg azt, hogy az elkövetkezendő időszakban lesznek-e zivatark, mint azt, hogy csak elszigetelten, vagy szórványosan várhatóak-e.

Arra is javaslatot tettünk, hogy az eddig használatban lévő határértékekhez képest melyek szorulnak módosításra. Eredményeink alapján erre a Showalter és a Total Totals esetén van szükség, mindkettőnél az eredetileg használt küszöbértékhez képest a nagyobb intenzitás irányába tolódtak el az általunk meghatározott határértékek. A többi index esetén nem találtunk hasonlóan egyértelmű eltéréseket.

A közeljövőben elsősorban a vizsgált területet szeretnénk 50 km-es lépésekkel növelni addig, amíg a True Skill Score maximális értékében csökkenés nem mutatkozik. Így meghatározhatjuk azt az optimális nagyságú területet, mely esetén az egyes indexek a legnagyobb hatékonysággal jelzik előre a zivataros eseteket. A további célok között szerepel egyéb instabilitási indexek, paraméterek (pl. CAPE) vizsgálata mellett az eredményeink megerősítése más statisztikai módszerek, például gyakorisági eloszlásfüggvények vizsgálatával, valamint a módszerek összehasonlítása. Egy időbeli eltolást alkalmazva lehetőség nyílik 06-18 és 18-06 UTC-s időszakok vizsgálatára is, majd az ott kapott eredményeket összevetve az eddig elemzett 00-12 és 12-24 UTC-s időszakok eredményeivel megvizsgálhatjuk, hogy az egyes indexek milyen prognosztikai értékkel bírnak a különböző időszakokra nézve.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Tuba Zoltánnak a folyamatos türelmét, biztatását, segítőkészségét és közvetlenségét.

Köszönöm Dr. Gyuró Györgynek, hogy észrevételeivel és hasznos tanácsaival segítette a dolgozat elkészítését.

Köszönöm Dombai Ferencnek, hogy a rendelkezésünkre bocsátott adatok segítségével lehetővé tette, hogy ez a dolgozat elkészülhessen.

Köszönöm Varga Bálintnak a villámlokalizációs adatok előállításában és feldolgozásában nyújtott segítségét.

Hálával tartozom Családomnak és Barátaimnak azért, hogy végig mellettem állva észrevételeikkel, türelmükkel és jókedvükkel megkönnyítették a munkámat.

Irodalomjegyzék

Brooks, H.E., Doswell, C.A. III, and Cooper, J., 1994: On the environment of tornadic and nontornadic mesocyclones. *Weather and Forecasting*, **9**, 606-618.

Dalla Fontana, A., 2008. Tuning of a thunderstorm index for north-eastern Italy. *Meteorological Applications*, **15**, 475-482.

David, C.L., and Smith, J.S., 1971: An evaluation of seven stability indices as predictors of severe thunderstorms and tornadoes. Preprints. *Seventh Conf. Severe Local Storms*. Kansas City, Amer. Meteor. Soc., 105-109.

Donaldson, R., Dyer, R., and Kraus, M., 1975: An objective evaluator of techniques for prediction of severe weather events. Preprints, *Ninth Conf. on Severe Local Storms*, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 321-326.

Galway, J.G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorology Society*, **37**, 528-529.

George, J.J., 1960: *Weather Forecasting for Aeronautics*. New York, Academic Press, 407-415.

Götz és Pápainé, 1964: Zivatartevékenység előrejelzése stabilitási indexekkel. *Időjárás*, **68**, 157-165.

Gyuró, Gy. : A konvektivitás előrejelzése. Egyetemi előadásjegyzet

Hambridge, R.E., 1967: 'K' chart application to thunderstorm forecasts over the western United States. ESSA Tech. Memo. WRTM-23, 9 pp.

Hanssen, A.W., and Kuipers, W.J.A., 1965: On the relationship between the frequency of rain and various meteorological parameters. *Meded. Verhand. K. Nederlands Meteor. Inst.*, **81**, 2-15.

- Huntrieser, H., Schiesser, H.H., Schmid, W., Waldvogel, A., 1997: Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland. *Weather and Forecasting*, **12**, 108-125.
- Jacovides, C.P., and Yonetani, T., 1990: An Evaluation of Stability indices for Thunderstorm Prediction in Greater Cyprus. *Weather and Forecasting*, **5**, 559-569.
- Kunz, M., 2007: the Skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **7**, 327-342.
- Lee, R.R., and Passner, J.E., 1993: The development and verification of TIPS: An expert system to forecast thunderstorm occurrence. *Wea. Forecasting*, **8**, 271–280.
- Miller, R.C., 1967: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Military Weather Warning Center. Tech. Report 200, AWS, USAF. [Headquarters, AWS, Scott AFB, IL 62225]
- Miller, R.C., 1975: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Tech. Report 200 (Revised to include CHANGE 1), AWS, USAF. [Headquarters, AWS, Scott AFB, IL 62225]
- Peppler, R.A., 1988: A review of static stability indices and related thermodynamic parameters. Climate and meteorology section Illinois State Water Survey Division Misc. Publ.
- Salvati, M.R., Berlusconi, D., 2009: A statistical study of stability indexes as convective weather predictors in Lombardia. *5th European Conference on Severe Storms*, Landshut, Germany
- Showalter, A.K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting. *Buletin of the American Meteorology Society*, **34**, 250–252.
- Wantuch, F., 2005: A Kárpát-medence villámainak meteorológiai vizsgálata objektív mérések alapján. Doktori disszertáció.

