

A hőhullámok várható alakulása és a következményes egészségi hatásai

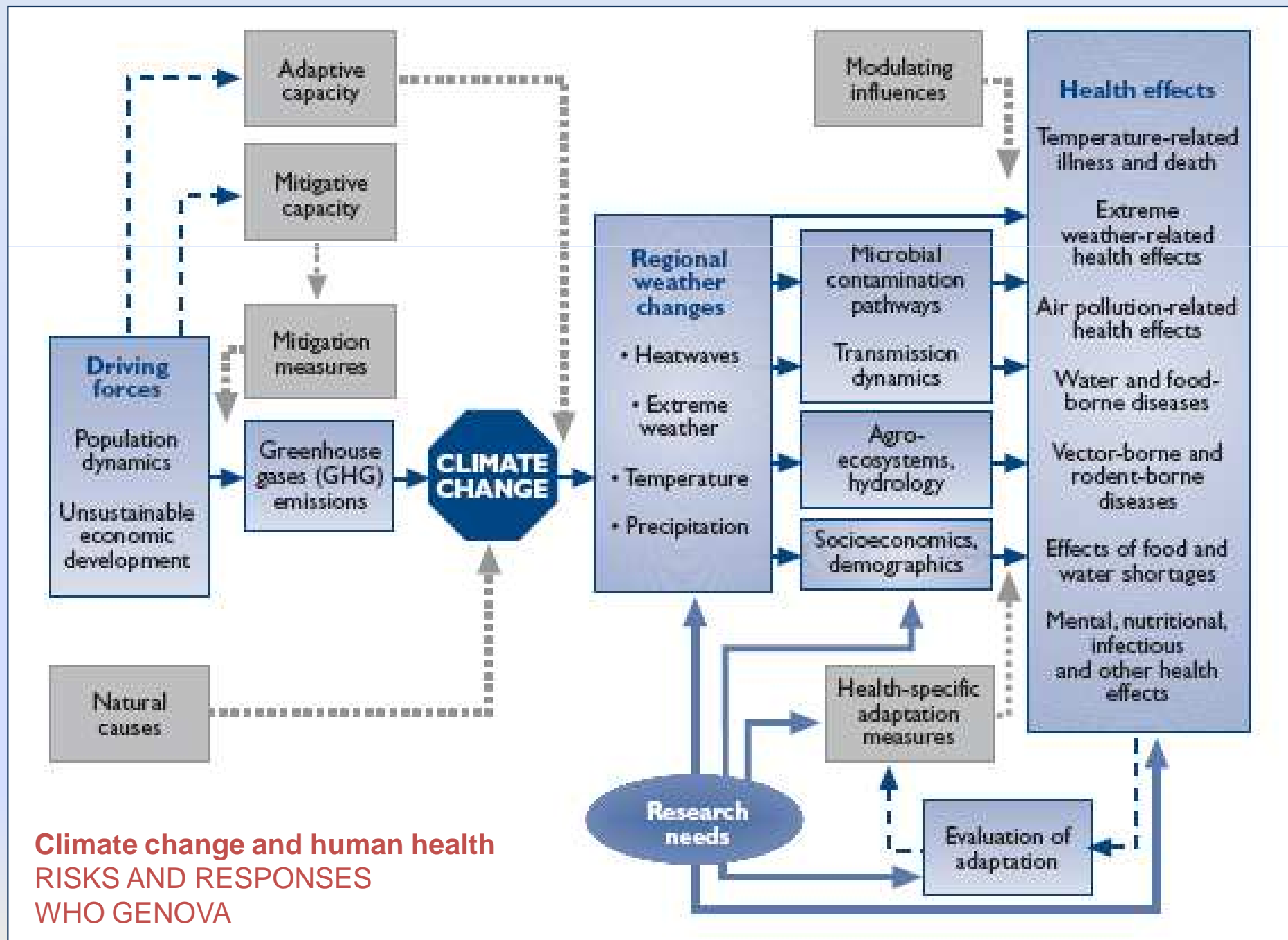
Páldy Anna¹, Bobvos János¹, Juhász Attila², Nagy Csilla²

¹Országos Környezetegészségügyi Intézet

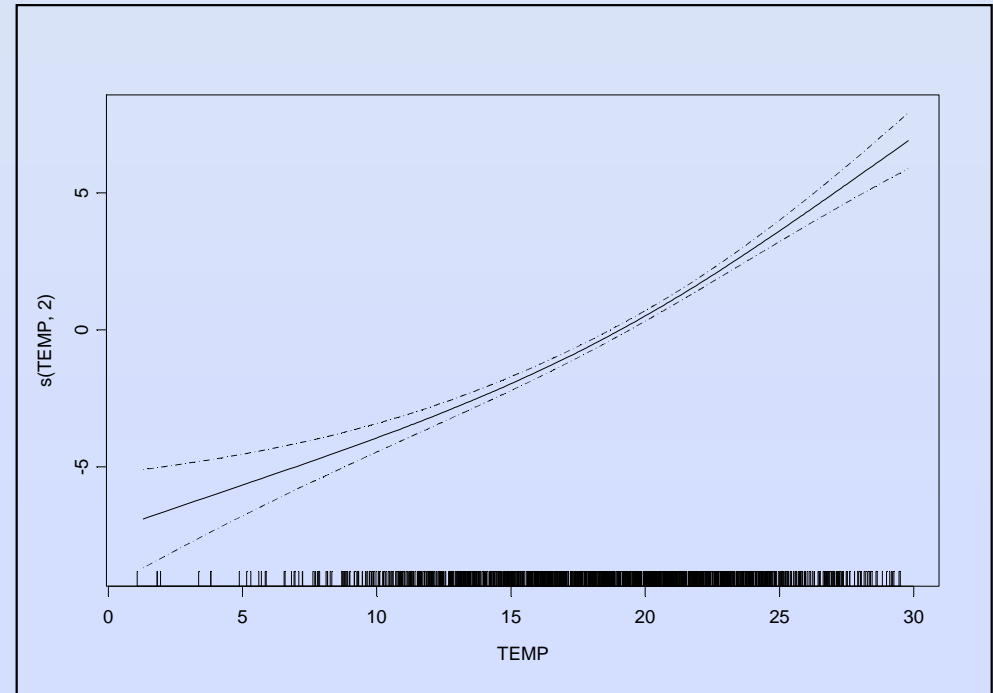
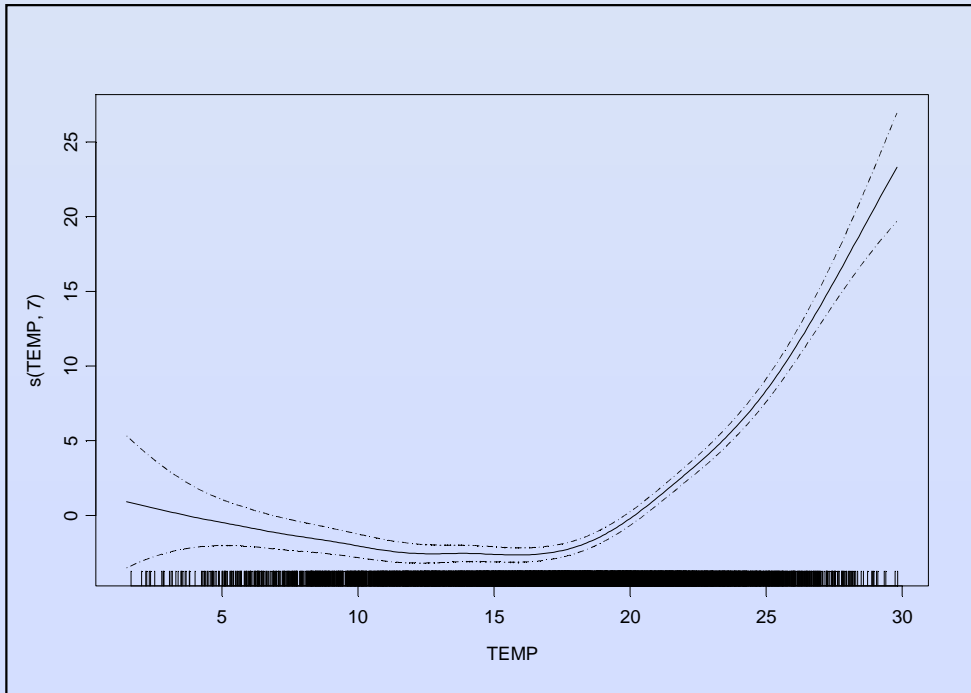
*²ÁNTSZ Közép-magyarországi Regionális Intézete,
Budapest*

- A klímaváltozás egészségi hatásai
- A hőséggel kapcsolatos korábbi hazai ismeretek
- Az utóbbi évek kapcsolódó vizsgálatai, elemzések
 - A hőség hatása a városi és vidéki lakosságra
 - 2007. évi hőségriasztás tapasztalatai, a hőhullám expozíció kistérségi modellezése
 - A hőségriadós napok és napi halálozás várható alakulása a RegCM modell alapján
- További feladatok, tervek

A klímaváltozás egészségi hatásai

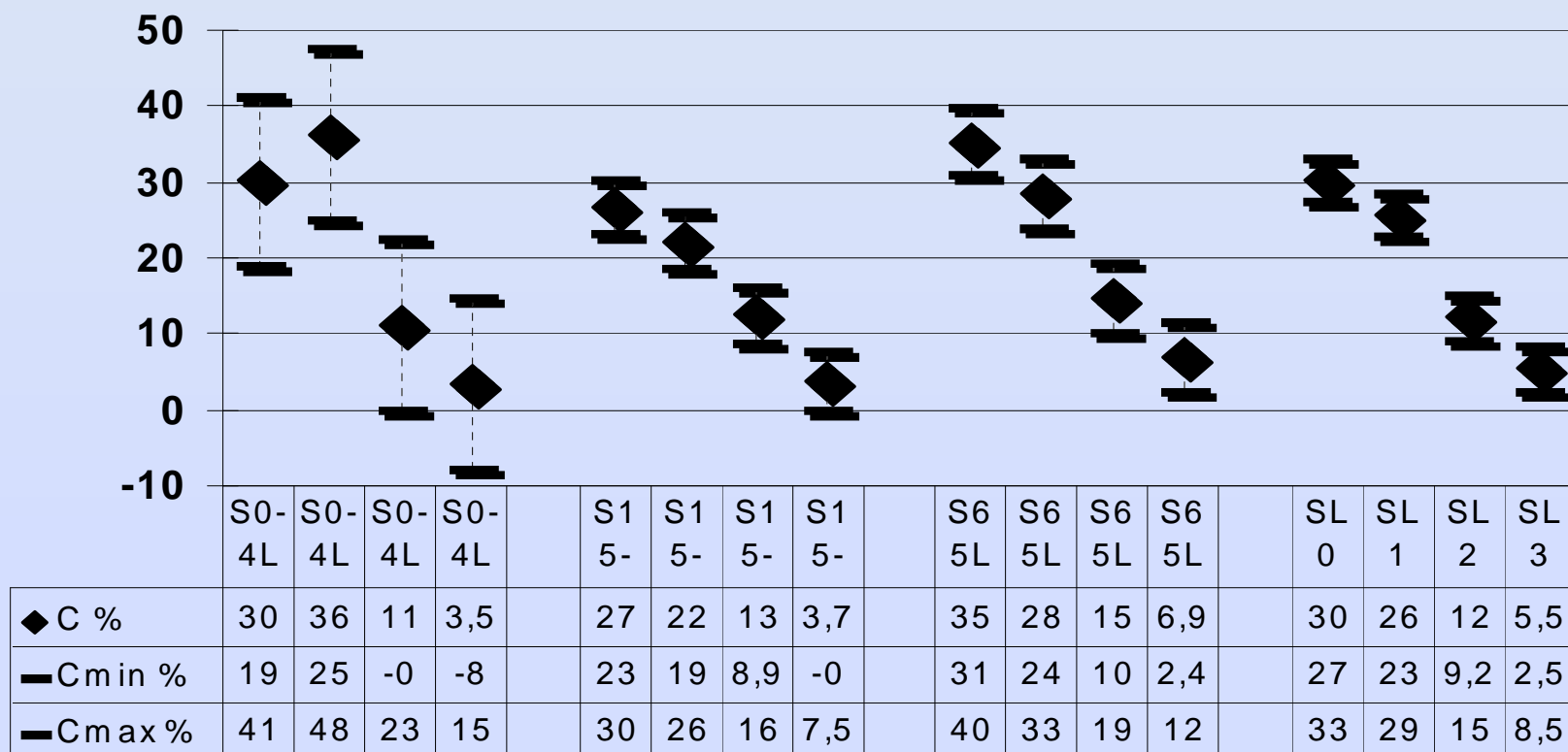


A hőséggel kapcsolatos korábbi hazai ismeretek



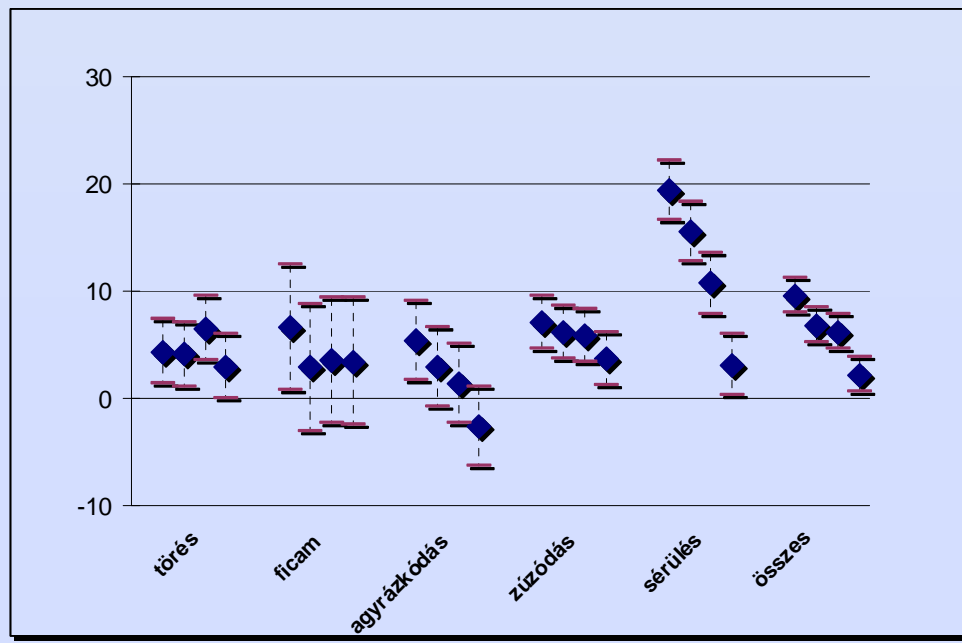
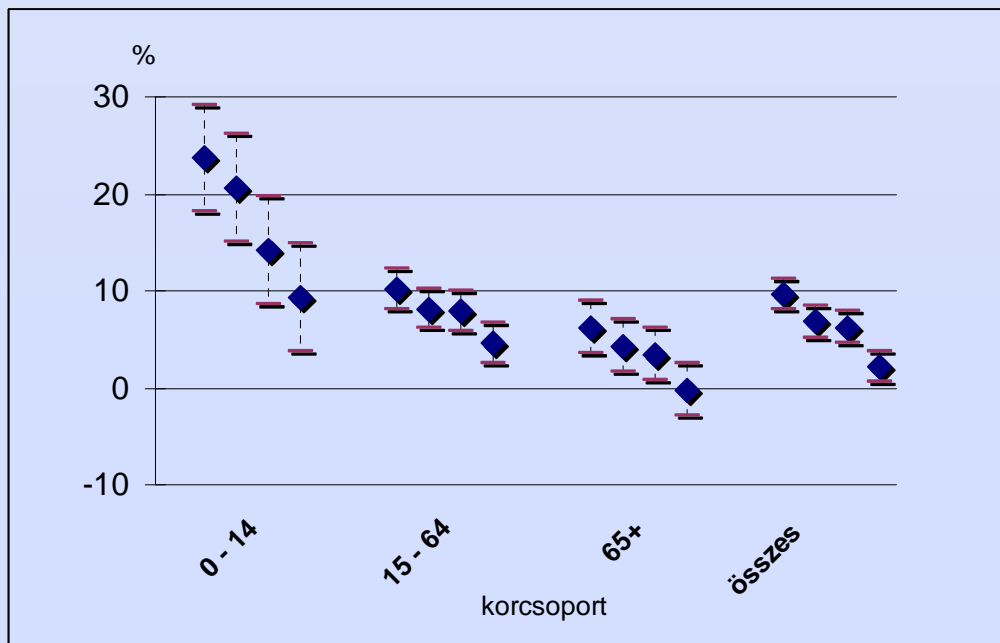
A napi átlaghőmérséklet (°C) és a napi halálozás (%) kapcsolata 1970-2000, valamint a napi sürgősségi mentőhívások 1998-2004 összefüggése a budapesti adatok alapján, nyári időszakra vonatkoztatva.

Rosszul meghatározott tünetek miatti hívások növekedése (%)



A hőmérséklet 10°C-os emelkedése növeli az általános rosszulétek miatti hívások számát, a teljes népességre vonatkoztatva mintegy 30%-os növekedést lehetett kimutatni.

A napi hőmérséklet 10°C-os emelkedése szignifikánsan megnöveli a balesetek miatti sürgősségi mentőhívások számát, a legnagyobb arányban (24%) a fiatalok csoportjában.

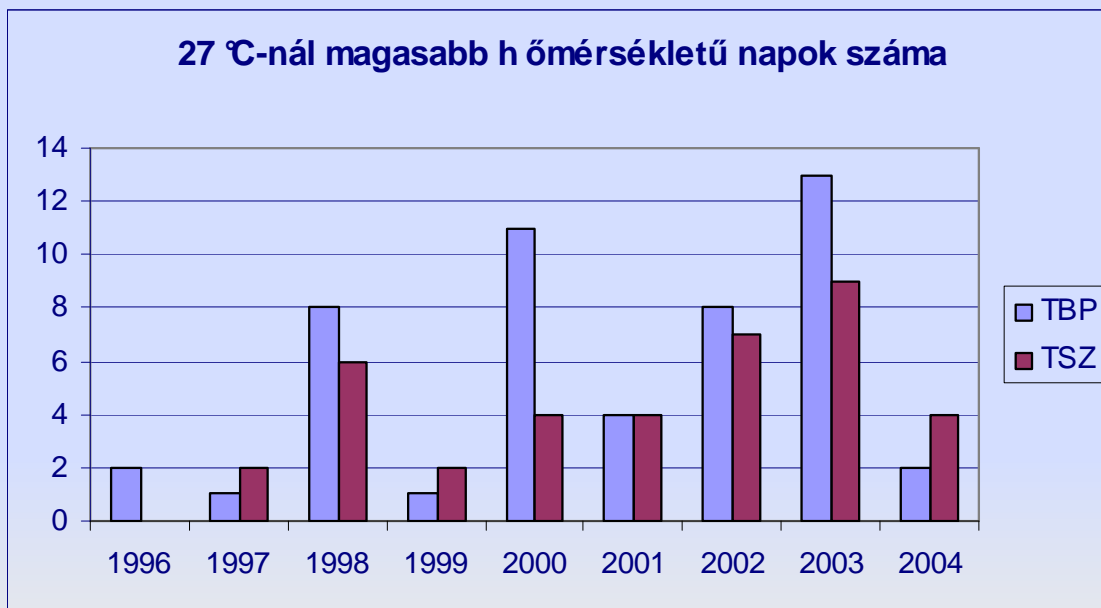
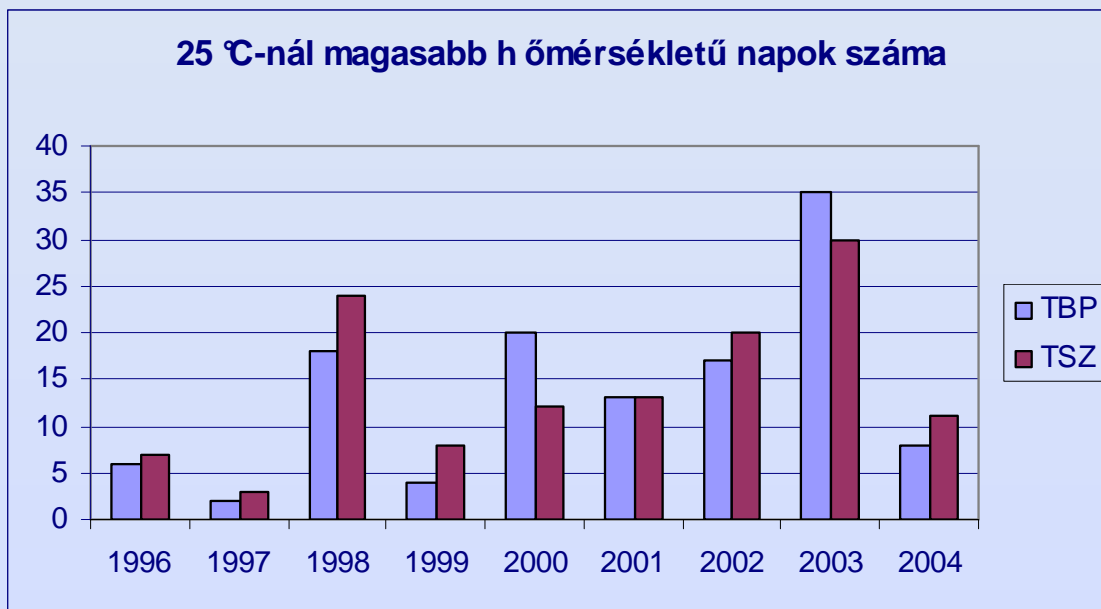


Baleset-típus szerint vizsgálva megállapítható, hogy a hőmérséklet emelkedésével legnagyobb arányban a sérülések gyakorisága változik, az első meleg napon 20%-kal szignifikánsan nő.

A hőség hatása a városi és vidéki lakosságra

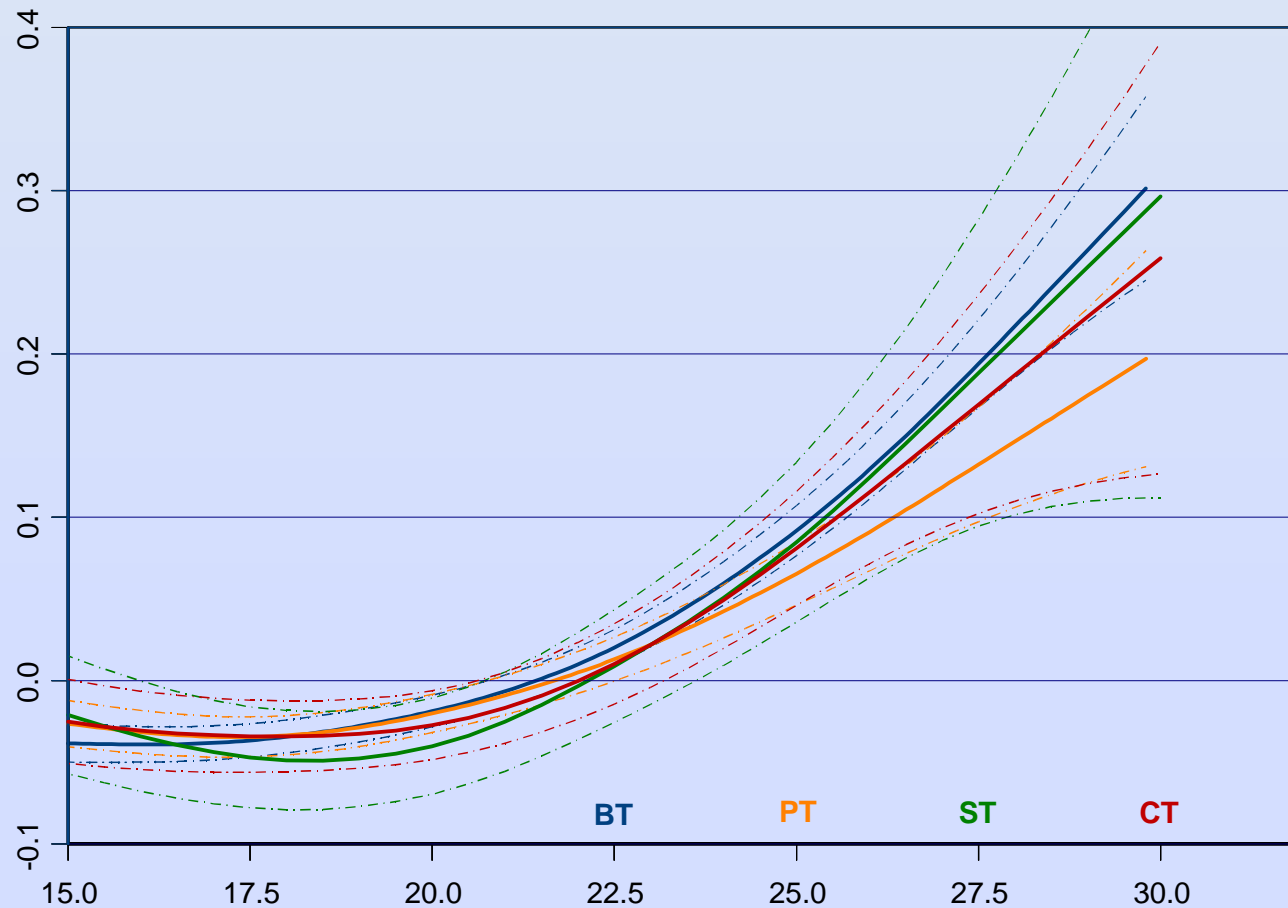
- Az elemzés vizsgálja a hőmérséklet napi összhalálásra vonatkozó hatását 1996-2004 között Budapesten és Pest megyében, illetve Szegeden és Csongrád megyében. A nem- és korcsoportos (0-64, 65-74, 75-100 év) bontású populációs és halálzási adatbázist értékeltük.
- A napi halálzási adatokat a Központi Statisztikai Hivatal bocsátotta rendelkezésre, a pestszentlőrinci, valamint a szegedi napi meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálatól kaptuk.
- Az összefüggéseket idősor analízissel, általános additív modellek (GAM) segítségével a nyári félévre (ápr.1.-szept. 30.) vizsgáltuk. A modelleket illesztettük a hosszú távú hatásokra, a szezonálisra és figyelembe vettük a hét napjaitól függő zavaró tényezőket is.

A hőmérsékleti viszonyok jellemzői:

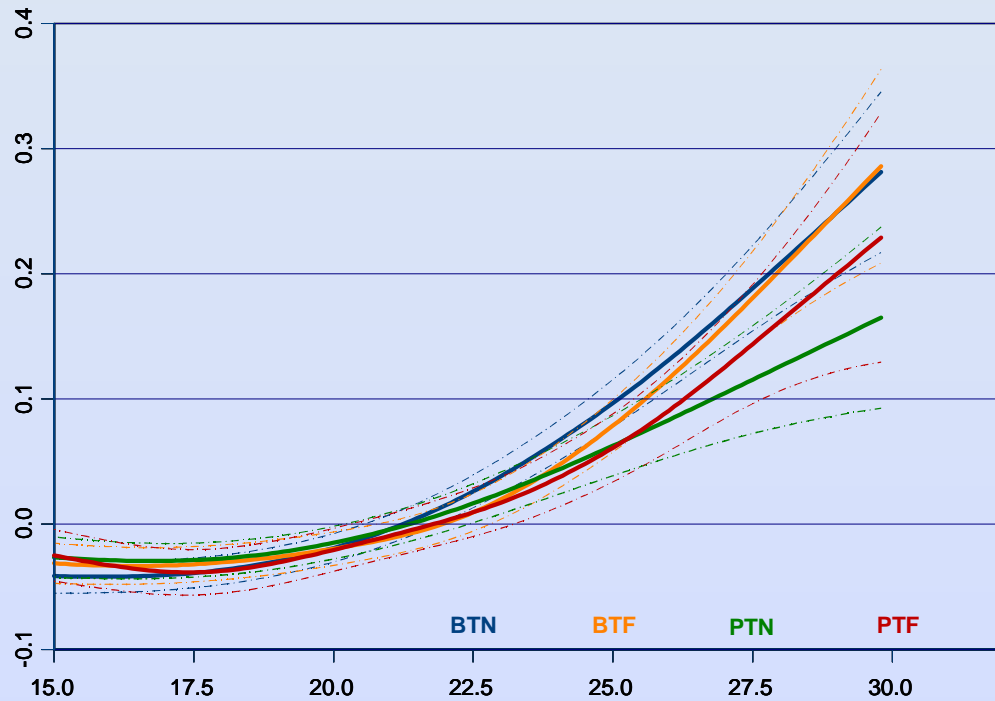


A 25°C és 27°C feletti átlaghőmérsékletű napok száma néhány évben Budapesten, máskor Szegeden volt magasabb. A vizsgált időszak alatt a 25 °C feletti napok száma Budapesten és Szegeden összesen 123, illetve 128 eset, a 27 °C feletti napok száma 50, illetve 38 eset.

A napi átlaghőmérséklet - napi halálozás összefüggése:

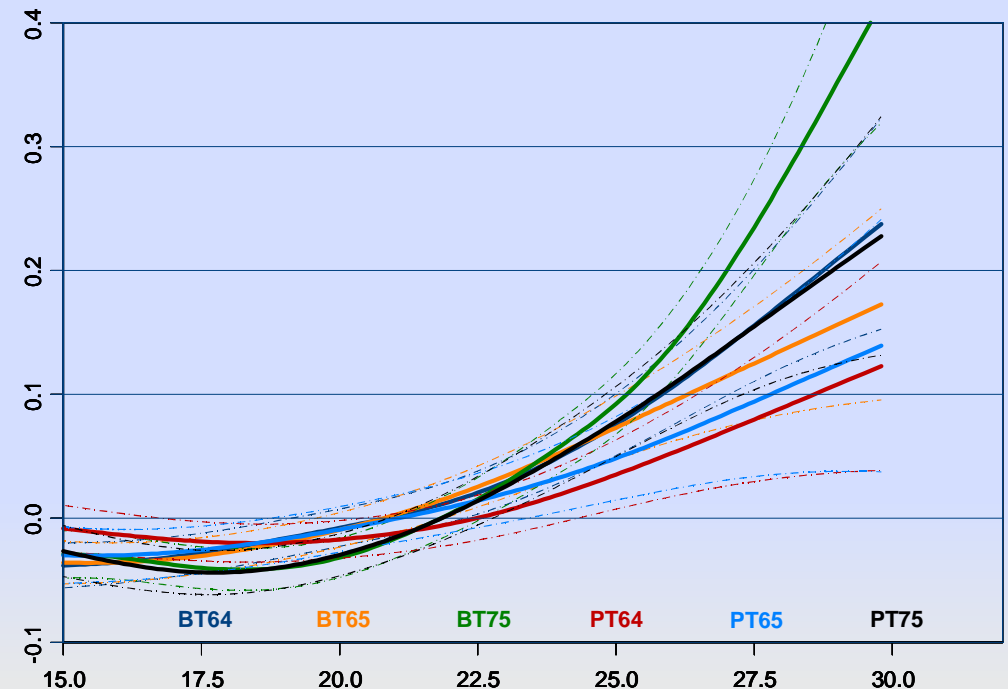


A négy területen a napi átlaghőmérséklet és a napi összhalálozás összefüggésének jelleggörbéi nem különböznek szignifikánsan egymástól, bár Budapest és Pest megye között kis különbség kimutatható.

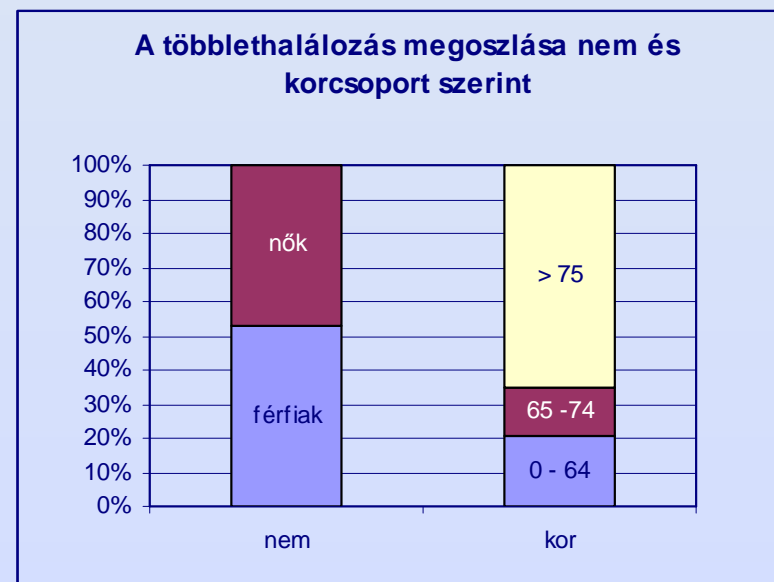
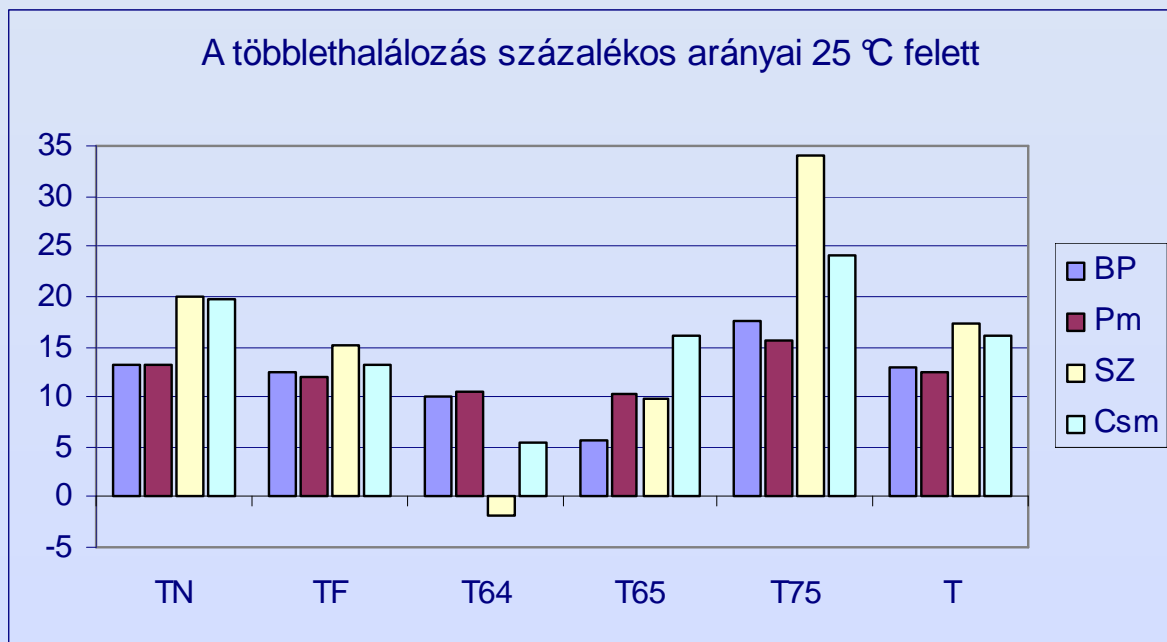


Budapesten a hőmérséklet hatása a nők és férfiak tekintetében azonos, Pest megyében a férfiak esetében kissé magasabb. Szegeden és Csongrád megyében fordított a helyzet, azonban sehol nem különböznek szignifikánsan.

Minden térségben az idősek (75+) csoportjában magasabb a napi halálozás. A nagyvárosokban a 0-64 éves korosztály halálozására nagyobb mértékben hat a hőmérséklet emelkedés, mint a 65-74 éves csoportban.



A napi többlethalálozás jellemzése:



Az összes többlethalálozás együttesen a négy térségre évente átlagosan 201 eset, területi eloszlása a lakosság számok arányaihoz hasonló, a férfiaknál kicsit magasabb a nőkhöz képest. Legtöbb haláleset az idősek körében jelentkezett, a 0-64 éves korcsoportban történt többlethalálozás meghaladja a 20%-ot, ami éves szinten több mint 40 esetet jelent.

Összefoglalás:

- A vizsgált időszak alatt a nyári hőmérsékleti viszonyok az ország középső és déli területén hasonlóan alakultak.
- A hőmérséklet összhalálózásra gyakorolt hatásában alapvető területi eltéréseket nem találtunk.
- A többlethalálózásban nemek közötti különbség nem figyelhető meg.
- A magas hőmérséklet az idősek mellett, a nagyvárosokban a 0-64 éves korcsoportban is jelentős hatás fejt ki.
- A 25°C feletti napokon a vizsgált térségekben 12-16 %-al növekszik a napi összhalálózás, ez évente átlagosan 200 többlet halálesetet jelent.
- A lakosság száma és korösszetétele - különösen a Középmagyarországi Régióban - jelentősen változott 1996 és 2004 között.

A 2007. évi hőségriasztás tapasztalatai, a hőhullám expozíció kistérségi modellezése

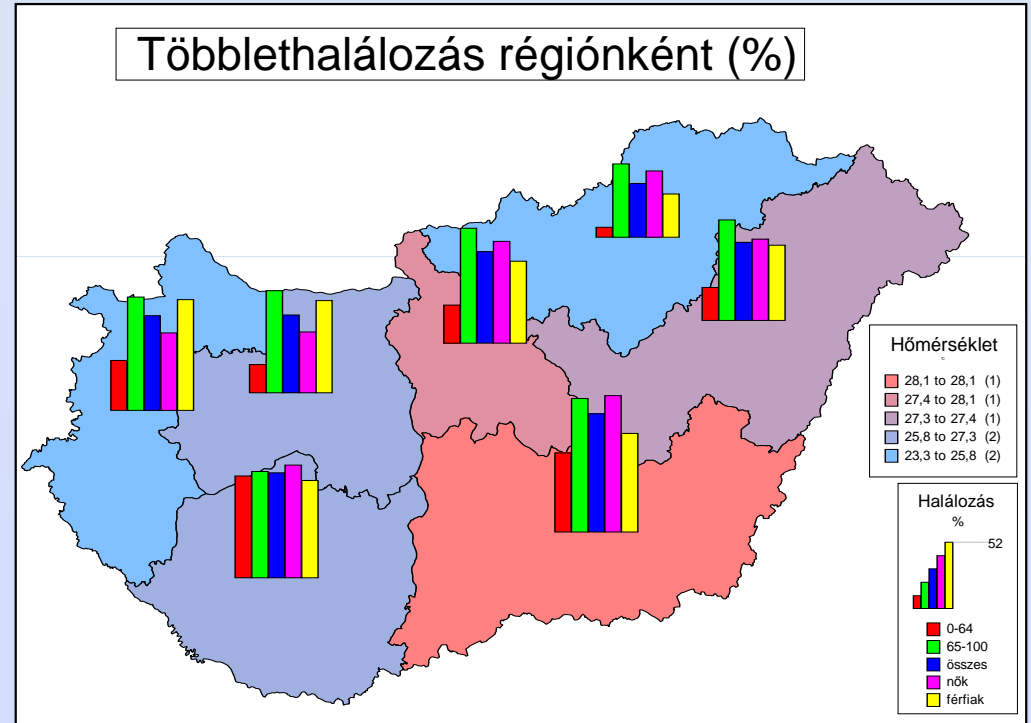
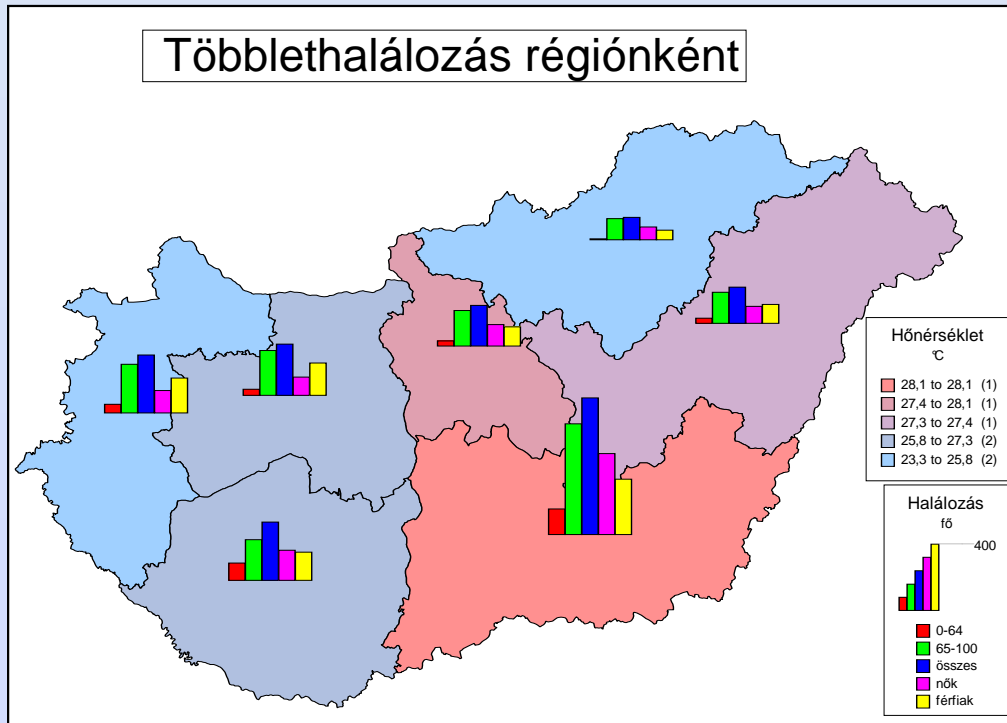
- Közép- és Kelet-Európát rekordokat döntő forróságú hőhullám érte el 2007. július 16-25. között, hazánkban ez volt az eddig mért legmelegebb időszak.
- A napi átlaghőmérséklet több helyen meghaladta a 30 °C-ot, július 20-án a hazai rekordot - 41,9 °C-ot - Kiskunhalason regisztrálták.
- A valós idejű adatgyűjtésre alapozott korábbi elemézést kiterjesztettük a hőhullám hatásának regionális, valamint a nagyvárosokban végzett vizsgálataival.
- Az értékeléshez a Központi Statisztikai Hivatal kistérségi szintű napi halálózási, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat 70 mérőállomásának napi hőmérsékleti adatait használtuk jún.1. és aug. 31. közötti időszakban.

Extrém meleg 2007 júliusában :

°C	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7
júl. 16.	21,9	26,5	25,6	25,5	22,8	25,3	25,5
júl. 17.	27,1	26,8	26,1	26,5	23,6	26,3	27,0
júl. 18.	28,1	27,7	25,6	27,9	24,6	27,7	27,5
júl. 19.	28,9	29,3	29,6	29,5	21,5	29,0	29,7
júl. 20.	30,2	29,0	27,7	29,9	22,5	28,5	30,1
júl. 21.	30,3	29,7	26,2	30,5	26,2	29,6	29,6
júl. 22.	28,9	27,9	24,2	27,0	24,8	26,3	29,2
júl. 23.	27,4	25,1	21,4	22,9	24,1	27,0	28,8
júl. 24.	26,5	26,1	23,3	20,9	21,9	26,3	26,8
júl. 25.	24,8	22,0	21,0	17,9	21,3	26,6	26,9
			> 25 °C	> 27 °C	> 30 °C		

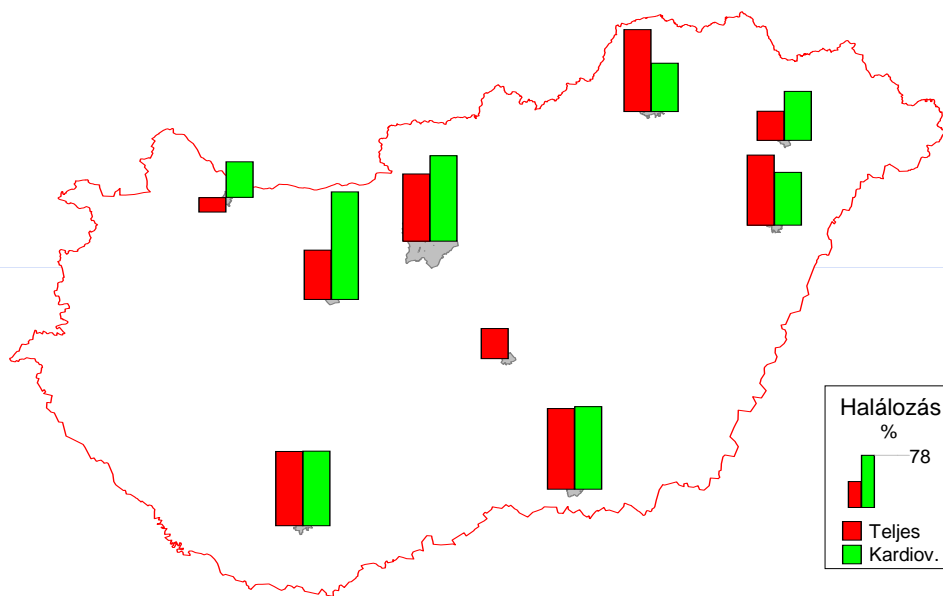
Az országos átlaghőmérséklet több napon 25°C felett volt, július 20-án 28,9°C-ot ért el. Három régióban 30°C feletti régiós átlagokat regisztráltak. Az Észak-Magyarországi Régióban (R-5) lényegesen alacsonyabb napi átlaghőmérsékletek alakultak ki.

A hőhullám alatti többlethalálozás:

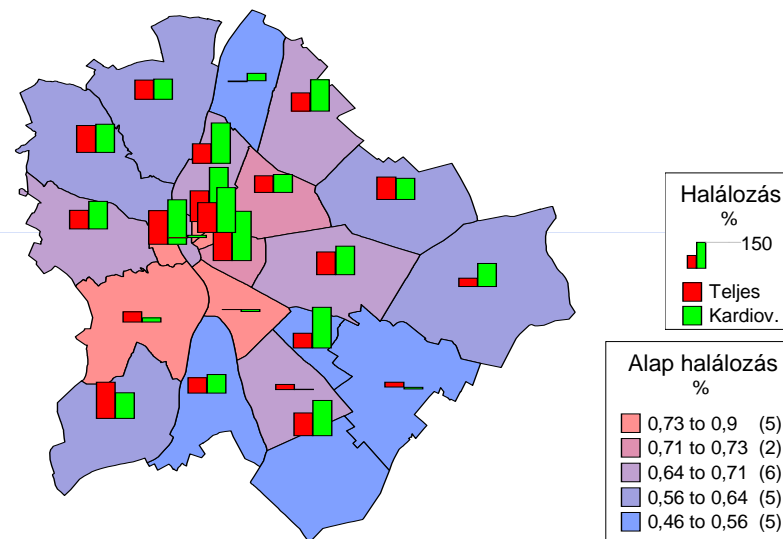


A többlet halálesetek száma az R-7 régióban a legmagasabb (396 eset), az R-5 régióban a legkevesebb (66 eset). A többlethalálozás százalékos értékei 20,3% és 44,5% között változnak, míg a kardiovaszkuláris halálozás növekedése 25,0% és 57,7% közötti érték.