Internetes források

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

http://www.szupercella.hu/index.php?x=prog_map

http://www.accuweather.com/adcbn/public/community_blog_extra.asp?extra=severe#t

http://www.crh.noaa.gov/lx/science/convective_indices.php

Függelék

A területi lefedettség számoláshoz használt FORTRAN fájl kódja

```
program binary

C   A program egy 12 oras idoszakra vonatkozó villamlokalizacios
C   adatokat (villamszam) olvas be binaris fajlbol, majd
C   kiszamolja, hogy az elore megadott területen belül mekkora volt a
C   villamtevekenyseg területi lefedettsege.

C   -----
C   ***VALTOZOK DEKLARALASA***
C   -----

integer s

C   Foldrajzi szelesseg (fi) ,s hosszusag (la)
real fil,fi2, la1,la2

real racsp,db,lefed, sum,inten
parameter(s=100000)

C   A vizsgalt területet hatarolo szelessegek es hosszusagok megadasa
C   Budapest-Lorinc 50*50 km-es korzetere
parameter(fil=47.205)
parameter(fi2=47.655)
parameter(la1=18.849)
parameter(la2=19.515)

character*1 max, n, x(100000)
real sor(s),oszlop(s),fi(s),lambda(s)

C   -----
C   ***BINARIS FILE OLVASASA***
C   -----

open(4,FILE='brod20070613_1200-o360-w720',
$ ACCESS='sequential', STATUS='OLD', FORM='UNFORMATTED',RECL=1)

C   1. bajtbol maximumertekek kiolvasasa

read(4,rec=1) max

C   2-256. bajtok kihagyasa (Ezek ertekei csak nullak!)

do 100 i=1,255
read(4,rec=i+1) n
100 continue

racsp=0
db=0
sum=0

C   A 250*400 racspont adatainak beolvasasa egydimenzios tombbe

do 110 i=1,s
read(4,rec=256+i) x(i)

C   Racspont - koordinata megfeleltetes tablazat beolvasasa

open(6,FILE='racs.txt', STATUS='OLD')
read (6,*) sor(i),oszlop(i),fi(i),lambda(i)
```

```

C -----
C ***SZAMOLAS***
C -----

C Adott területen a nem nulla értékek összeszámolása

  if(((lambda(i).GT.la1).AND.(lambda(i).LT.la2)).AND.((fi(i).GT.fi1)
$.AND.(fi(i).LT.fi2))) then
  racsp=racsp+1
  if(ichar(x(i)).NE.0) then
  db=db+1
  endif
  endif

110 continue

C Területi lefedettség számolása

  lefed=((db/racsp)*100)

C -----
C ***EREDMENYEK KIIRASA UJ FAJLBA***
C -----

  open(8,FILE='brod20070613_1200-o360-w720_50x50.txt',
$ STATUS='NEW' )

  write(8,*)'Egesz meresi tartomany, MAX érték: ', ichar(max)
  write(8,*)'50x50 km, nem nulla értékek száma: ',int(db)
  write(8,*)'50x50 km, racspontok száma:',int(racsp)
  write(8,700) lefed
700 format(1x,'50x50 km, területi LEFEDETTSEG [%]: ',f5.2)

  close(4)
  close(6)
  close(8)

  stop
  end

```

A napjainkban használatos különféle index-határértékek (a fejléc a forrást tartalmazza)