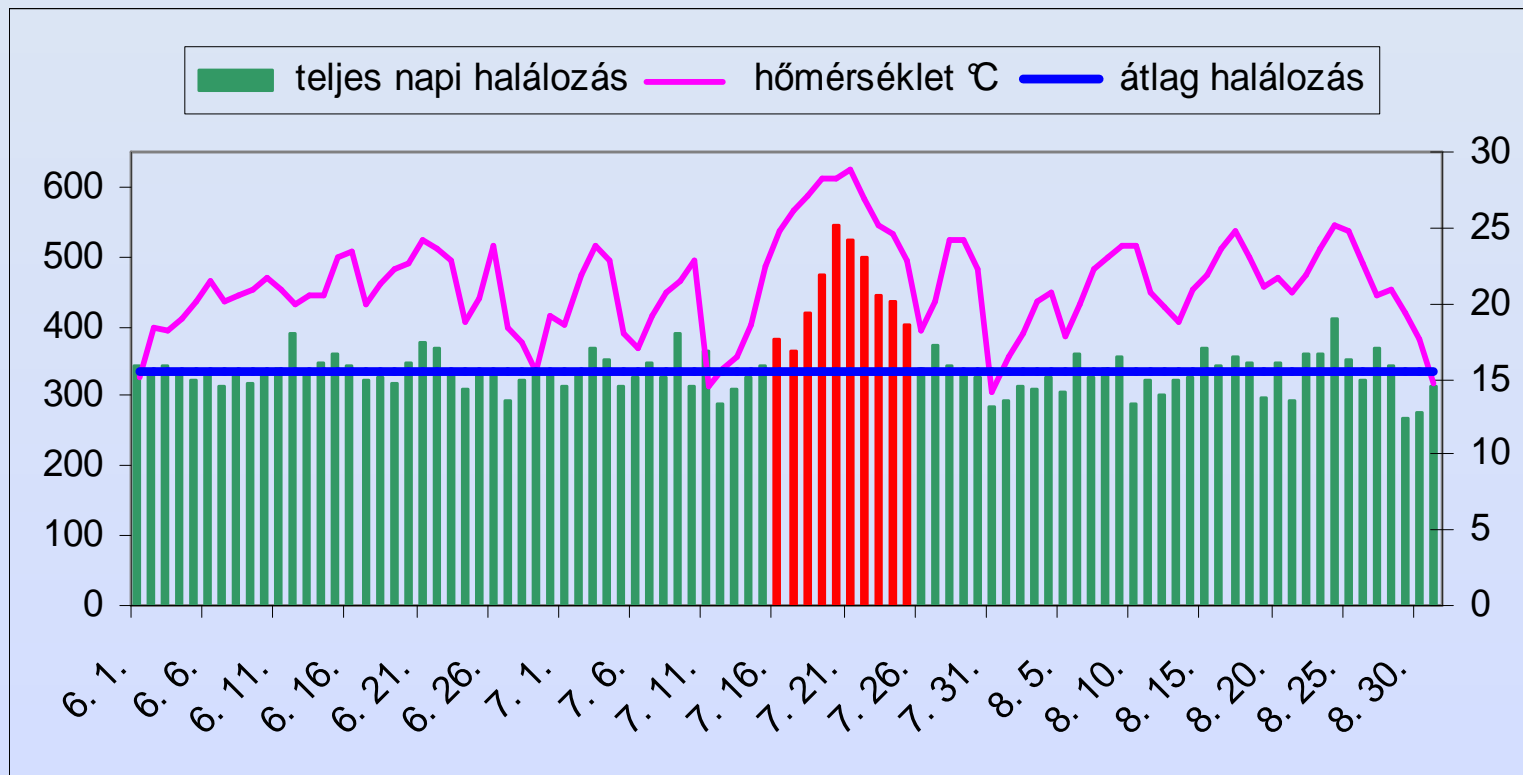
Többlethalálozás a nagyvárosokban (%)



Többlethalálozás kerületenként (%)

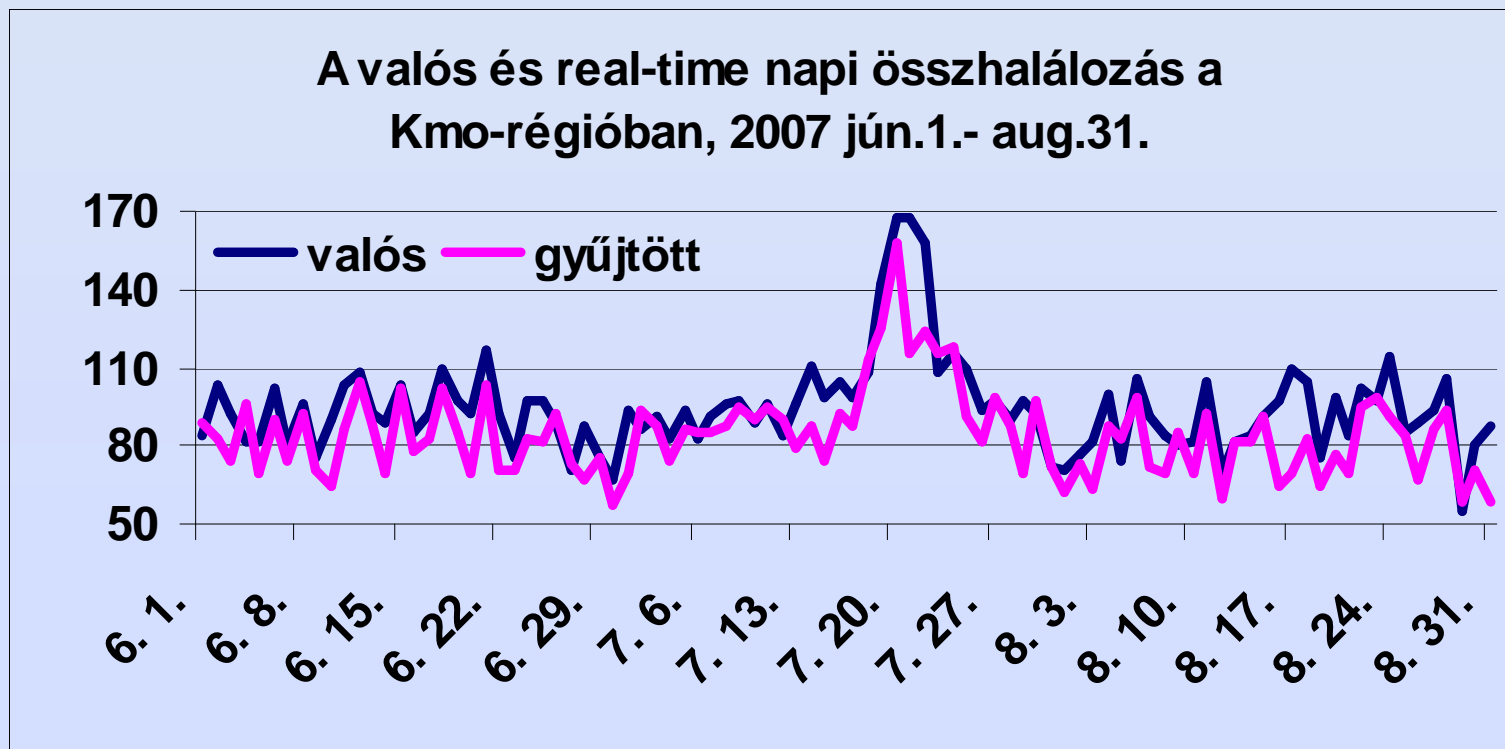


A hóhullám alatt néhány városban a teljes halálozás növekedése a kardiovaszkuláris többlethalálozáshoz képest magasabb, egy-két városban negatív értékek is előfordultak. A 10 nap alatt a 9 városban 405 többlethalálozási eset történt. Budapesten a teljes többlethalálozási arányok -2,9% és 148,6% között változtak, összességében 267 esetszámmal.



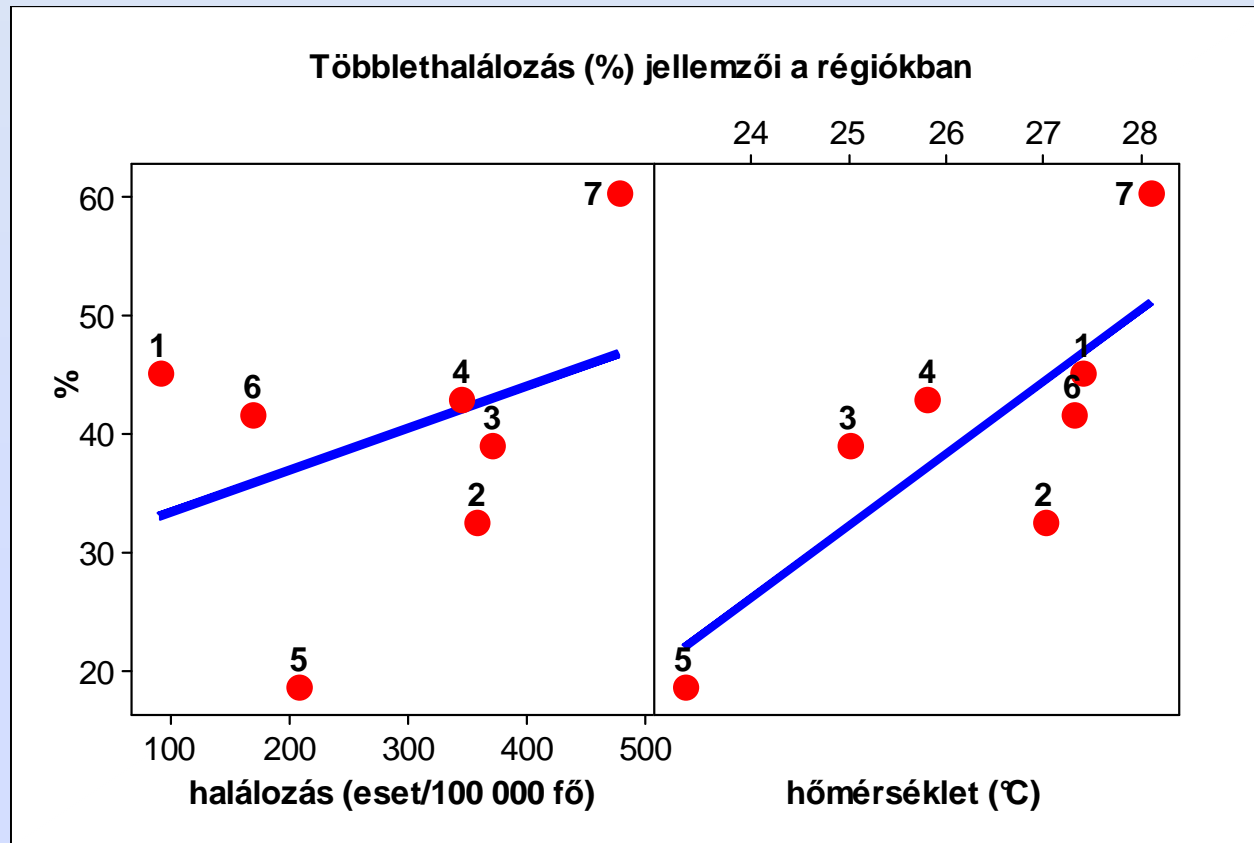
A napi országos halálozás - átlagosan 344 eset - a hőhullám alatt jelentősen megemelkedett. A maximális 63%-os növekedést július 20-án érte el 547 esetszámmal. A 10 napos hőhullám alatt az országban 1158 többlethalálozás eset történt, ami 36,2% növekedést jelent, ez a nők-férfiak esetében 36,4% és 33,2%. A fiatalabb korosztálynál 20,2%, míg az idősebbek esetében 41,0% növekedés mutatható ki.

A valós és real-time gyűjtött halálzási adatok viszonya:

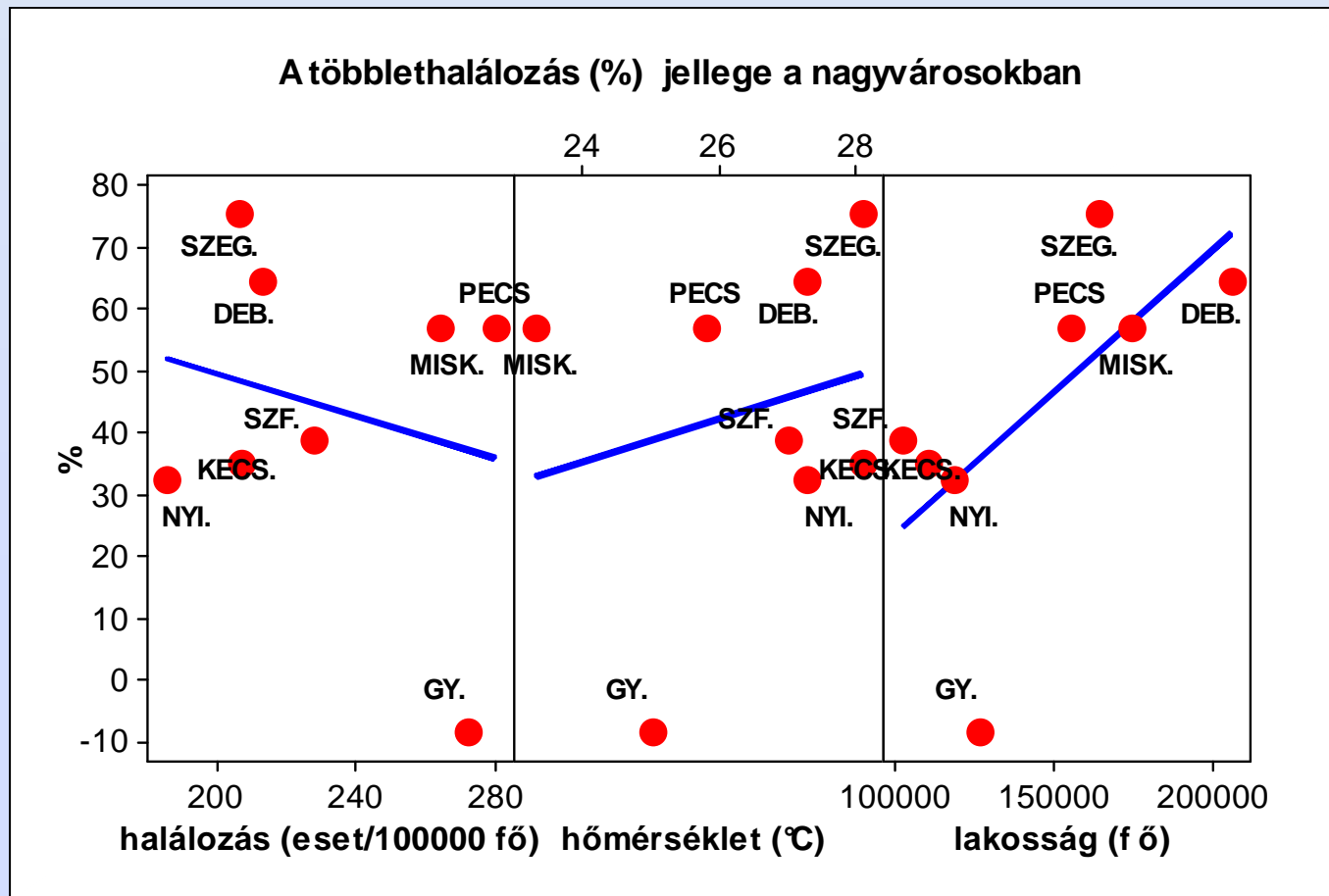


A 2007-ben *gyűjtött* napi halálzási adatok 90,5%-ban fedik le a *hivatalos* halálzást, az adatok lefutása - néhány nap kivételével - jól illeszkedik.

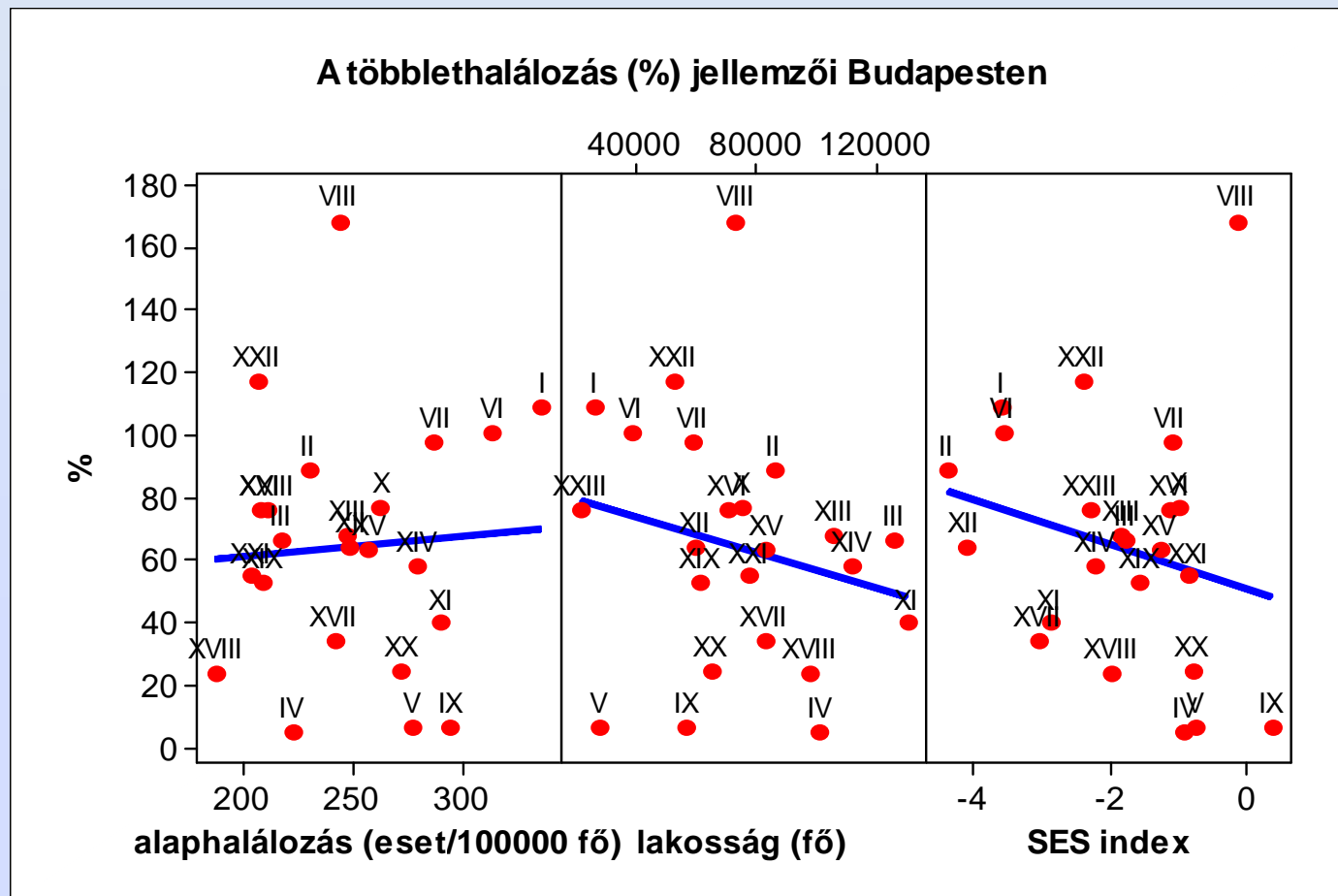
A többlethalálózást befolyásoló tényezők:



A régiók esetében tendencia jellegű (nem szignifikáns) összefüggés tapasztalható a többlethalálózás és az alap halálozási arányok között, és szignifikáns ($6,0\%/^{\circ}\text{C}$, $p=0,030$) a kapcsolat a hőhullám alatti régiós átlaghőmérsékletek esetében.



A vidéki városoknál szintén tendencia jellegű - nem szignifikáns - összefüggések valószínűsíthetők.



Budapesten a kiugró értéket mutató VIII. kerületet kihagyva a többlethalálozás és SES index között szignifikáns (-13,8%/1egység, $p=0,015$) összefüggés mutatható ki.

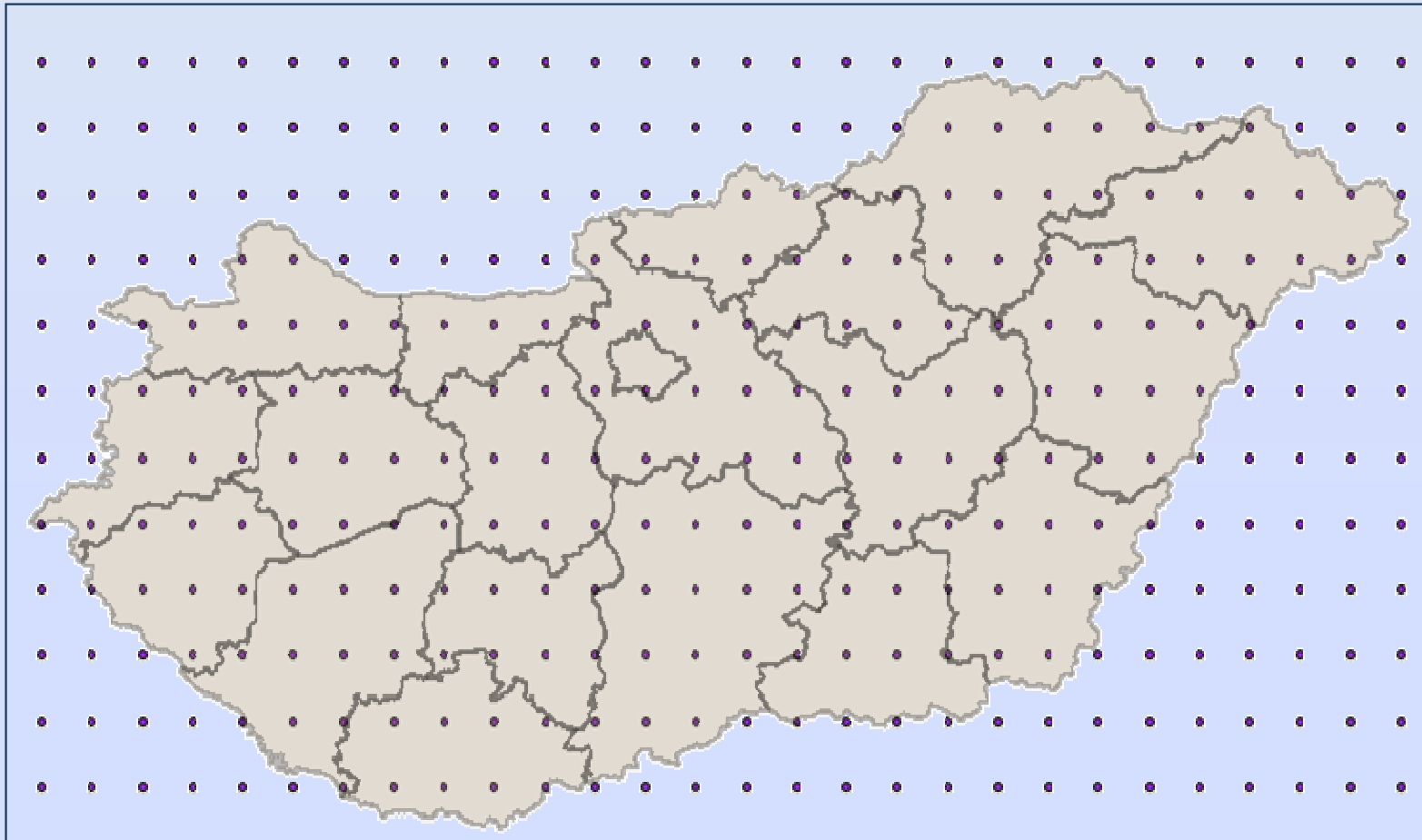
Összefoglalás:

- Az extrém hőhullám alatt az egyes régiókban eltérő mértékű - a helyi hőmérséklettel szignifikánsan összefüggő - többlethalálozás történt.
- Az északi és nyugati régiókban - bár az átlaghőmérséklet általában alacsonyabb - mégis lehetett észlelni jelentős többlethalálozást a hőmérséklet emelkedésekor.
- A tapasztalatok alapján célszerűnek látszik, szükség szerint a regionális szintű hőségriasztás elrendelése.
- Az országos adatok alapján a napi halálozás átrendeződését ("harvesting hatás") nem lehet megerősíteni, a hőhullám alatt történt többlethalálozás valódi halálozási többletet jelent.
- Az elemzésekből kiderült, hogy a munkaképes korosztály is érintett, elsősorban a nagyvárosokban.

A 2007. évi hőhullám expozíció, egészségi hatás és módosító tényezők összefüggésének kistérségi modellezése

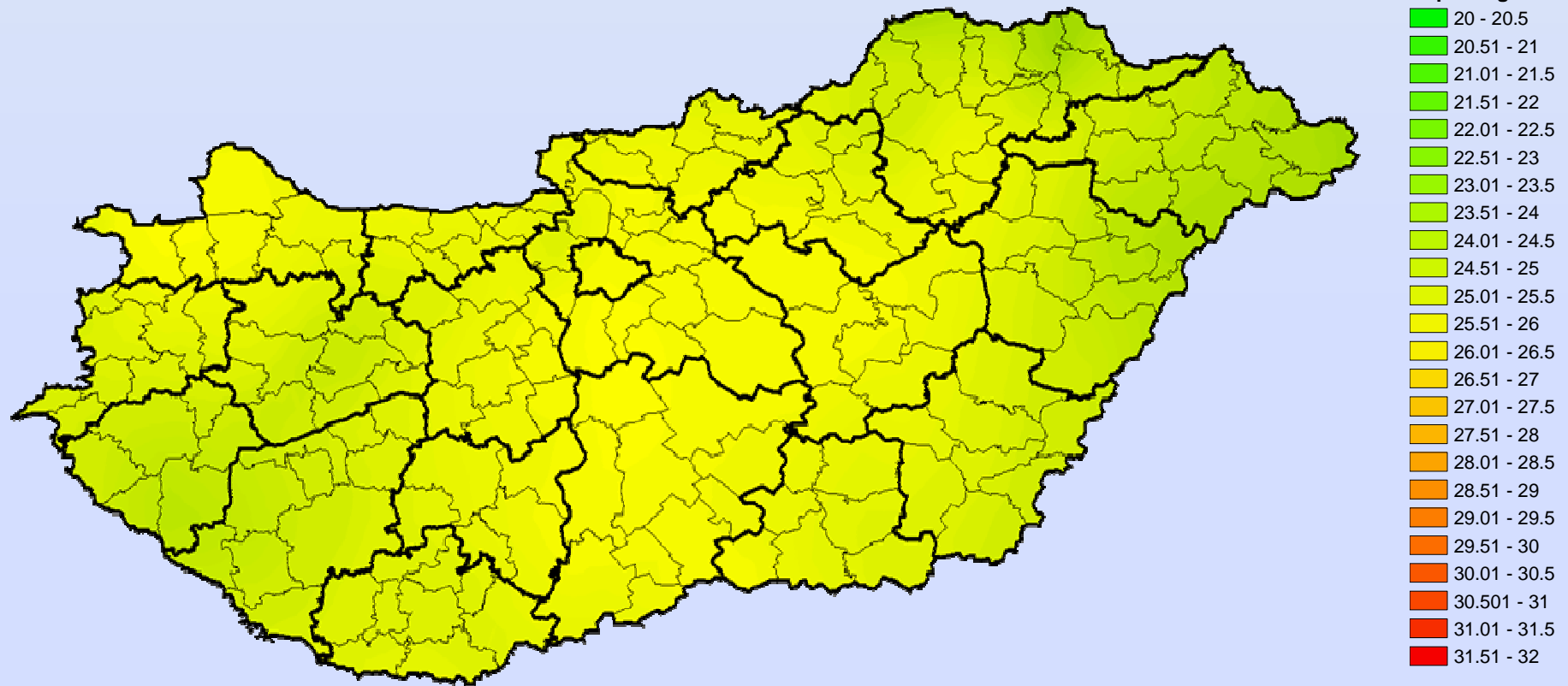
- Az elemzésben arra kerestek választ, hogy a 2007. évi extrém hőhullám hatása a földrajzi tájegységek szerint különböző-e.
- A napi halálozási adatokat a Központi Statisztikai Hivatal, a napi hőmérsékleti adatokat az European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)
- A hőmérsékleti, társadalmi-gazdasági indikátorok település szintű adataiból populációsúlyozott átlagolással határozták meg a kistérségi faktorokat.
- A vizsgálatban a kistérségi szintű többlethalálozás tér-epidemiológiai vizsgálatát a Rapid Inquiry Facility (RIF), a tér-regressziós elemzéseket (halálozás és a hőmérsékleti, társadalmi-gazdasági faktorok között) a WinBUGS szoftver segítségével végezték.

European Climate Assessment & Dataset - rácshálózata

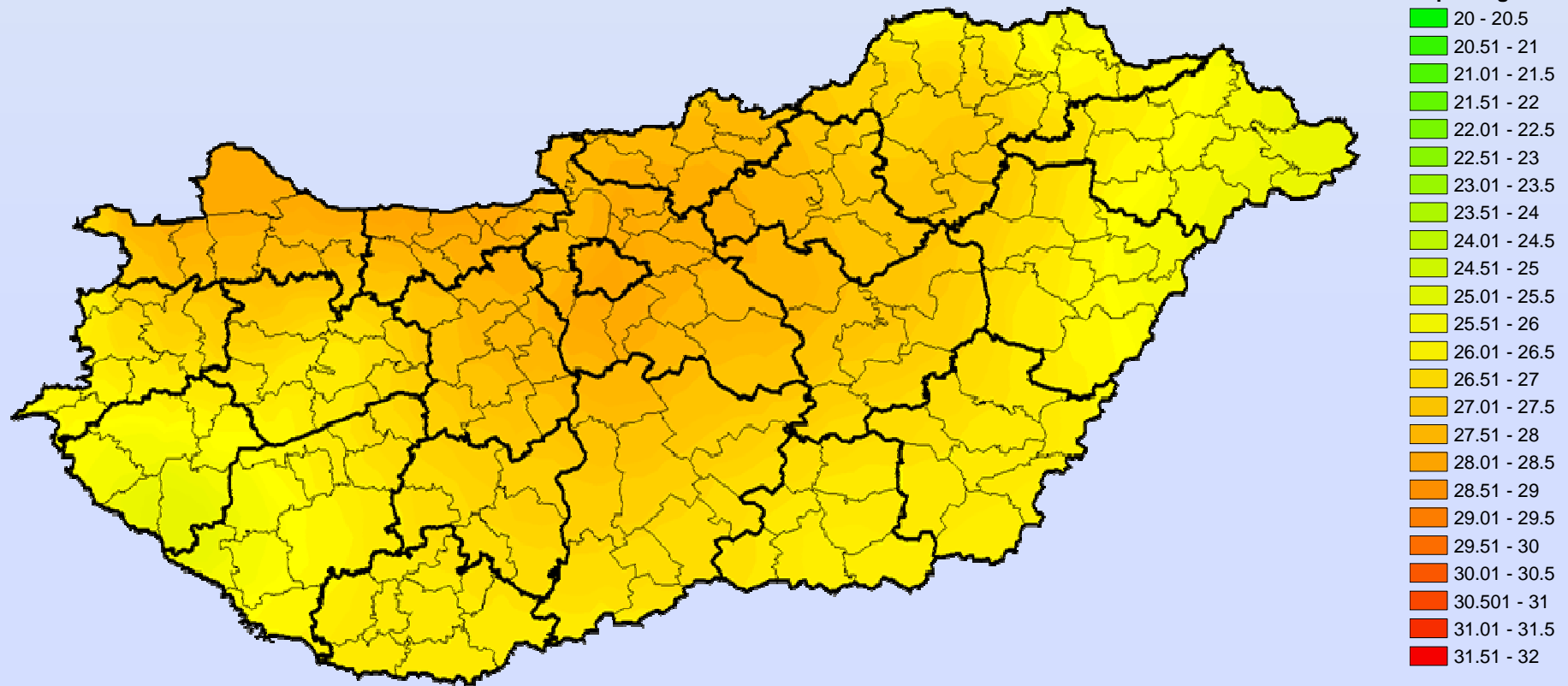


Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New (2008), A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, J. Geophys. Res., 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.

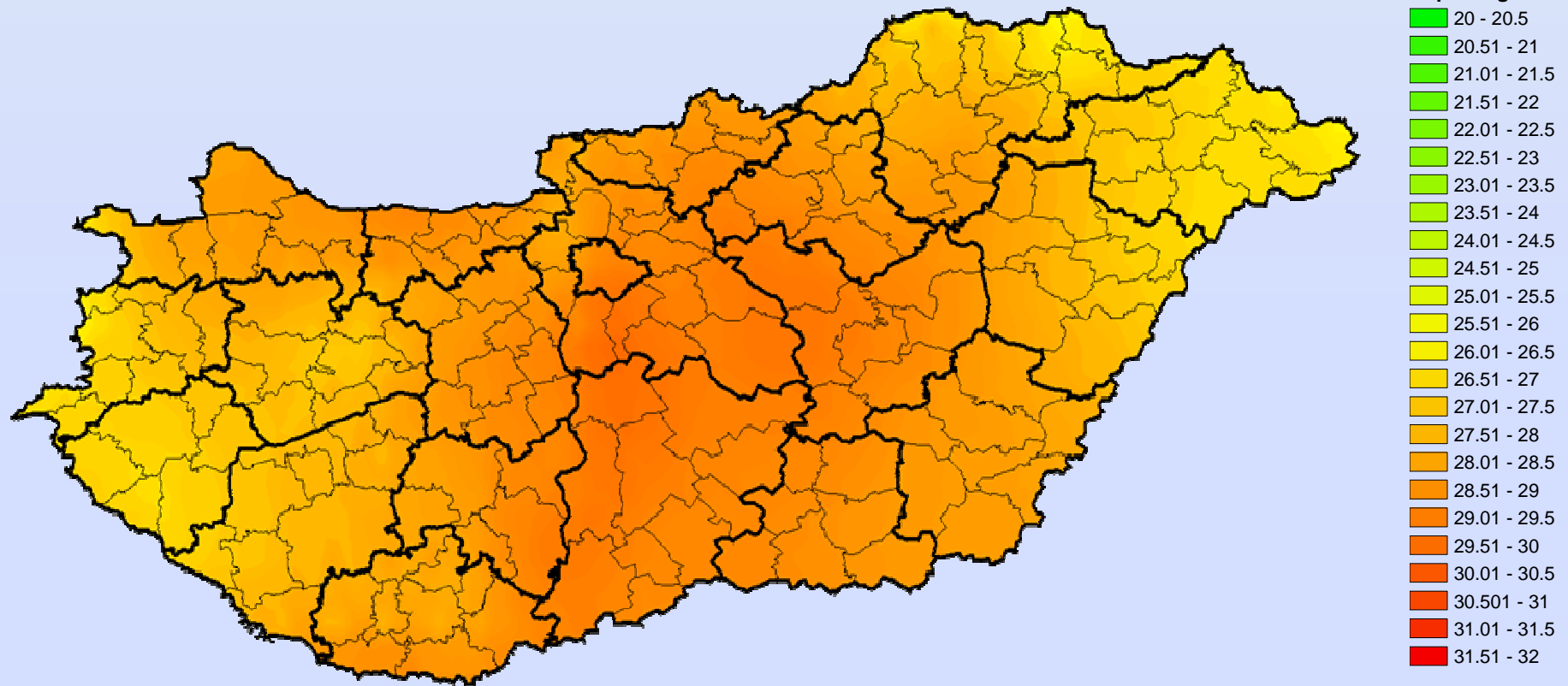
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 15.



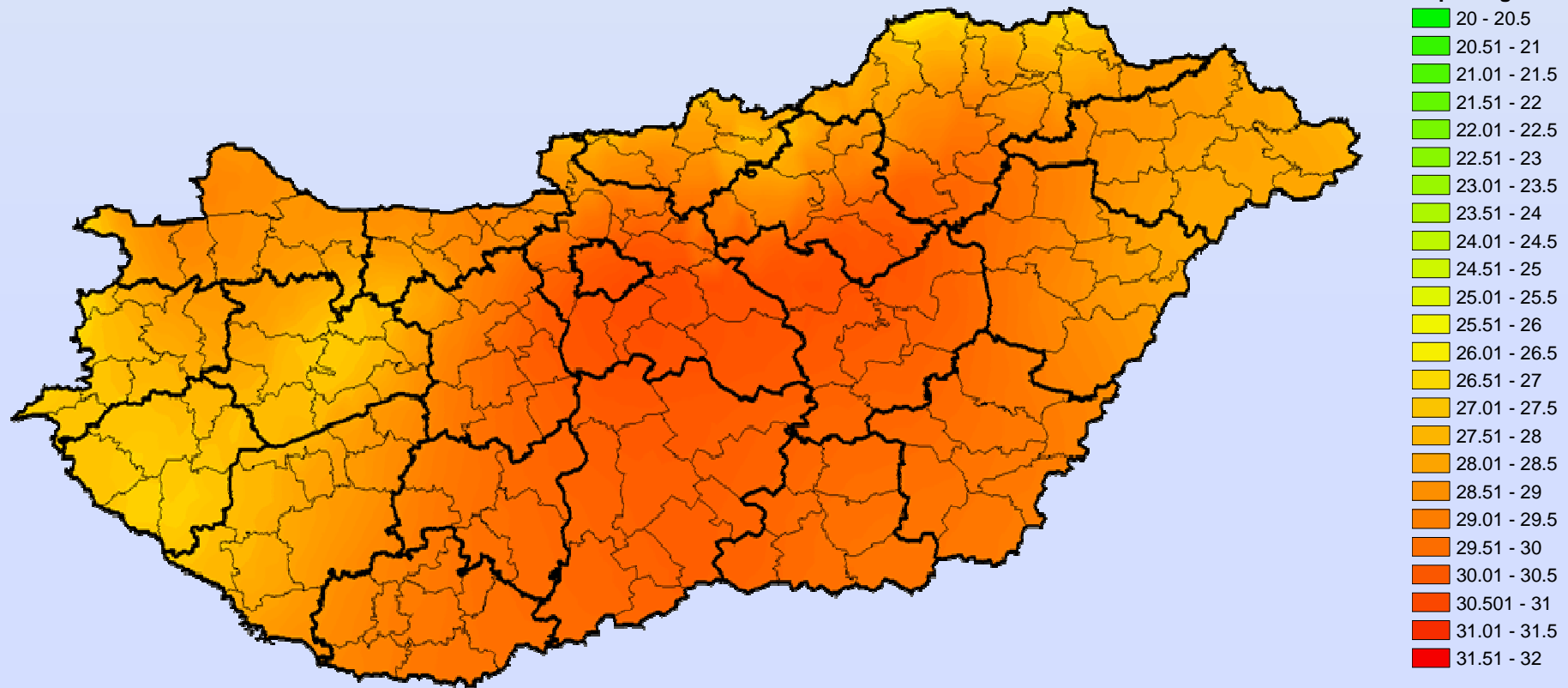
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 16.



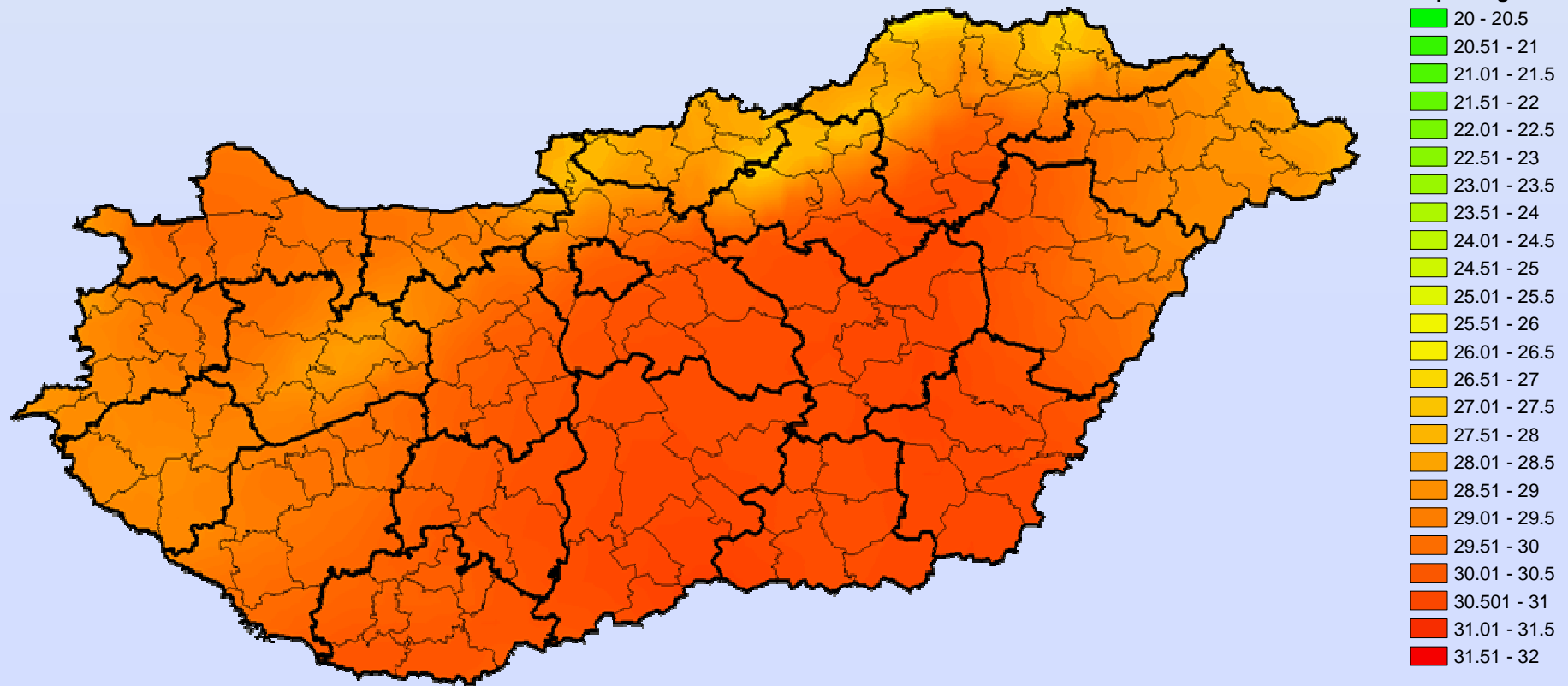
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 17.



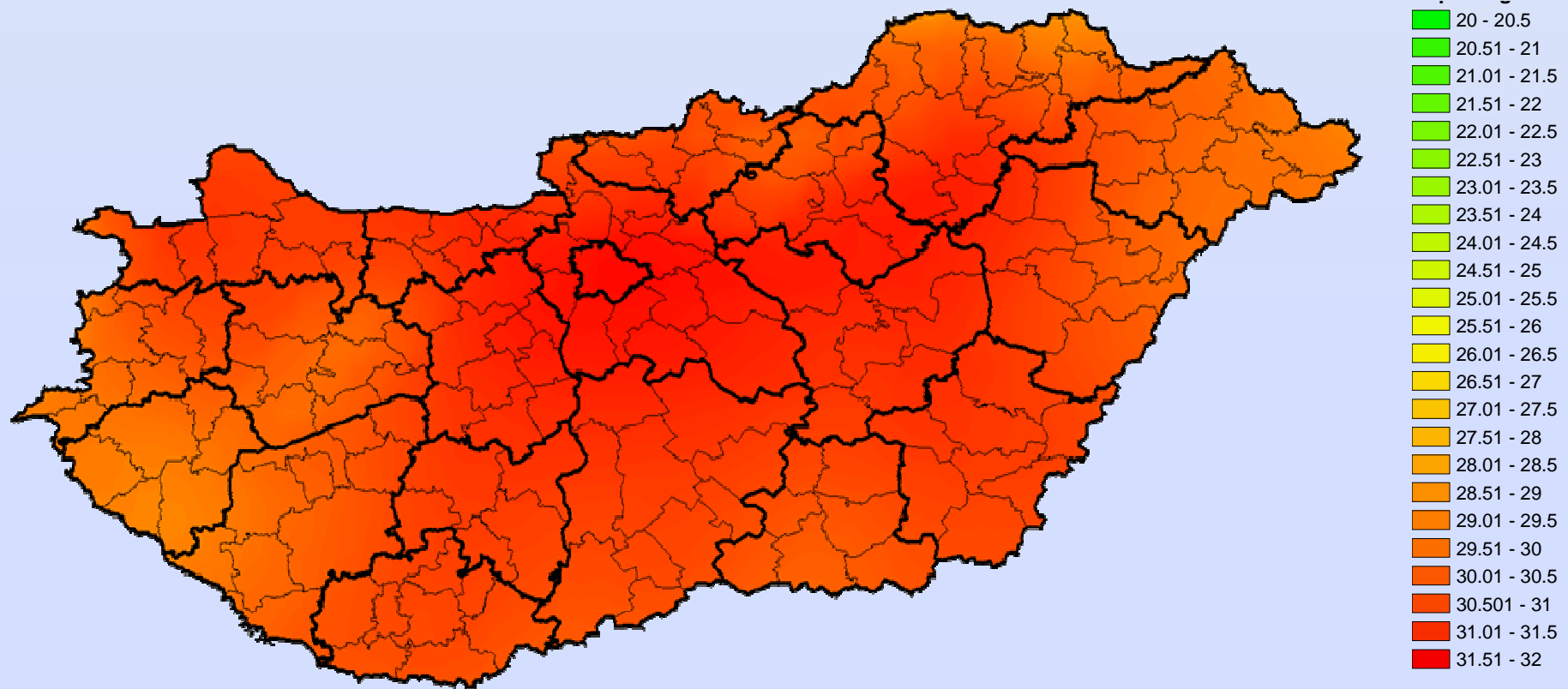
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 18.