Index	Eredeti	Gyuró Gy. egyetemi előadásán elhangzott	http://www.szupercella.hu	http://www.accuweather.com/	http://www.crh.noaa.gov
SI	<p>≤ +3 Zápor, lehetséges zivatar</p> <p>≤ -3 Nagybő / intenzívebb konvekció</p>	<p>> +3 Nem várható aktív konvekció</p> <p>≤ +3 Záporos csapadék valószínű</p> <p>≤ 0 Zivatar valószínű</p> <p>≤ -3 Heves zivatar / jégeső valószínű</p> <p>≤ -6 Tornádó valószínű</p>	<p>> 3 Nem valószínű konvekció</p> <p>≤ 3 Zápor valószínű</p> <p>≤ 0 Zivatar valószínű</p>	<p>1 to 3 Thunderstorms</p> <p>-3 to 1 Strong Thunderstorms</p> <p>< -3 Severe Thunderstorms</p>	
LI		<p>> +2 Nem várható aktív konvekció</p> <p>≤ +2 Záporos csapadék valószínű</p> <p>≤ 0 Zivatar valószínű</p> <p>≤ -4 Heves zivatar / jégeső valószínű</p> <p>≤ -6 Igen heves zivatar, tornádó valószínű</p>		<p>> 3 Stable atmosphere</p> <p>1 to 3 Slightly unstable, supports showers</p> <p>-1 to +1 Unstable, supports showers and isolated T-storms</p> <p>-1 to -3 Moderately unstable, supports widespread T-storms</p> <p>-3 to -6 Very unstable, supports severe T-storms</p> <p>< -6 Extremely unstable, supports widespread severe weather</p>	<p>0 to -2 Weak Instability</p> <p>-3 to -5 Moderate Instability</p> <p>-6 to -9 Strong Instability</p> <p>< -9 Extreme Instability</p>
KI		<p>< +20 Nem várható aktív konvekció</p> <p>≥ +25 Záporos csapadék valószínű</p> <p>≥ +29 Zivatar valószínű</p> <p>≥ +34 Heves zivatar / jégeső valószínű</p>		<p>0-15 No Thunderstorms</p> <p>15-20 TS possible (<20% chance)</p> <p>20-25 Isolated Thunderstorms (20-40% chance)</p> <p>26-30 Widely Scattered Thunderstorms (40-60% chance)</p> <p>30-35 Numerous Thunderstorms (60-80% chance)</p> <p>36-39 Strong Chance of Thunderstorms (80-90 % chance)</p> <p>40+ Thunderstorms Likely (>90% chance)</p>	<p>< 20 None</p> <p>20 to 25 ISOLD</p> <p>26 to 30 FEW</p> <p>31 to 35 SCT</p> <p>> 36 SCT to NMRS, Heavy Rain Potential</p>
TI			<p>+25 alatt' Zivatar nem valószínű</p> <p>+25 - +29 között' Zápor / gyenge zivatar kis eséllyel</p> <p>+30 - +34 között' Zivatarok, egy-egy intenzív is</p> <p>+35 - +39' között' Zivatar nagy valószínűséggel, sokfelé, néhány intenzív</p> <p>+40 felett' Heves zivatar nagy valószínűséggel, többfelé intenzív</p>	<p>< 25 No Thunderstorms</p> <p>25-34 Thunderstorms</p> <p>35-39 Thunderstorms Approaching Severe</p> <p>> 40 Severe Thunderstorms</p>	
CT	<p>≥ +18 Elszigetelt / néhány kevésbé heves zivatar</p> <p>≥ +30 Számos közepesen erős / néhány heves zivatar és tornádó</p>	<p>< +18 Nem várható aktív konvekció</p> <p>≥ +26 Záporos csapadék valószínű</p>		<p>23-26 Isolated/Few Thunderstorms</p> <p>26 + Scattered/Numerous Strong Thunderstorms</p>	<p>< 18 TS Unlikely</p> <p>18 to 19 ISOLD to FEW</p> <p>20 to 25 SCT</p> <p>26 to 29 SCT to NMRS</p> <p>≥ 30 NMRS</p>
VT	<p>≥ +26 Elszigetelt / néhány kevésbé heves zivatar</p> <p>≥ +30 Számos közepesen erős / néhány heves zivatar és tornádó</p>	<p>≥ +26 Zivatar valószínű</p>		<p>16-19 Isolated/Few Thunderstorms</p> <p>18-23 Scattered Thunderstorms</p> <p>24-29 Scattered/Numerous Strong Thunderstorms</p> <p>>30 Numerous Strong Thunderstorms</p>	<p>≥ 26 TS possible</p>
TT	<p>≥ +44 Elszigetelt / néhány kevésbé heves zivatar</p> <p>≥ +60 Számos közepesen erős / néhány heves zivatar és tornádó</p>	<p>< +44 Nem várható aktív konvekció</p> <p>≥ +52 Záporos csapadék valószínű</p>		<p>44 Spotty, usually light thunderstorms</p> <p>46 Spotty, usually moderate thunderstorms</p> <p>48 Usually heavy thunderstorms</p> <p>50 Usually heavy thunderstorms with hail possible</p> <p>52 Usually heavy thunderstorms with a tornado possible</p> <p>56 Heavy thunderstorms with tornadoes likely</p>	<p>< 44 None</p> <p>44 to 45 ISOLD to FEW</p> <p>46 to 51 SCT</p> <p>52 to 55 SCT to NMRS</p> <p>> 56 NMRS</p>