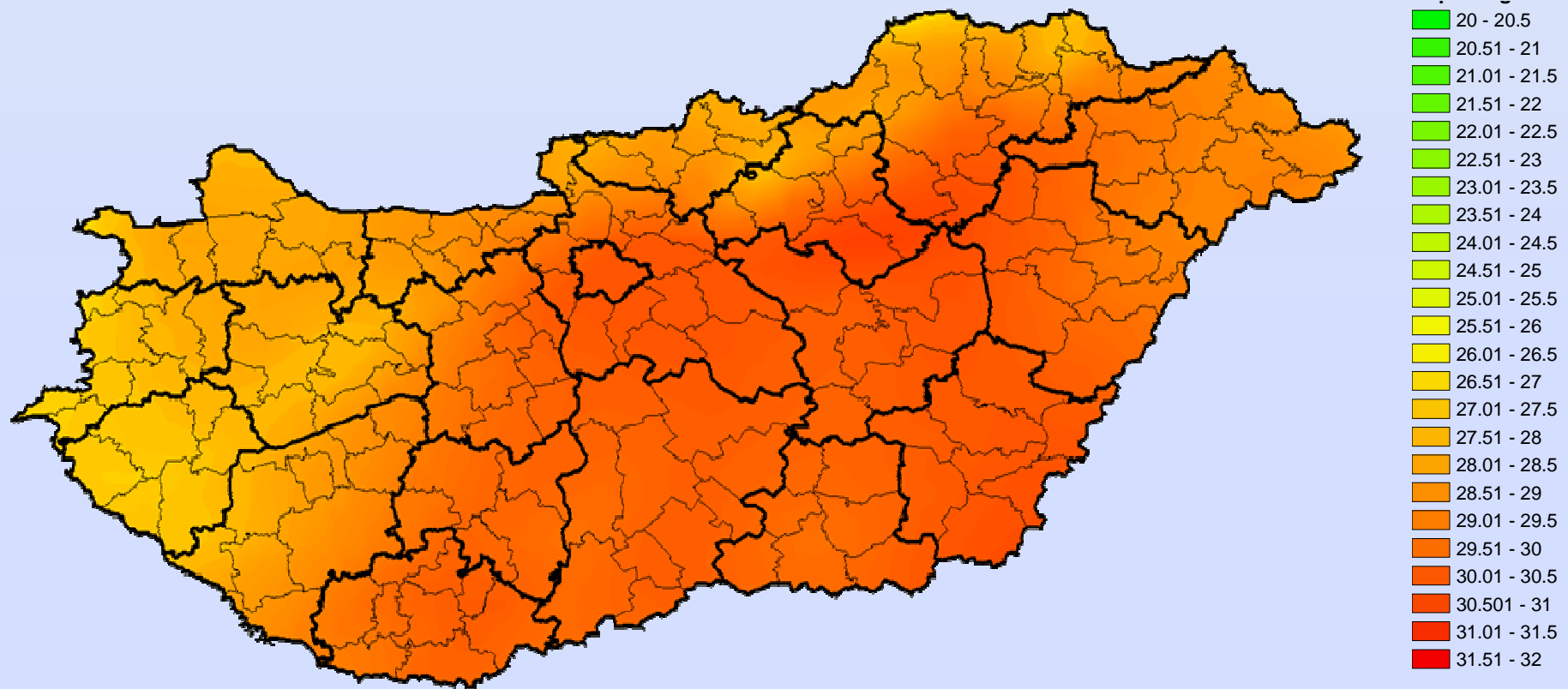
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 19.



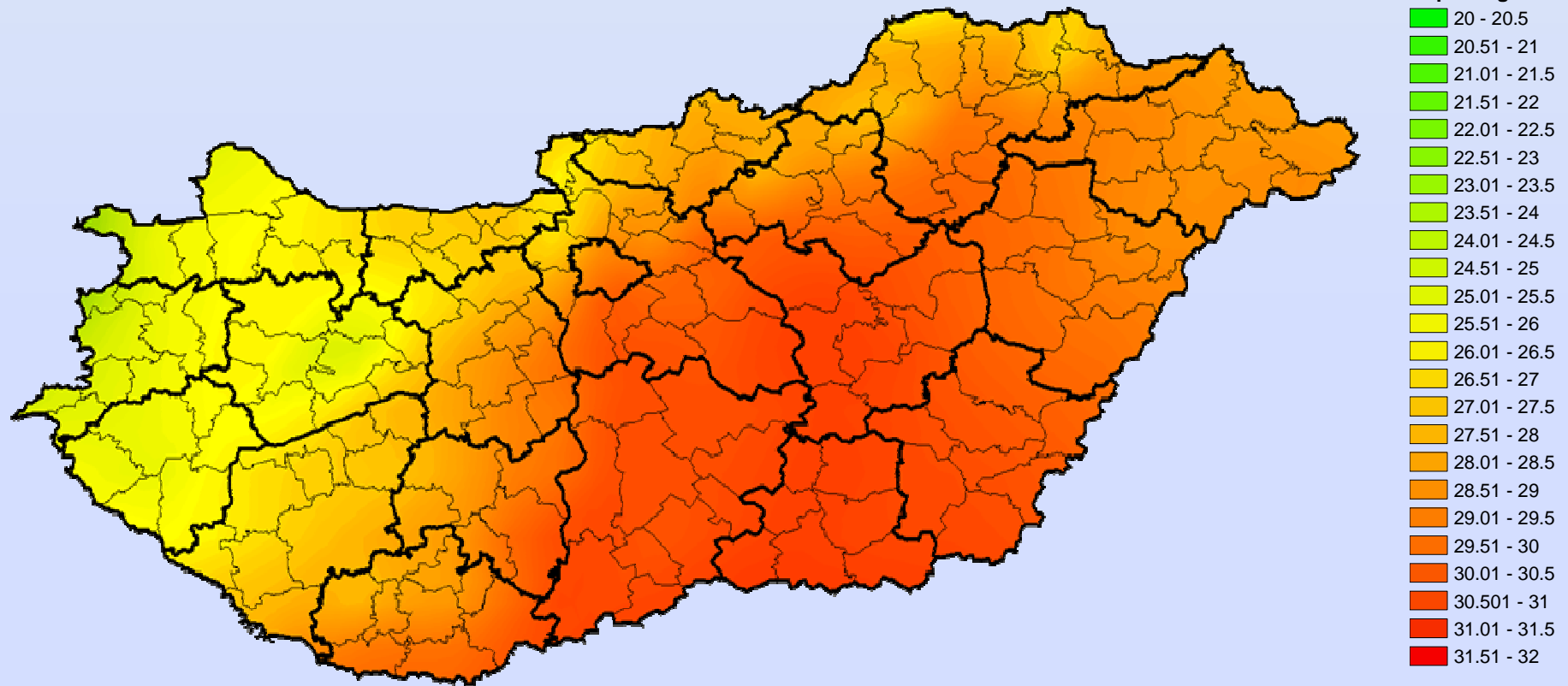
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 20.



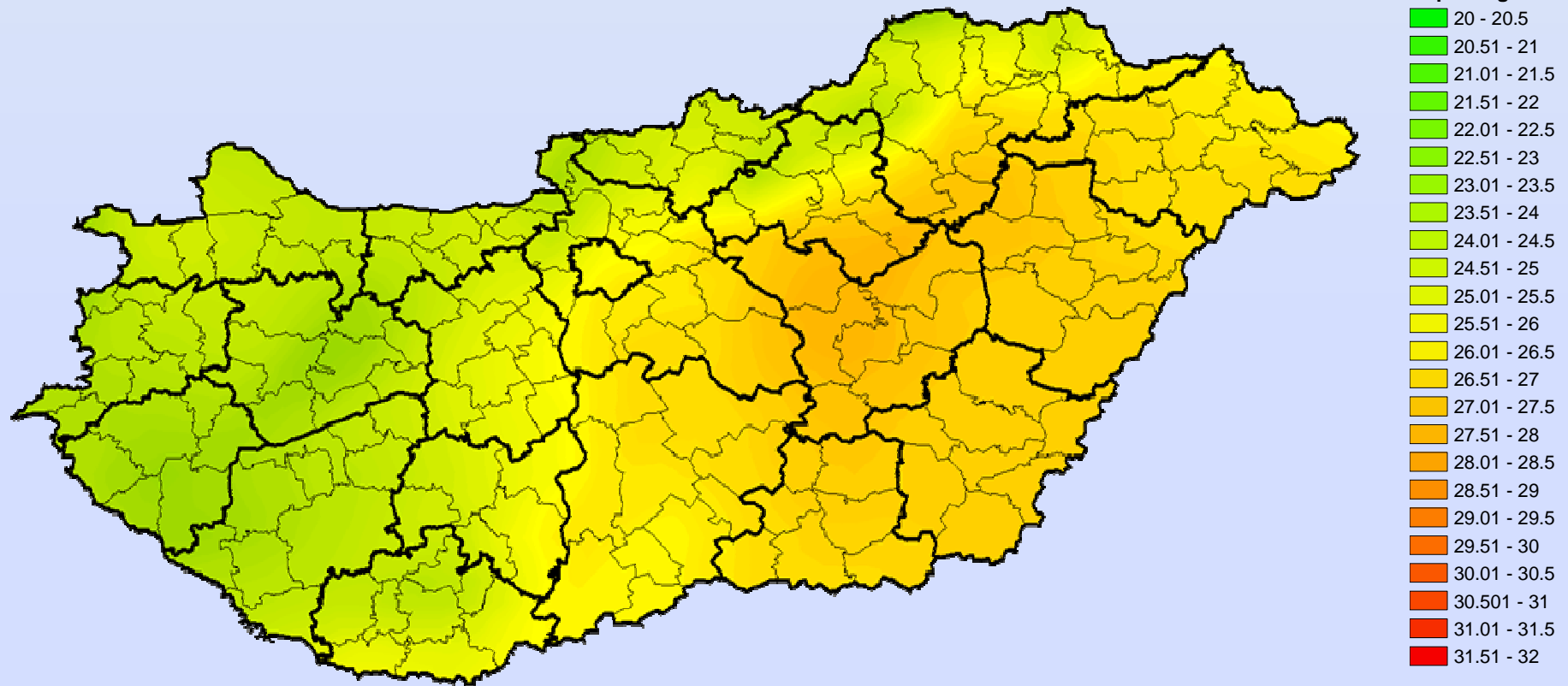
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 21.



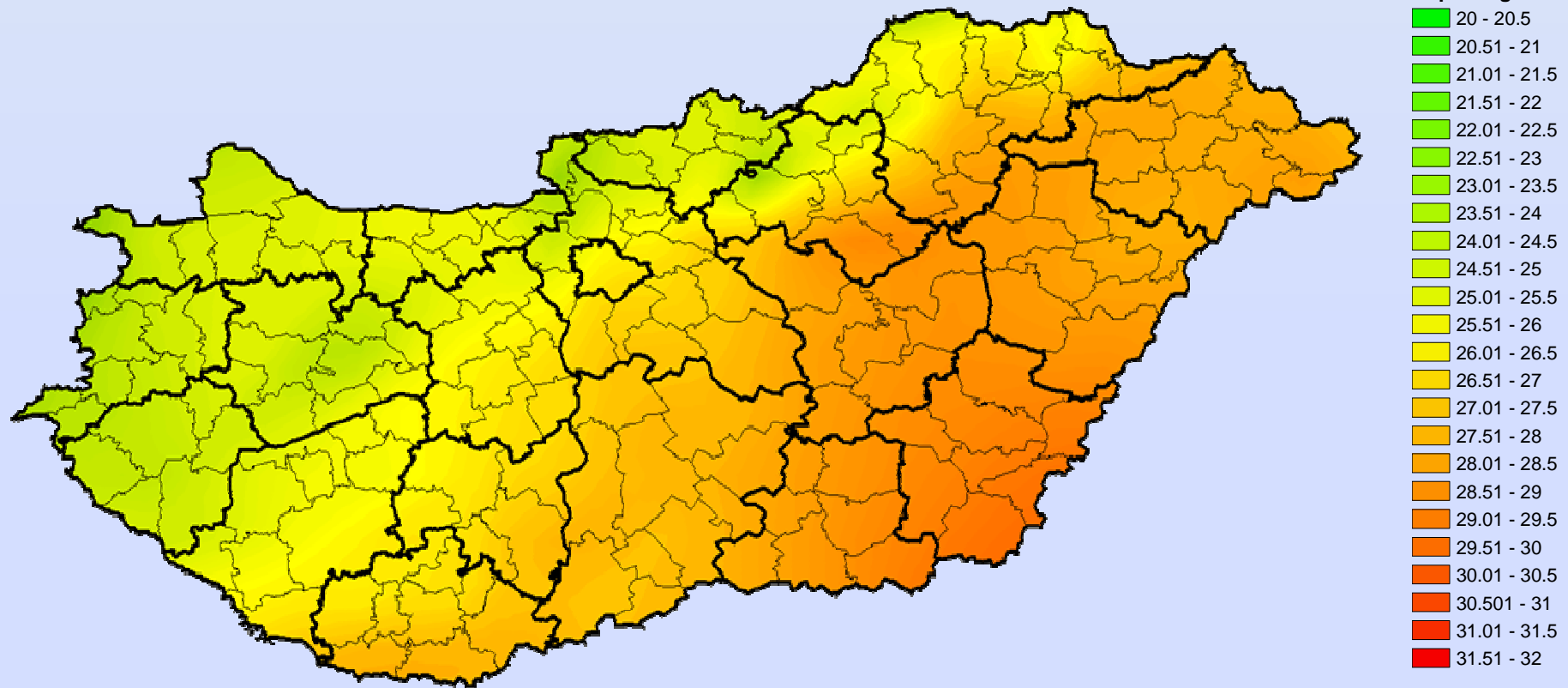
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 22.



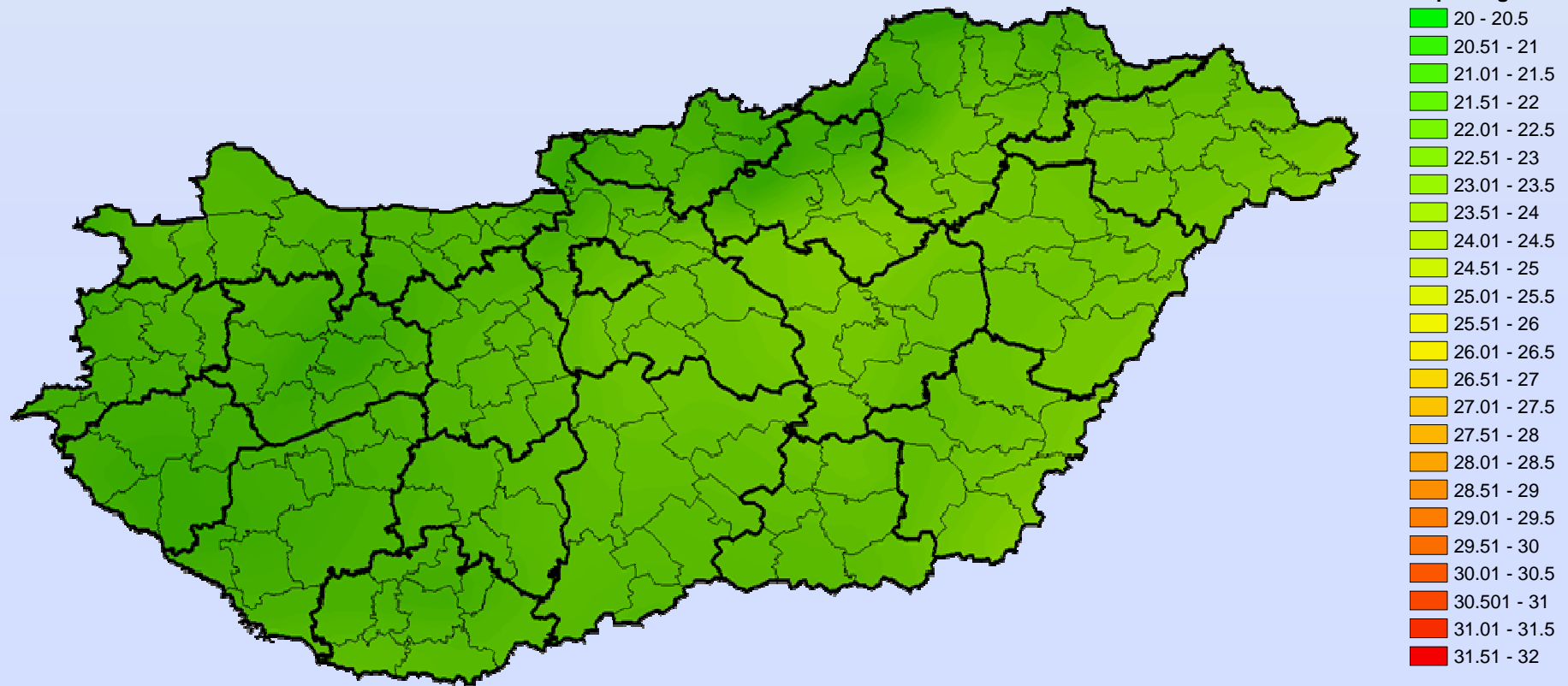
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 23.



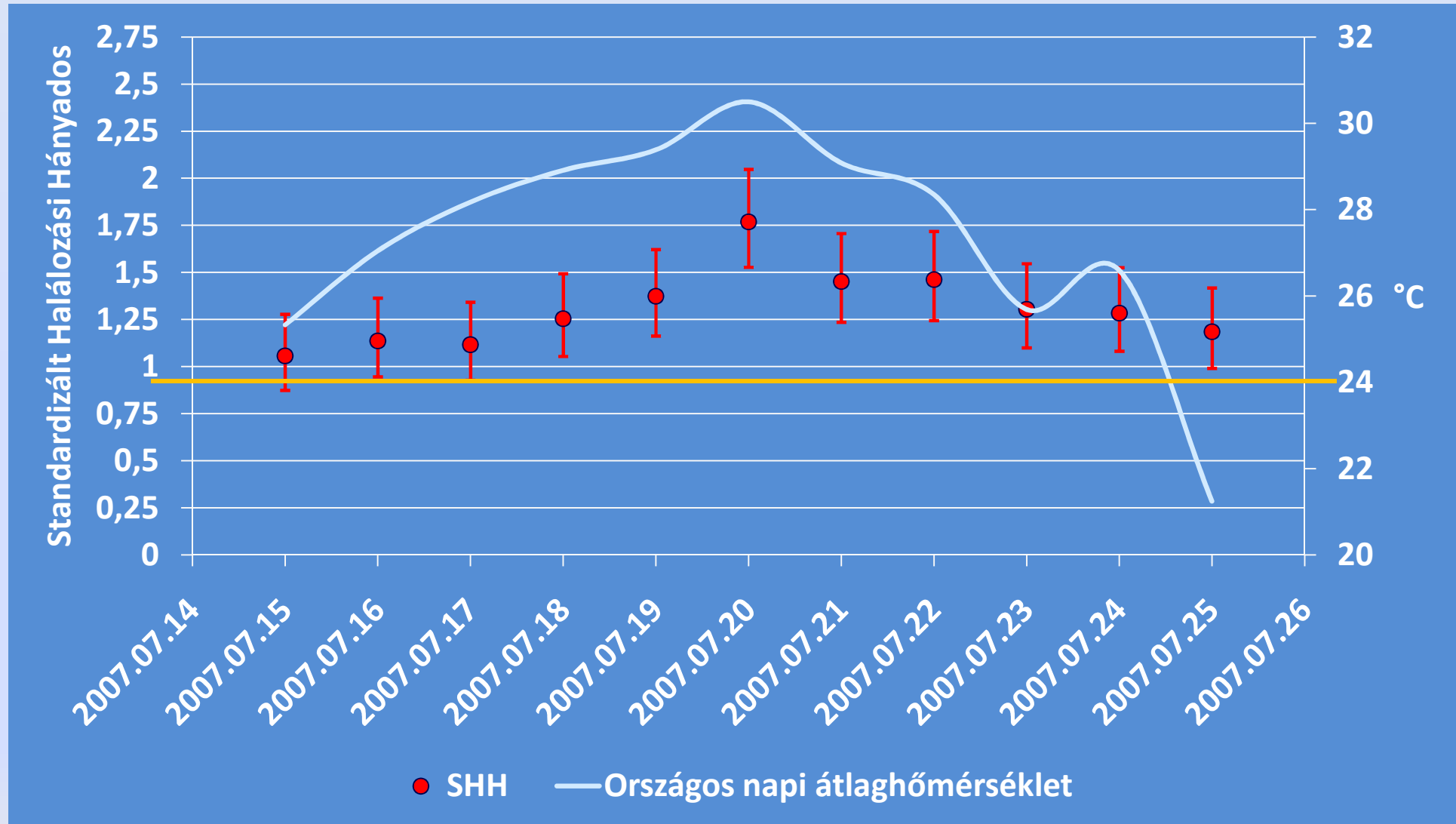
Napi átlaghőmérséklet 2010 július 24.



Napi átlaghőmérséklet 2010 július 25.

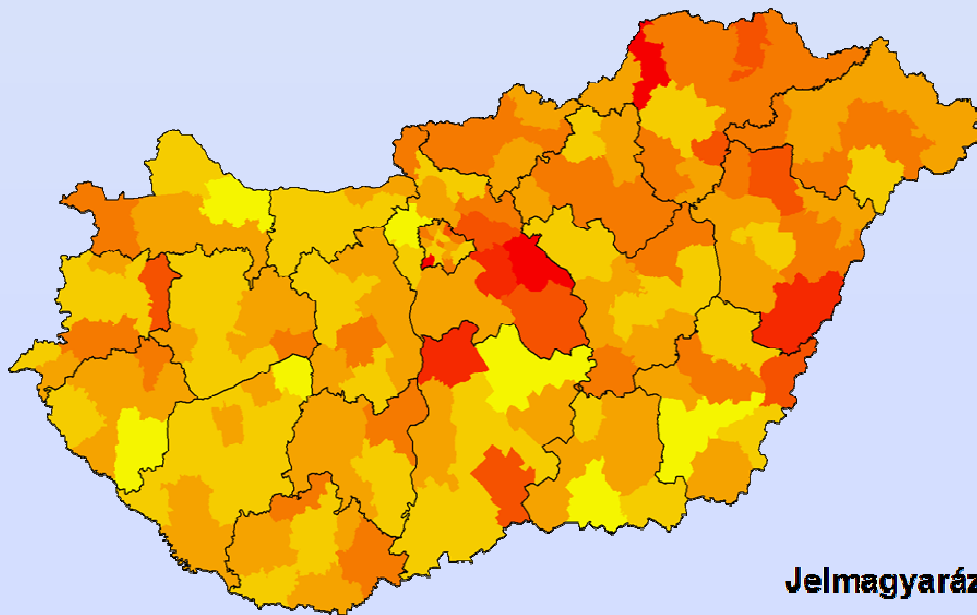


A napi standardizált halálozás és a napi átlaghőmérséklet a 2007. évi extrém hőhullám időszakában

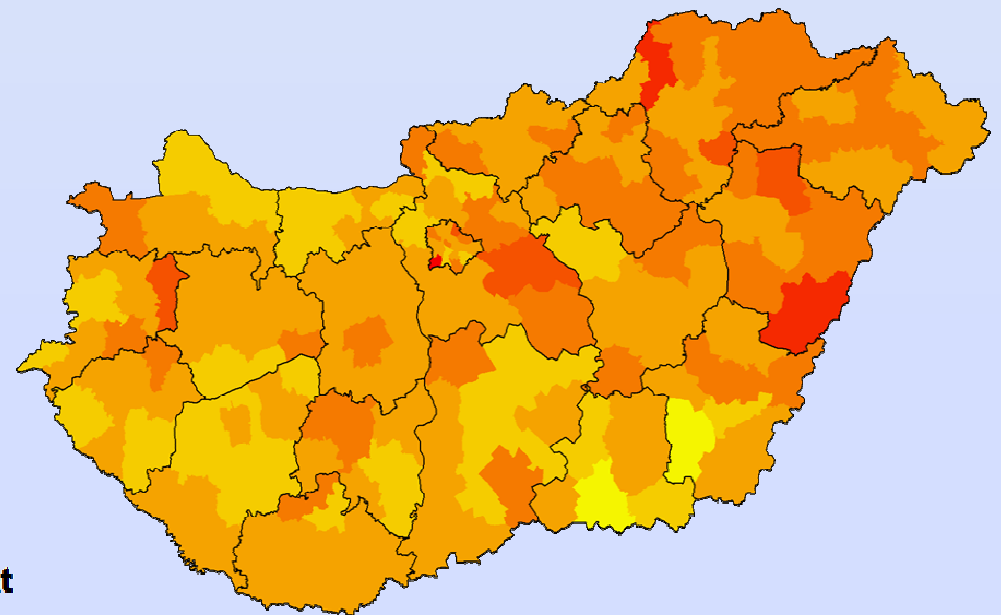


A magyar lakosság általános napi halálozásának országos szinttől való eltérései 2007 júl. 16-24. között

0-100 éves korcsoport



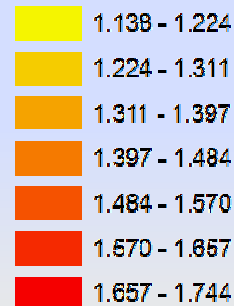
50 éves és idősebb korcsoport



Jelmagyarázat

Halálozási kockázat

(Hierarchikus Bayes becsléssel simított SHH)

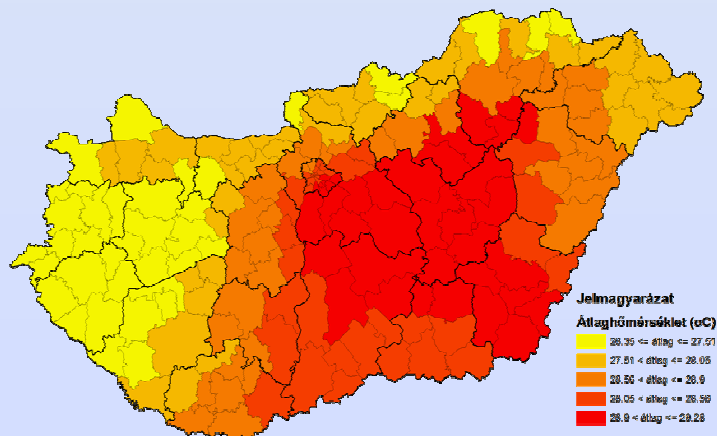


Területi-hatás együttható: 0.2086

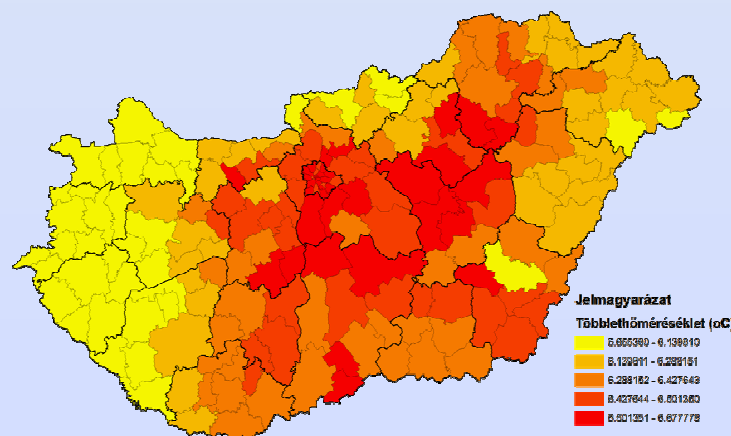
Területi-hatás együttható: 0.2754

A magyar lakosság általános napi halálozásának összefüggései néhány tényezővel

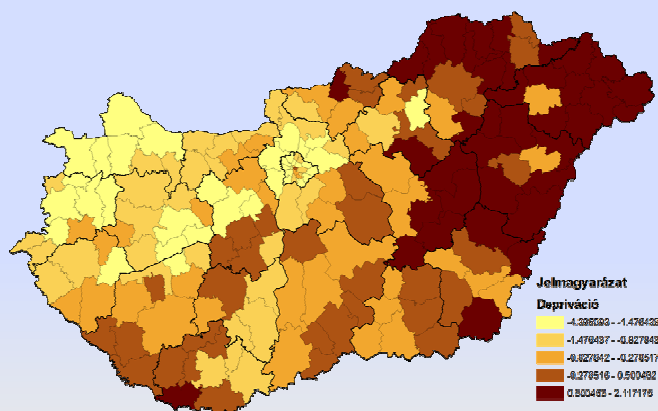
Hőhullám időszakában az átlaghőmérséklet



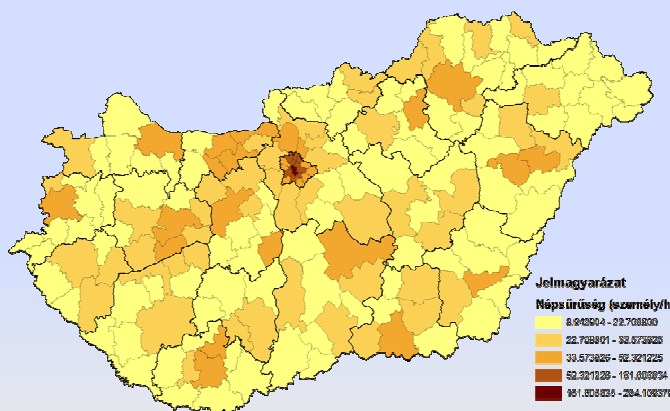
Hőhullám időszakában a többlethőmérséklet



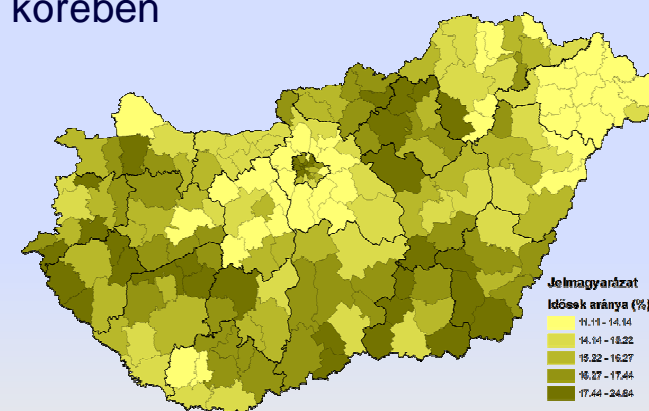
Depriváció



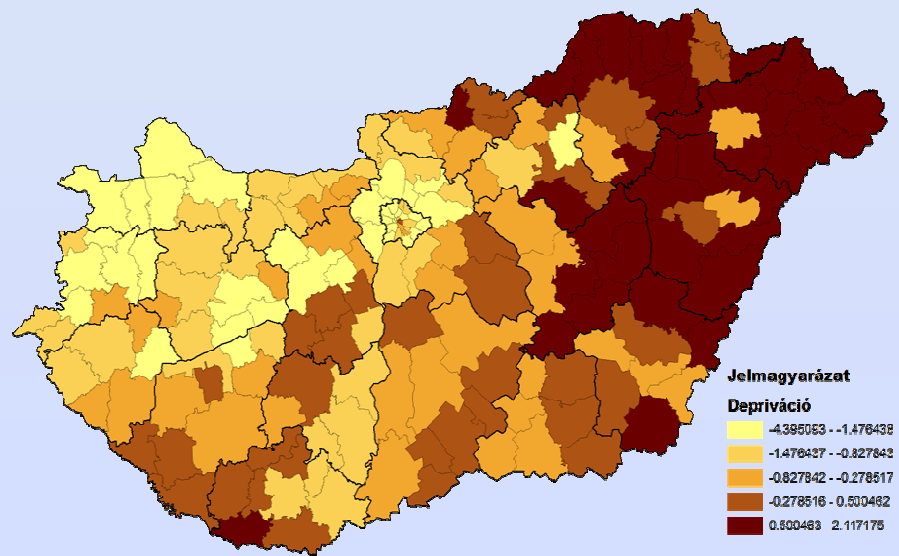
Belterületi népsűrűség



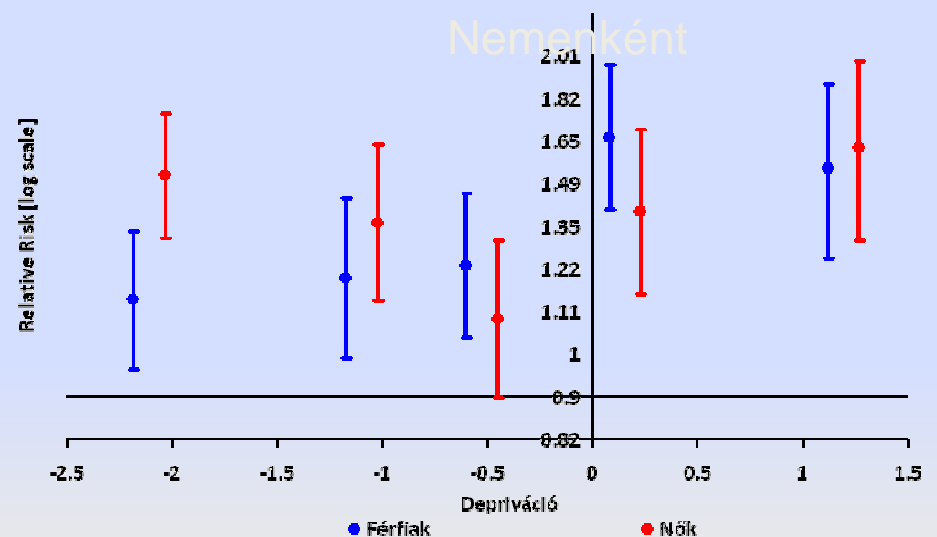
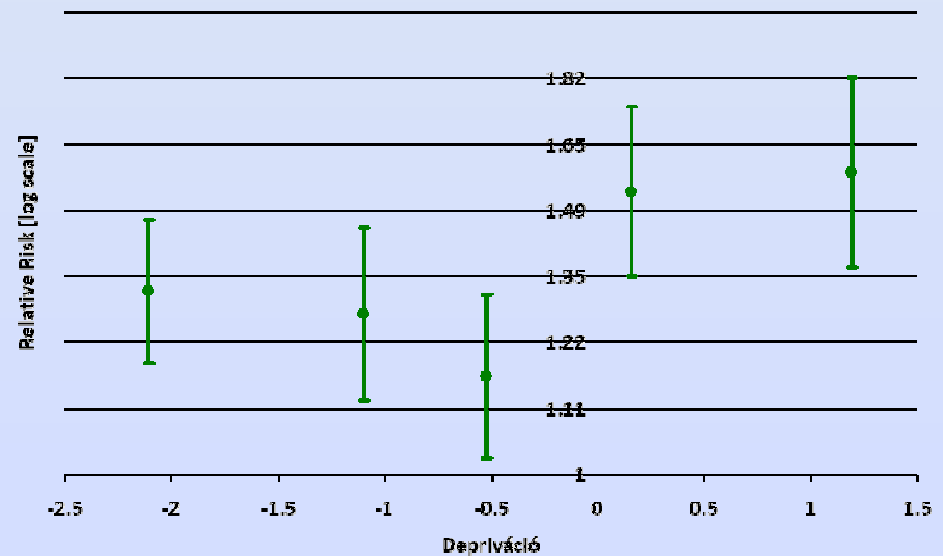
Az idősek aránya a teljes lakosság körében



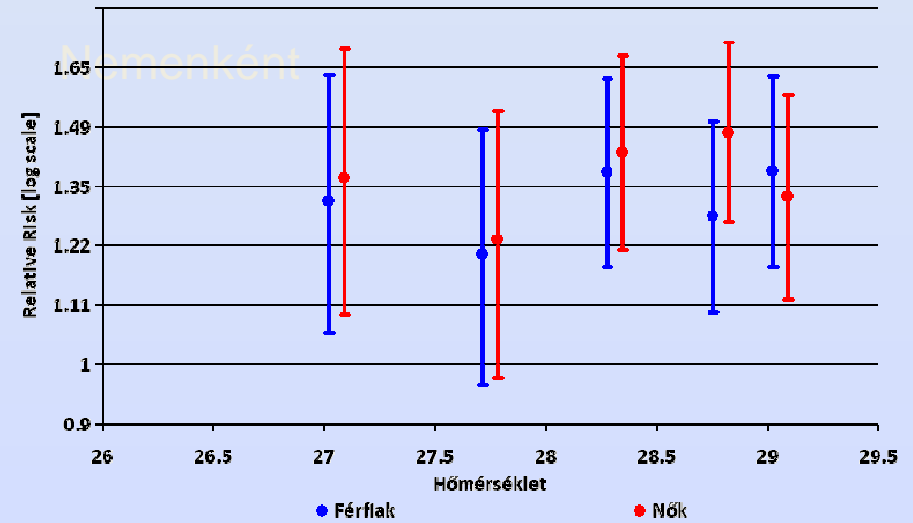
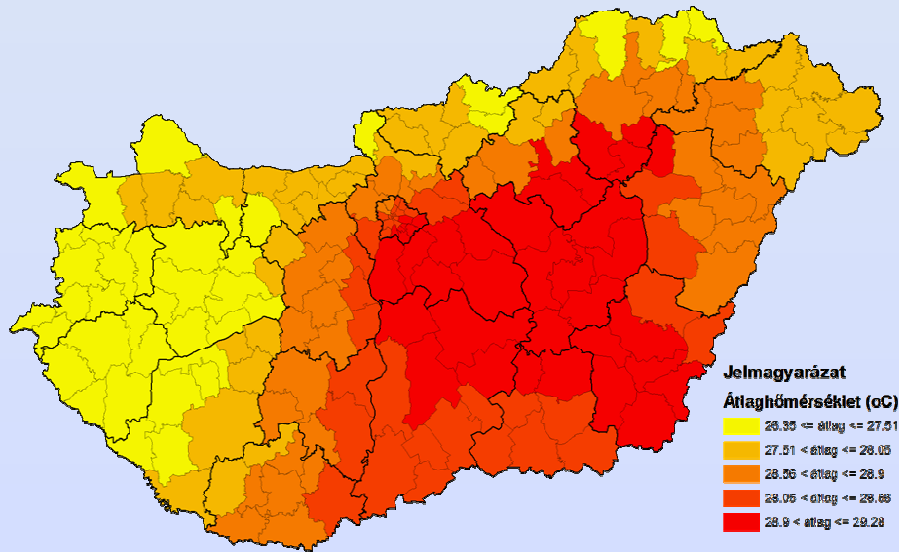
A hőhullám ideje alatti többlethalálozás és a depriváció közötti összefüggés vizsgálata



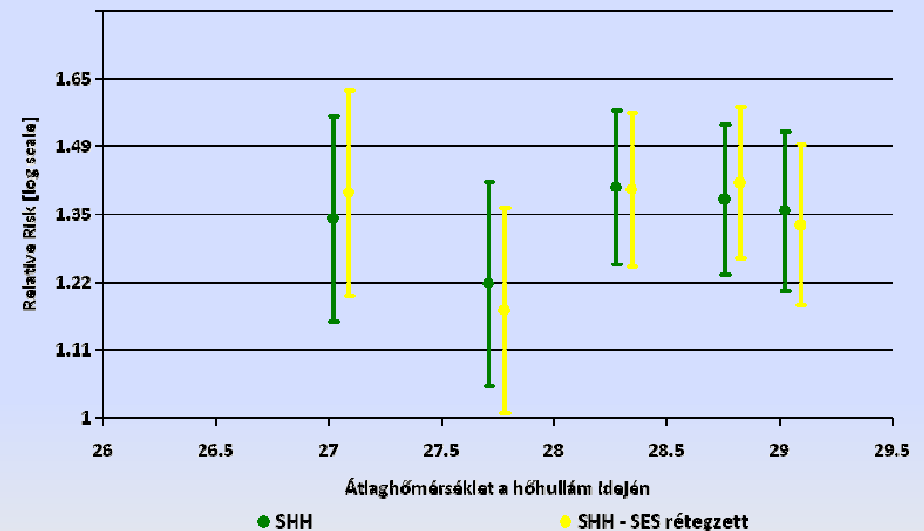
	χ^2 Homogenitás	P Homogenitás	χ^2 Linearitás	P Linearitás
Férfiak	14.67	0.01	10.23	0
Nők	10.62	0.03	0	0.96
Mindkettő	15.25	0	5.07	0.03



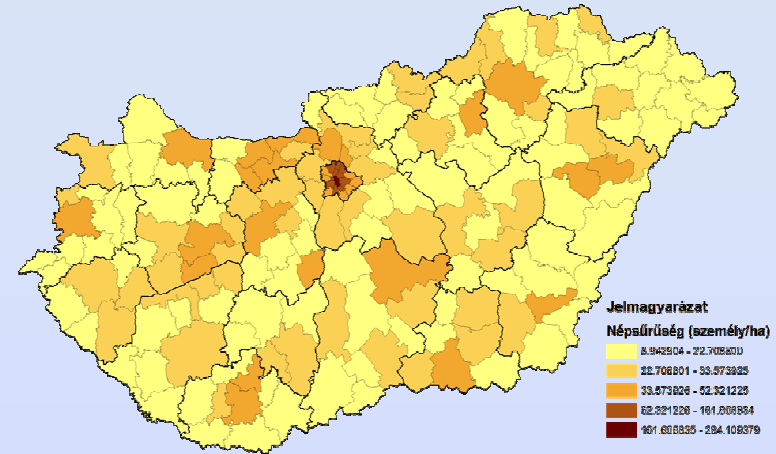
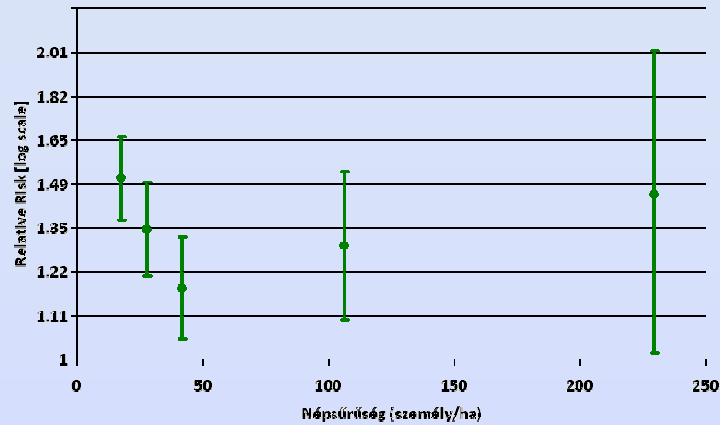
A hőhullám ideje alatti többlethalálozás és a hőhullám ideje alatti átlaghőmérséklet közötti összefüggés vizsgálata



	NEM RÉTEGZETT			
	χ^2 Homogenitás	P Homogenitás	χ^2 Linearitás	P Linearitás
Férfiak	1.44	0.84	0.23	0.63
Nők	2.13	0.71	0.15	0.7
Mindkettő	2.53	0.64	0.39	0.53
	RÉTEGZETT			
	χ^2 Homogenitás	P Homogenitás	χ^2 Linearitás	P Linearitás
Mindkettő	4.75	0.31	0.21	0.65



A hőhullám ideje alatti többlethalálozás és a népsűrűség, valamint a többlethőmérséklet vizsgálata

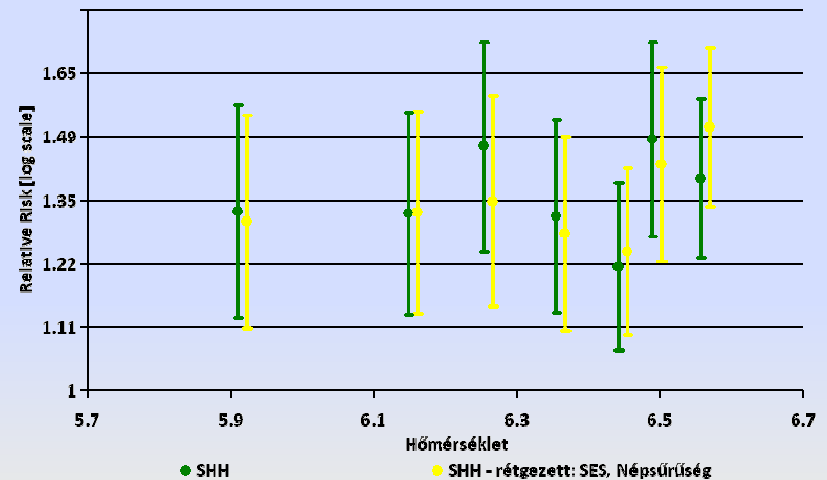
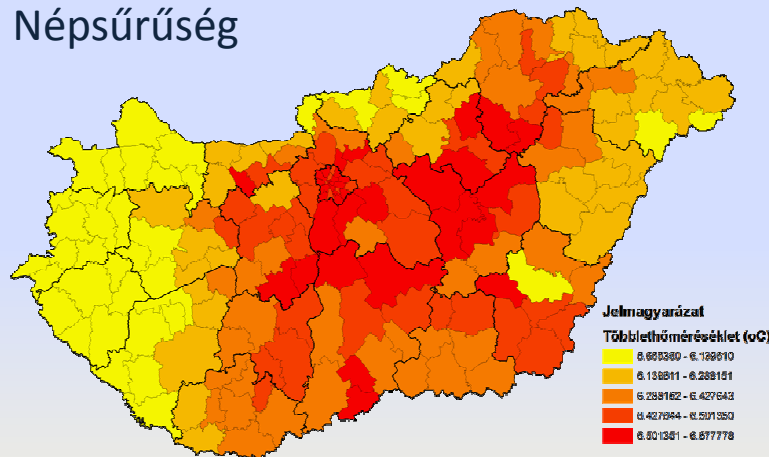


Többlethőmérsékleti terhelés

NEM RÉTEGZETT				
	π^2 Homogenitás	P Homogenitás	π^2 Linearitás	P Linaritás
Mindkettő	5.41	0.49	0.09	0.76
RÉTEGZETT				
Mindkettő	5.59	0.43	1.21	0.27

	π^2 Homogenitás	P Homogenitás	π^2 Linearitás	P Linaritás
Mindkettő	11.22	0.03	0.45	0.5

Népsűrűség



A napi halálozás és a SES, hőmérséklet/hőterhelés, népsűrűség és az idősek aránya közötti térregressziós elemzés

$$O_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i E_i)$$

$$\log(\lambda_i) = \log(E_i) + a + \sum_i \beta_i X_i + S_i + H_i$$

0-100 éves korcsoport

node	mean	sd	MC error	2.5%	median	97.5%
SES	0.9778	0.02902	4.702E-4	0.9225	0.9776	1.037
Hőmérséklet	1.008	0.005092	1.276E-4	0.9987	1.008	1.019
Népsűrűség	1.019	0.08226	0.001483	0.8621	1.018	1.186
Idősek aránya	1.004	0.01388	2.083E-4	0.9772	1.004	1.031

node	mean	sd	MC error	2.5%	median	97.5%
SES	0.9844	0.0291	4.988E-4	0.9287	0.9838	1.044
Hőterhelés	1.024	0.0166	2.555E-4	0.9919	1.024	1.057
Népsűrűség	1.014	0.08052	0.001266	0.8597	1.013	1.18
Idősek aránya	1.005	0.01331	1.649E-4	0.9789	1.004	1.031

50 feletti korcsoport

node	mean	sd	MC error	2.5%	median	97.5%
SES	0.9787	0.03033	5.348E-4	0.9204	0.9783	1.039
Hőmérséklet	1.005	0.005111	1.282E-4	0.9954	1.005	1.016
Népsűrűség	1.027	0.08517	0.001755	0.8631	1.025	1.202
Idősek aránya	1.003	0.01442	2.017E-4	0.9751	1.003	1.032

node	mean	sd	MC error	2.5%	median	97.5%
SES	0.985	0.03055	6.144E-4	0.9271	0.9845	1.045
Hőterhelés	1.017	0.01736	3.393E-4	0.9841	1.017	1.051
Népsűrűség	1.02	0.0848	0.001362	0.8632	1.019	1.194
Idősek aránya	1.004	0.0144	2.025E-4	0.9759	1.004	1.032

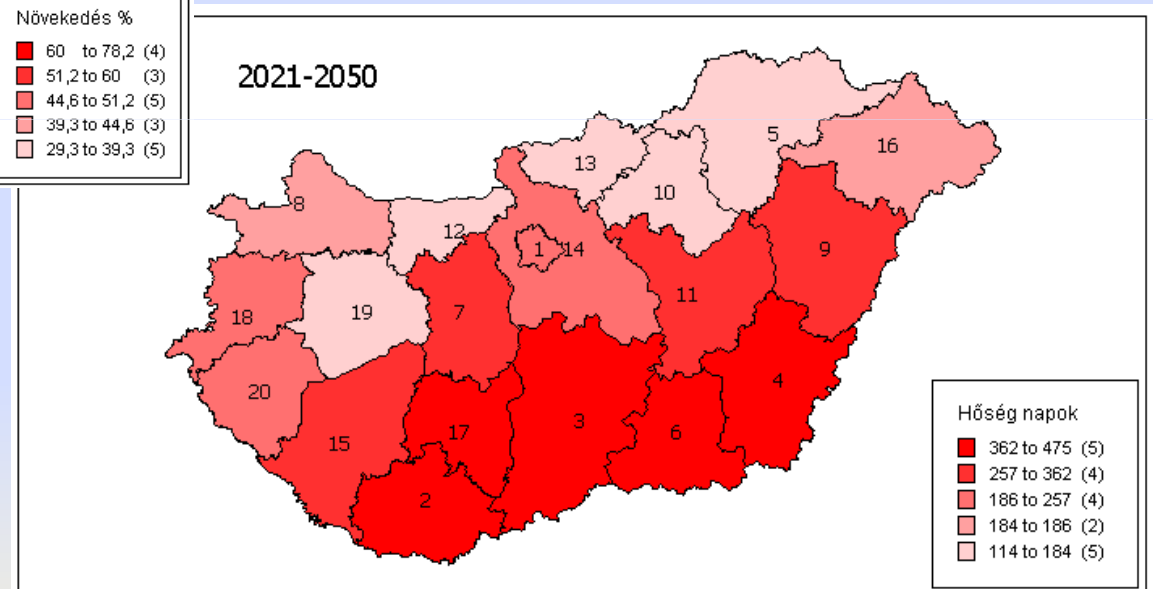
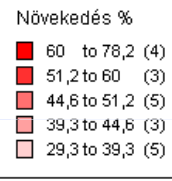
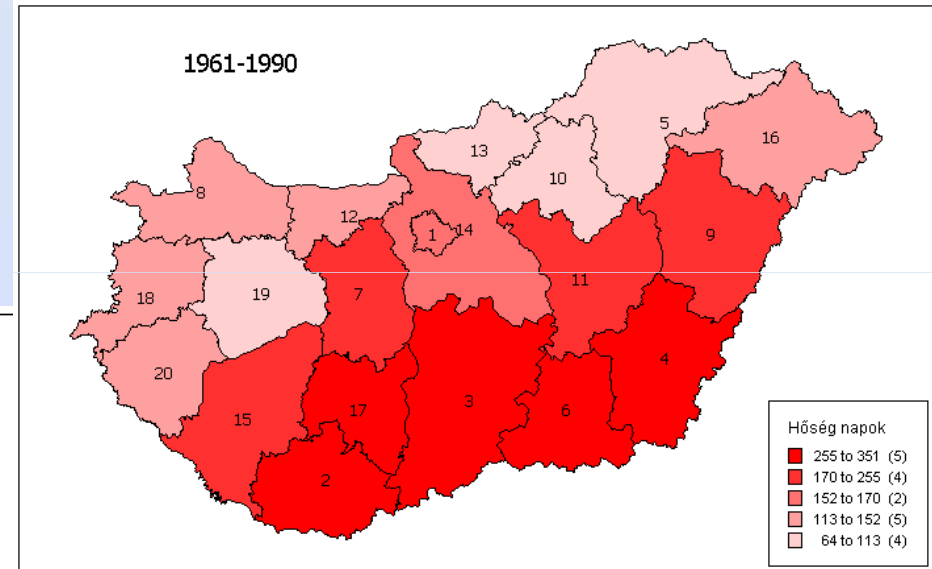
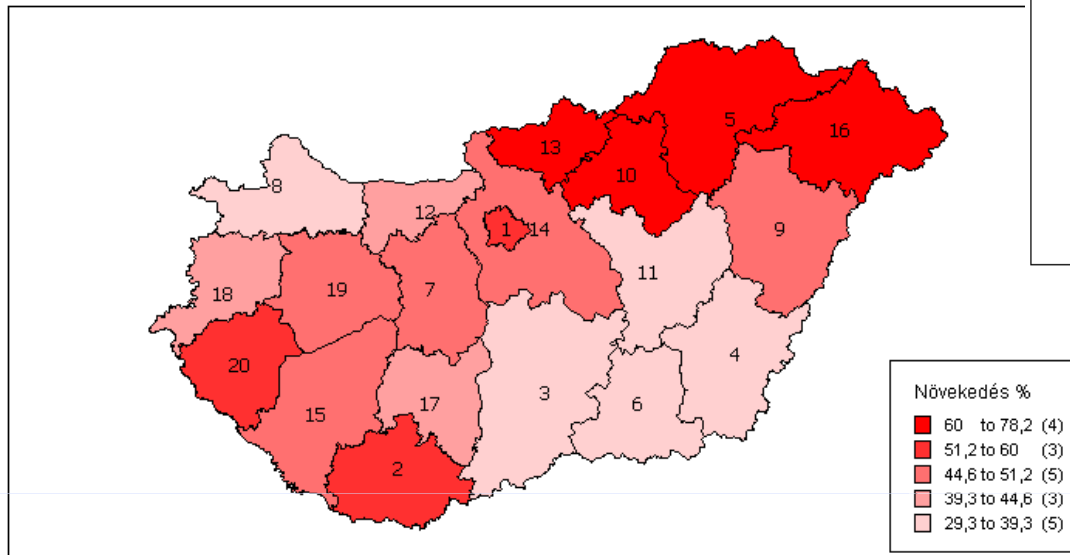
Összefoglalás:

- A 2007. évi hőhullám - a hőmérséklet területi különbségei ellenére - hazánk egész területén jelentős valódi halálozási többletet okozott.
- A hőhullám idején a többlethalálozás relatív kockázatának területi eloszlásában kistérségi szinten lényeges különbségek nem mutatkoztak.
- A tíz napos hőhullám az ország egész területén közel egyenletesen növelte a többlethalálozás kockázatát, egyes feltételezett kockázati indikátorok területi elrendeződése és a többlethalálozás között szignifikáns összefüggés nem mutatható ki.

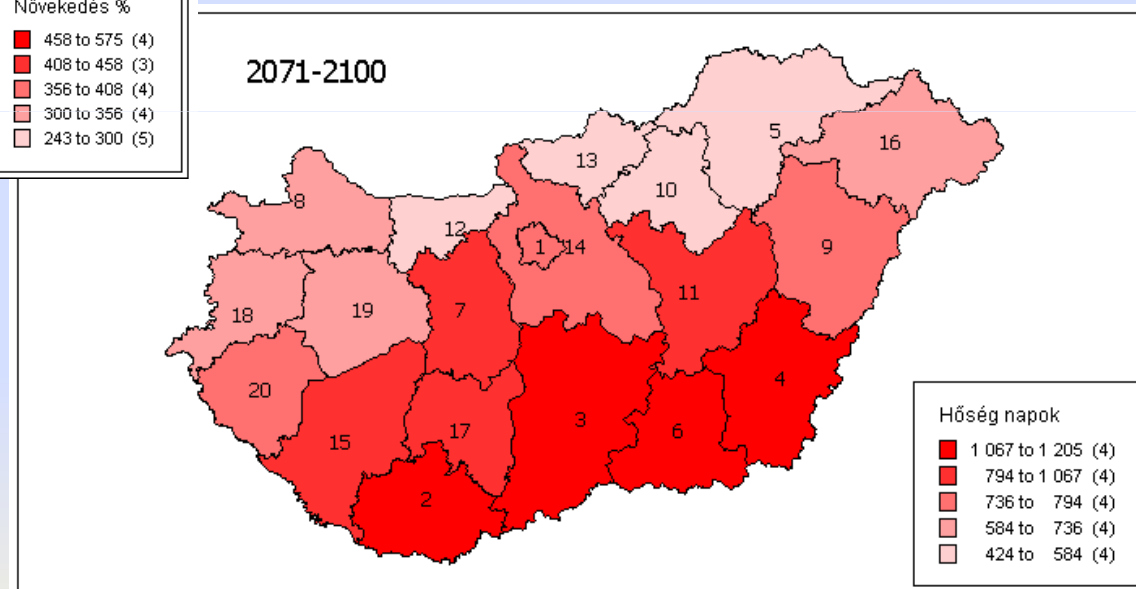
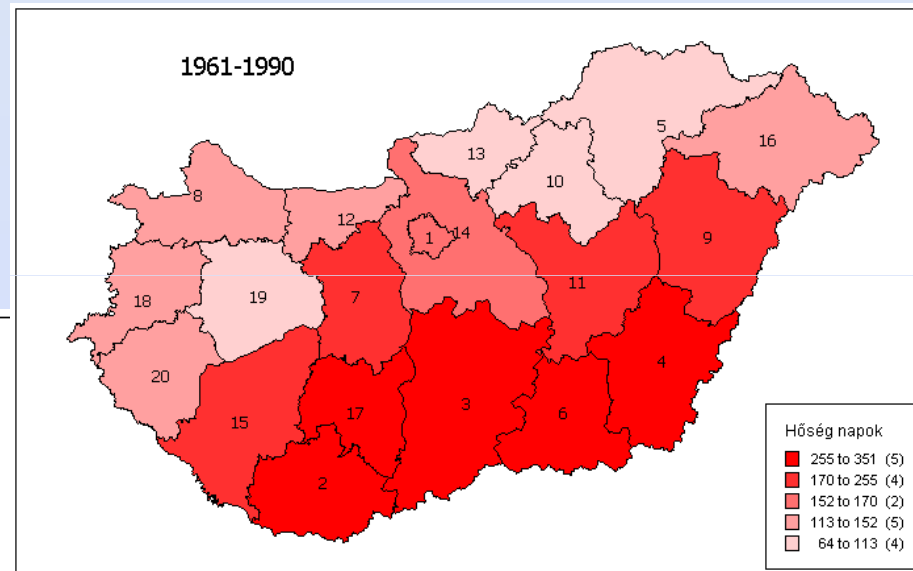
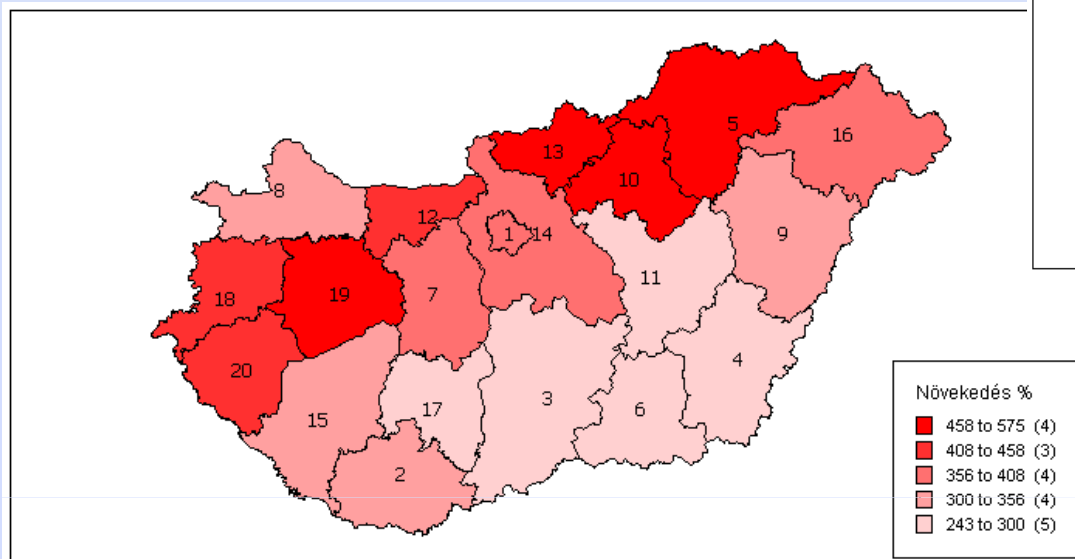
A hőségriadós napok és napi halálózás várható alakulása a RegCM modell alapján

- A vizsgálat célja, hogy az ismert napi halálózás-hőmérséklet összefüggések felhasználásával megbecsüljék a klímaváltozás napi halálózásra gyakorolt várható hatásait.
- A RegCM modell alapján elemezték a hőségriadós napok ($T_{\text{közép}} > 25^{\circ}\text{C}$) megyei szintű gyakoriságát és eloszlását a referencia és a 2021-2050 és 2071-2100 közötti időszakokra.
- A várható hőségriadós napok száma és a korábbi eredmények alapján modellezett többlethalálózás elemzése lehetővé tette a klímaváltozás terhére róható növekvő többlethalálózás megyei predikcióját.

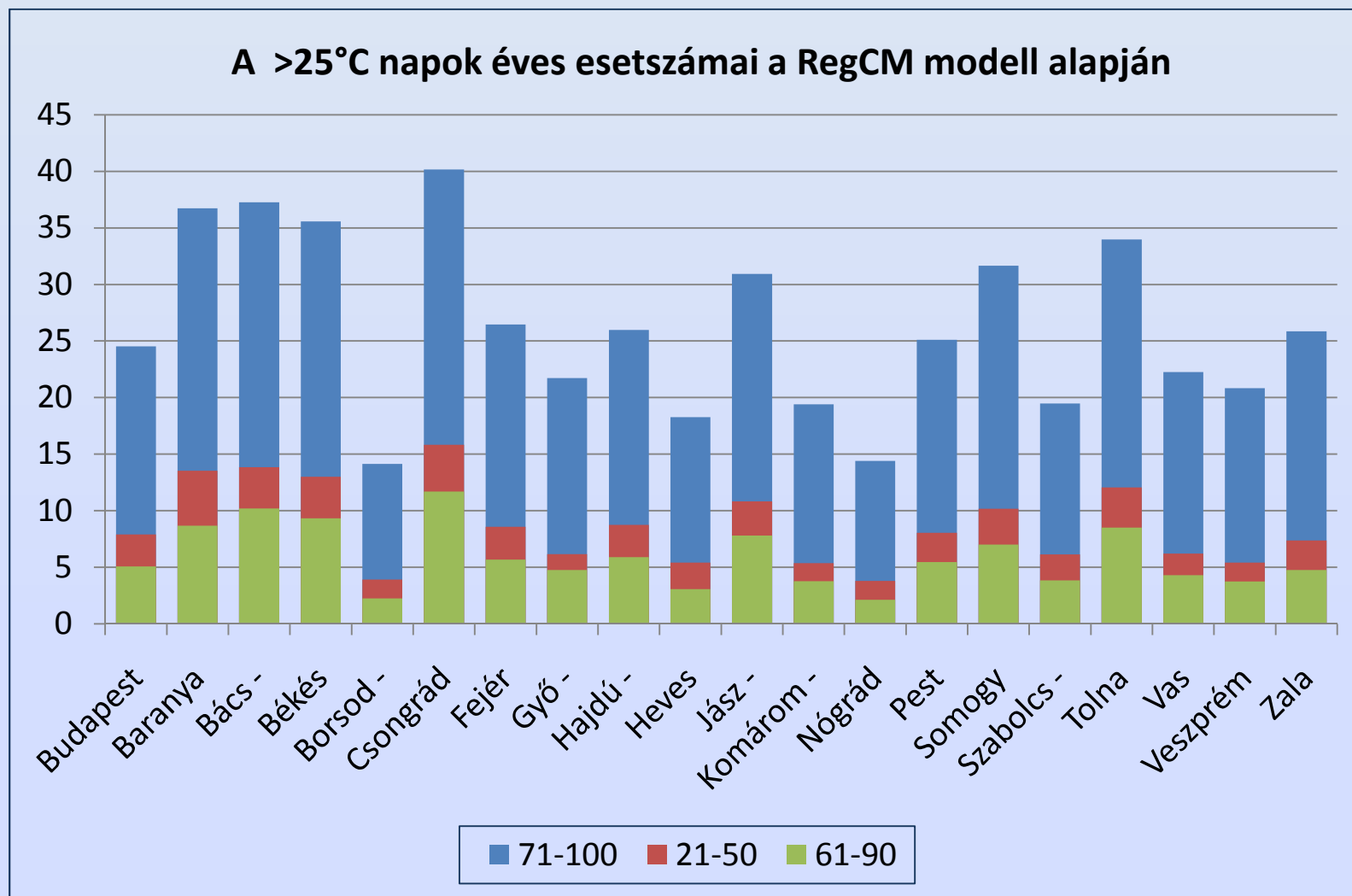
A hőségriadós napok a RegCM modell alapján:



A hőségriadós napok száma a 2021-2050 közötti időszakban 29-78%-os növekedést mutat.

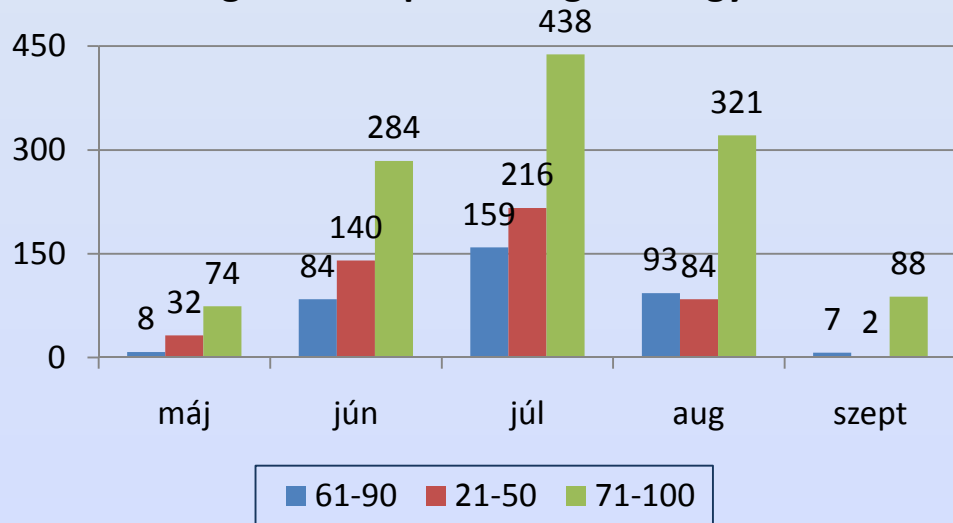


A hőségriadós napok száma a 2071-2100 közötti időszakban 240-570%-os növekedést mutat.

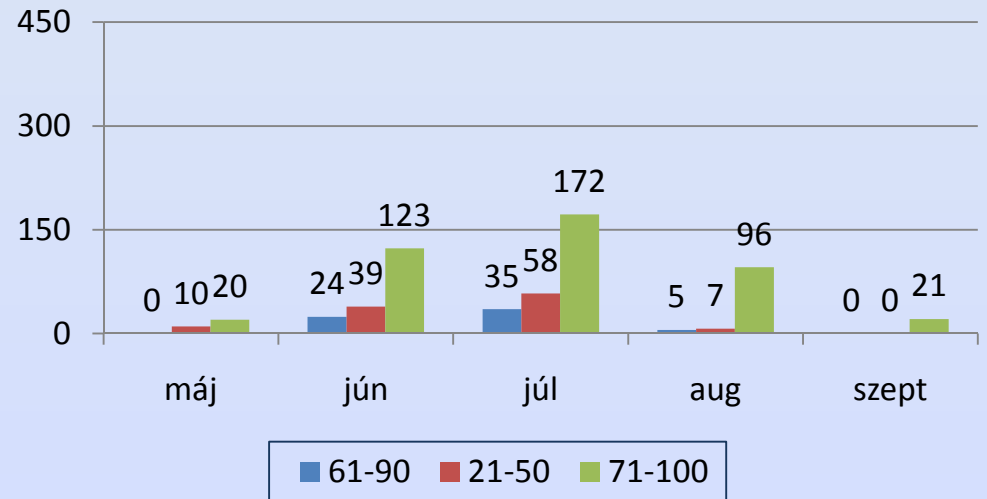


A referencia időszakban és a jövőben is Csongrád megyében összesíthető a legtöbb hőségriadós nap, míg a legkevesebb napszámok Nógrád megyében mutathatók ki éves szinten.

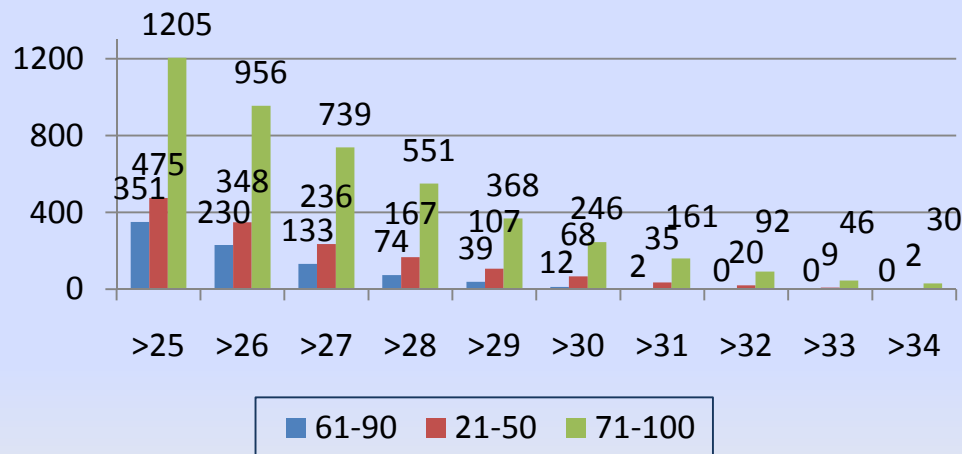
Hőségriadós napok Csongrád megyében



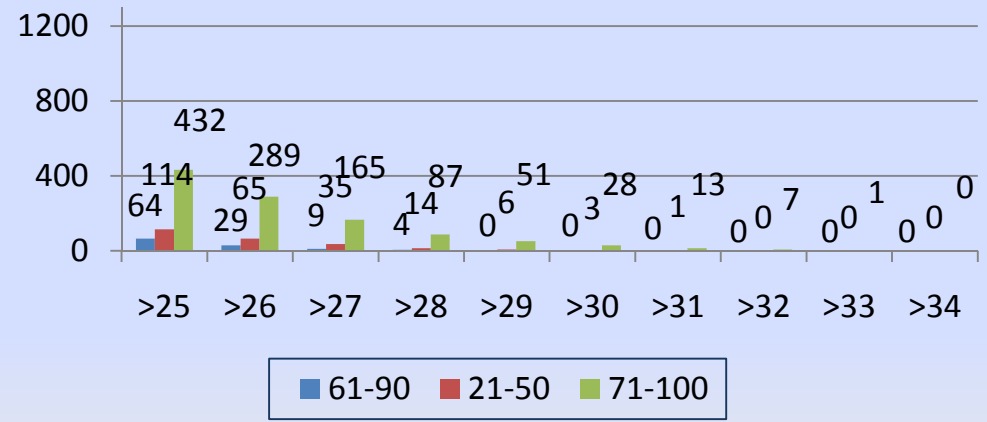
Hőségriadós napok Nógrád megyében



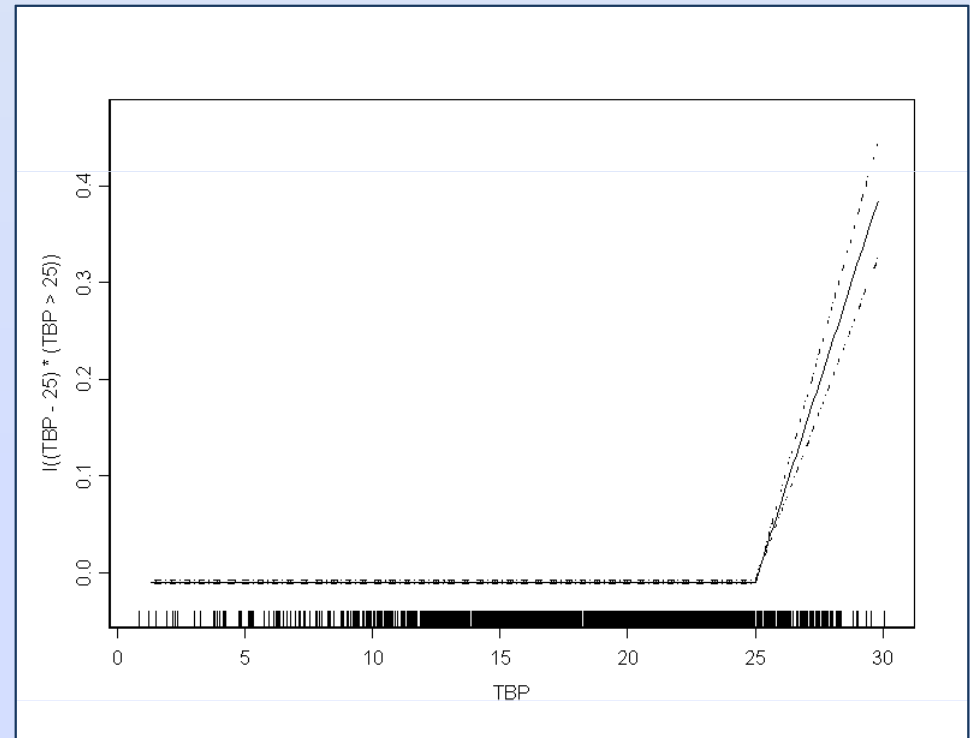
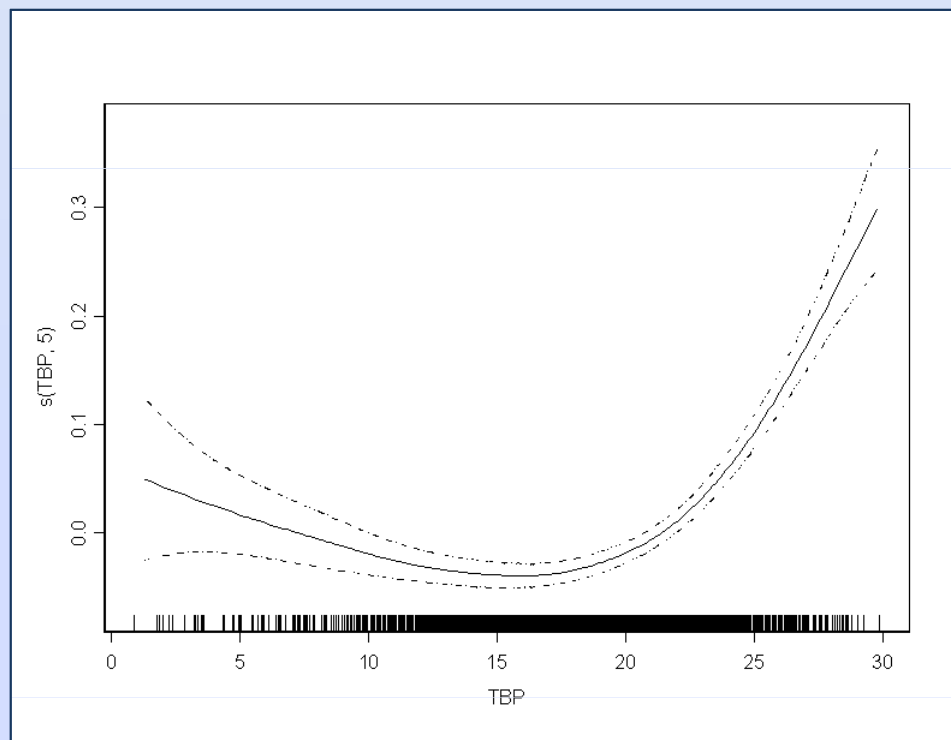
Hőségriadós napok intenzitás szerinti eloszlása Csongrád megyében



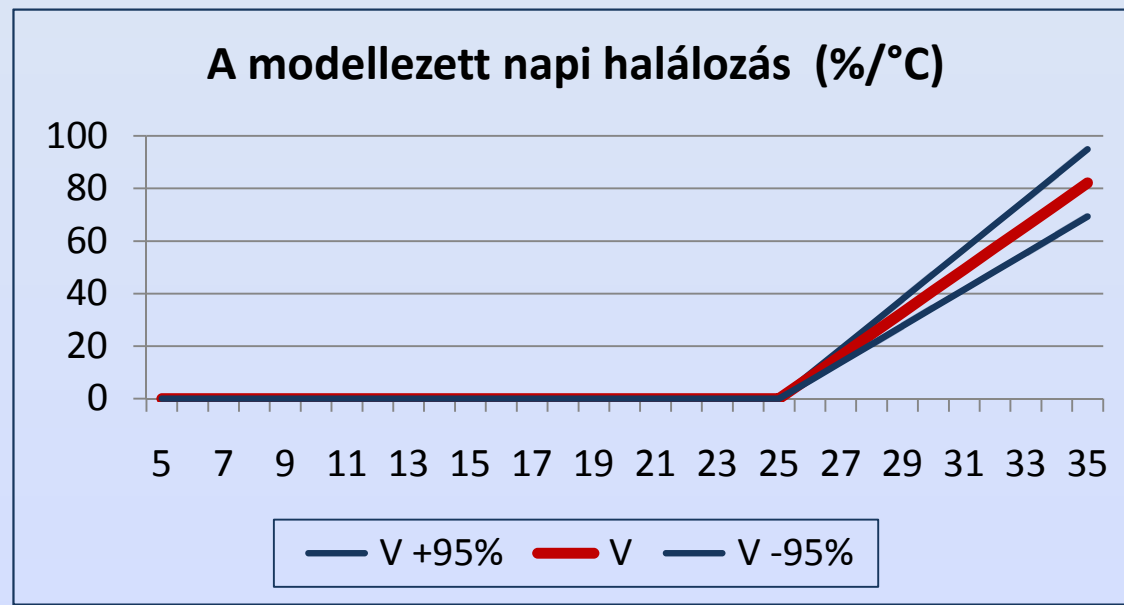
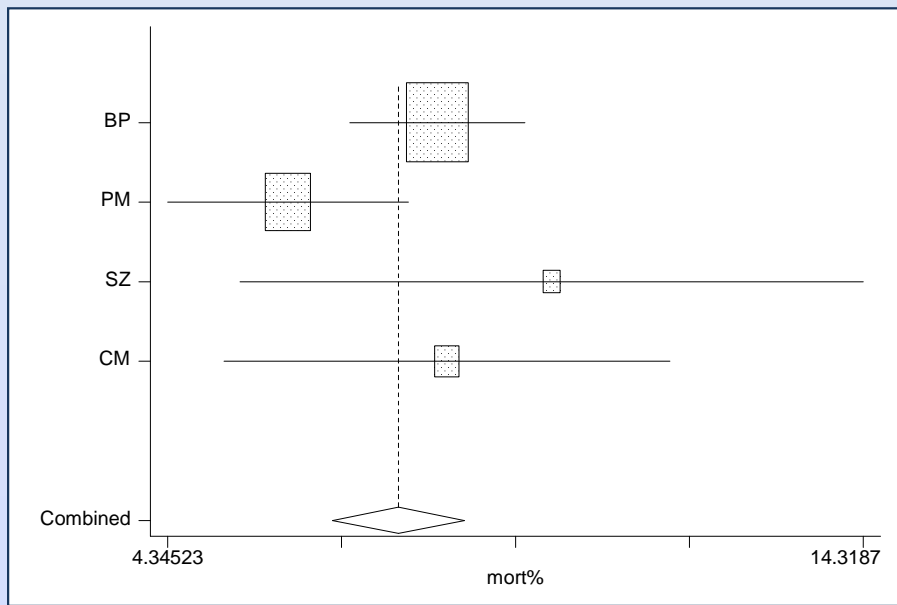
Hőségriadós napok intenzitás szerint eloszlása Nógrád megyében



A napi halálozás modellezése:



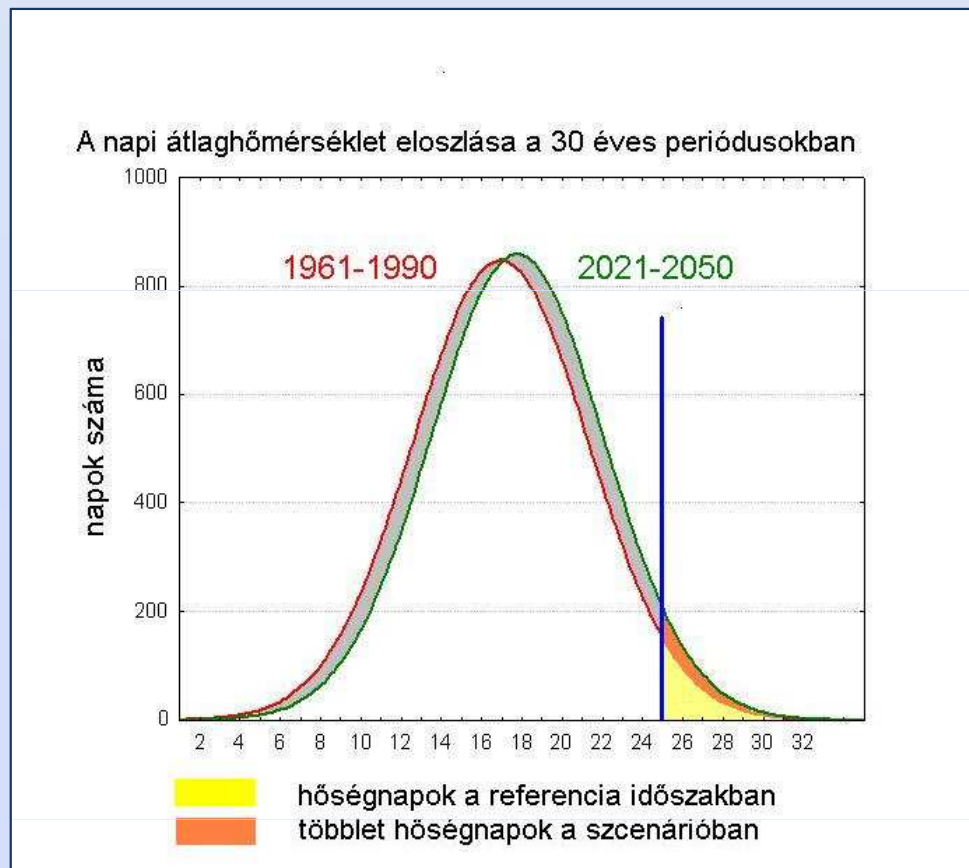
A napi halálozási görbe 25°C feletti szakaszának linearizálásával a dózis-hatás függvény számszerűsíthetővé tehető.



	V +95%	V	V-95%
BP	0,0949	0,0821	0,0693
PM	0,0783	0,0607	0,0431
SZ	0,1441	0,0985	0,0529
CM	0,1161	0,0835	0,0509
Fxed	0,0856	0,0765	0,0670
Random	0,0910	0,0767	0,0623

A négy részletesen elemzett térség linearizált jelleggörbéinek meredekségeit felhasználva, metaanalízissel egy átlagos dózis-hatás értéket kapunk a 25°C feletti hőmérsékletek tekintetében.

A klímaváltozás okozta többlethalálozás modellezése:



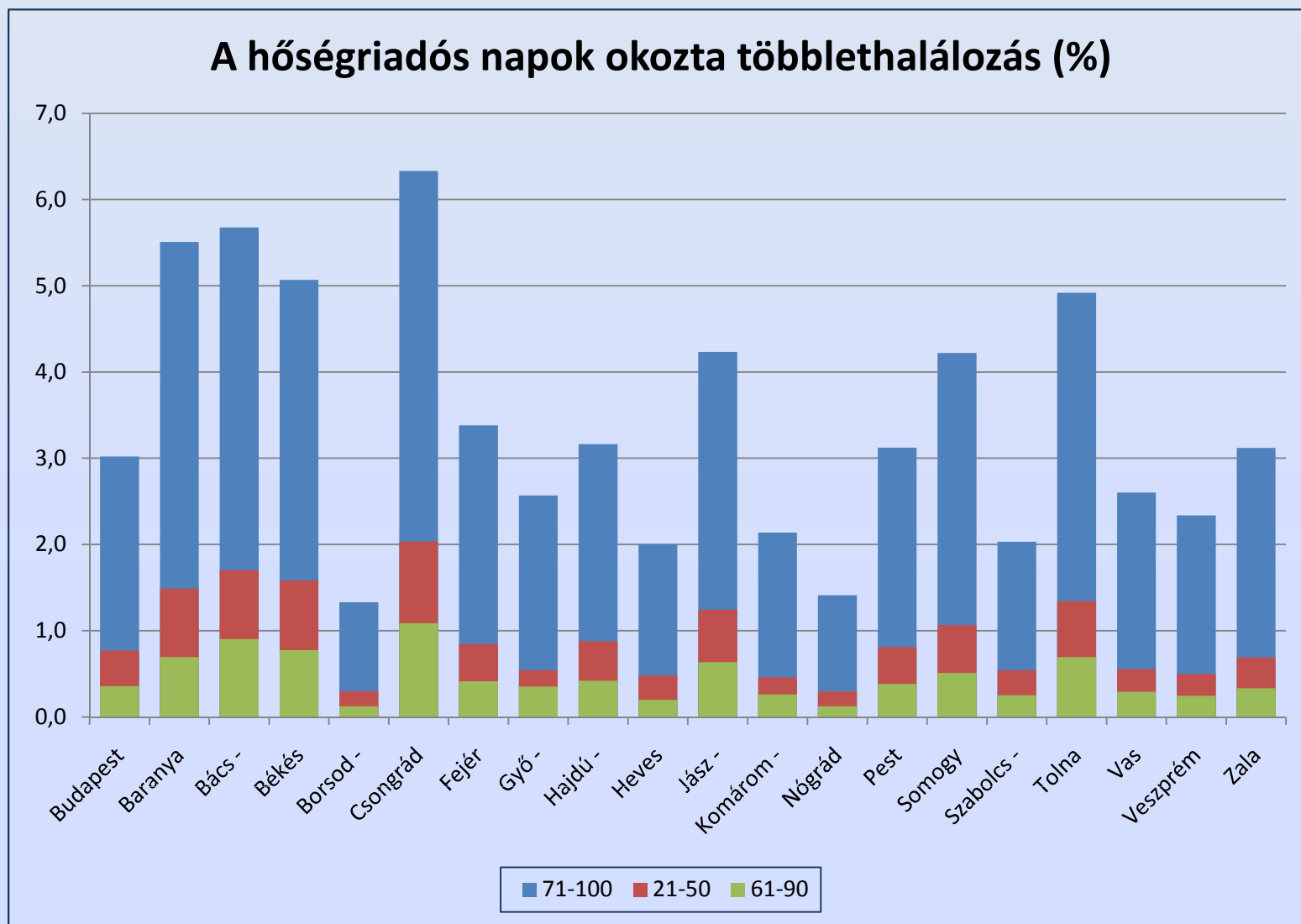
$D_n \sim$ az n -ik hőségriadós nap egy megyében

$I_n \sim temp(D_n) - 25^\circ C \quad (^\circ C)$

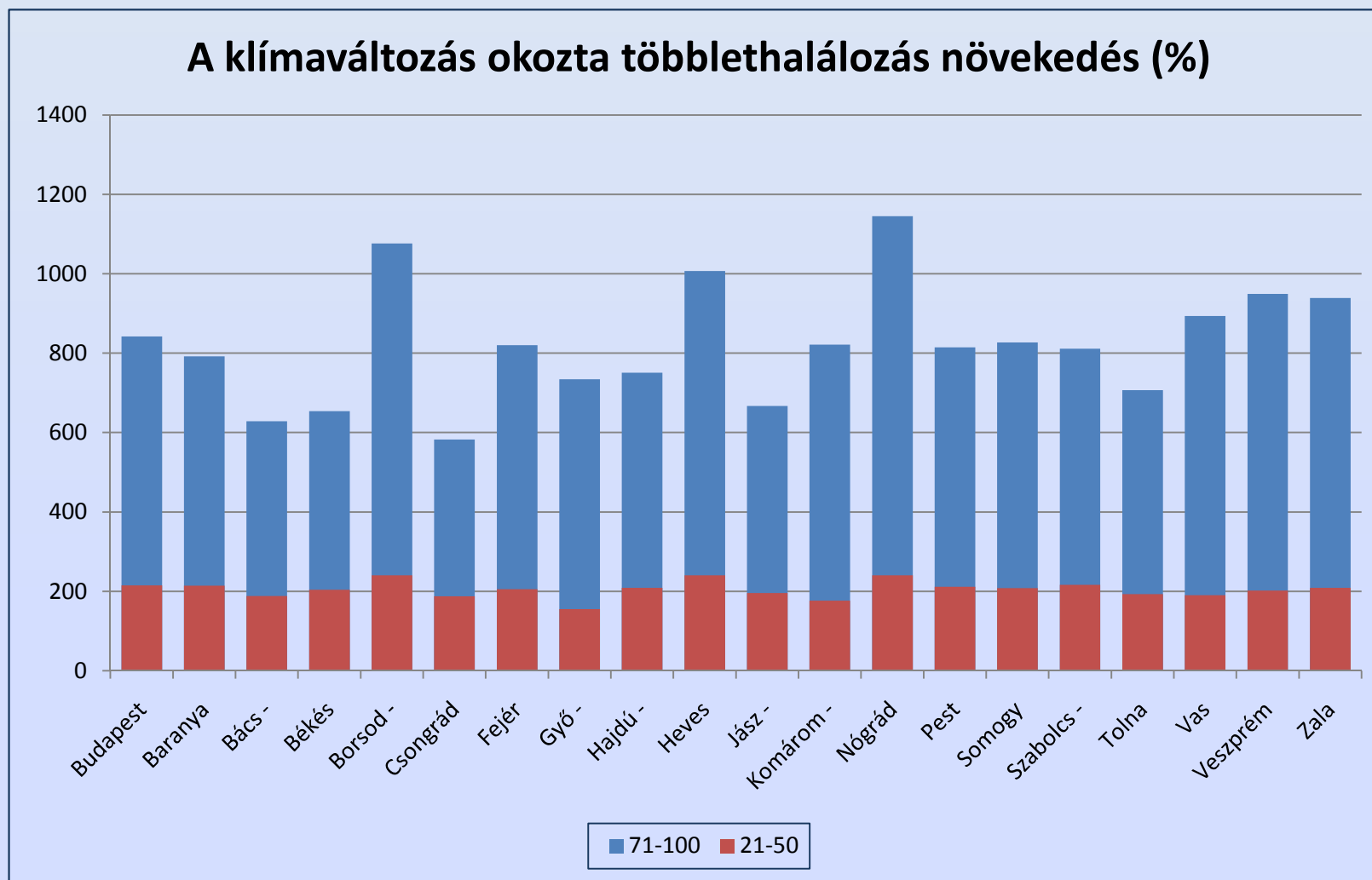
$D_n * I_n * V \sim a(D_n)$ nap többlethalálozása (%)

$\sum_n D_n * I_n * V \sim$ többlethalálozás egy megyében (%)

A klímaváltozás okozta többlethalálozást a hőségriadós napok gyakoriságának és intenzitásának növekedése váltja ki. Egy-egy hőségriadós nap hatását, amelyet a hűvösebb napok átlaghalálozásához hasonlítunk, megyei szinten összesíteni lehet.

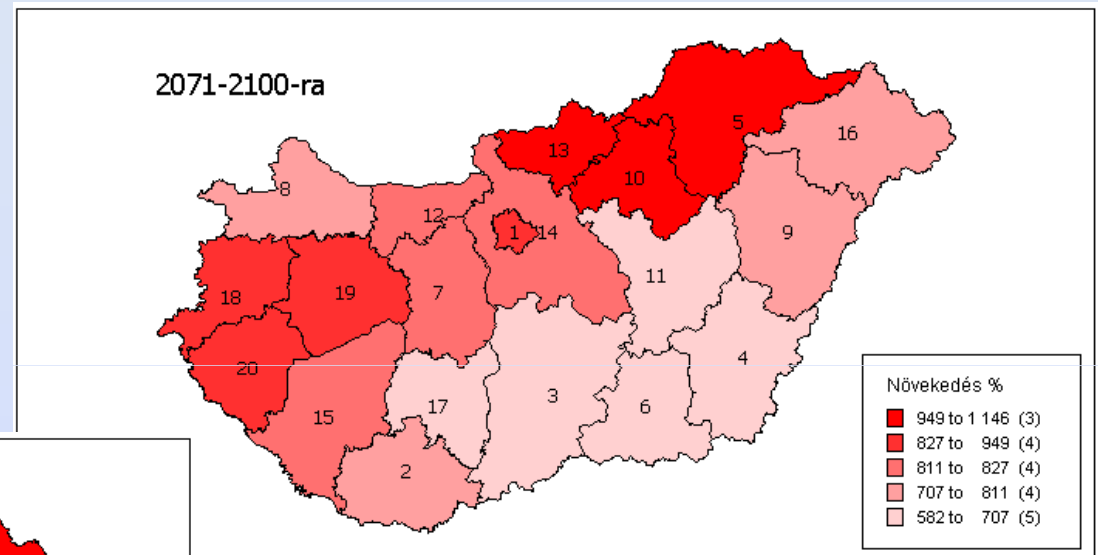
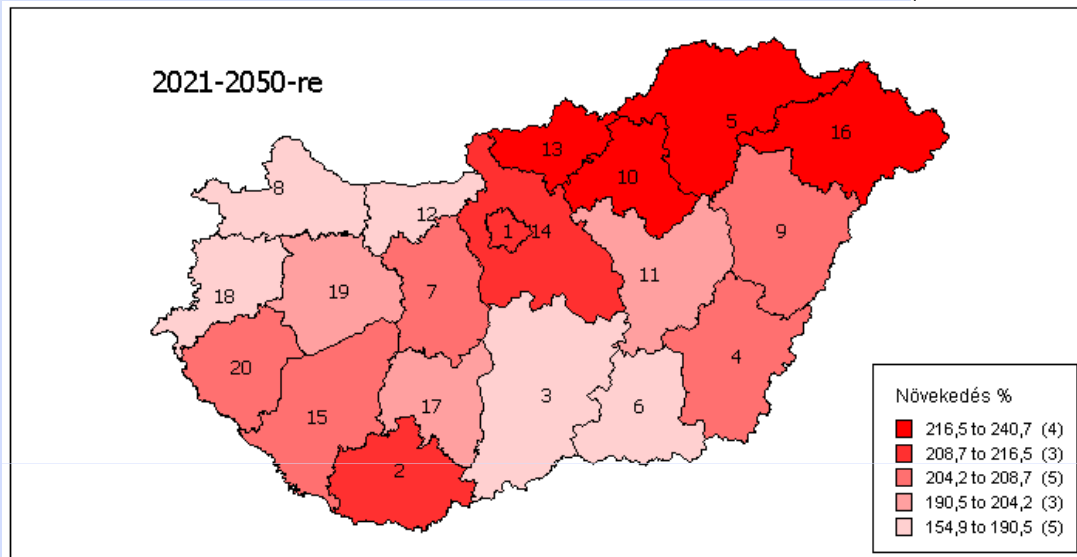


A 30-éves periódusokra összesített relatív többlethalálozás változás a napi átlaghőmérséklet eloszlásai szerint hasonló mértékben növekednek.



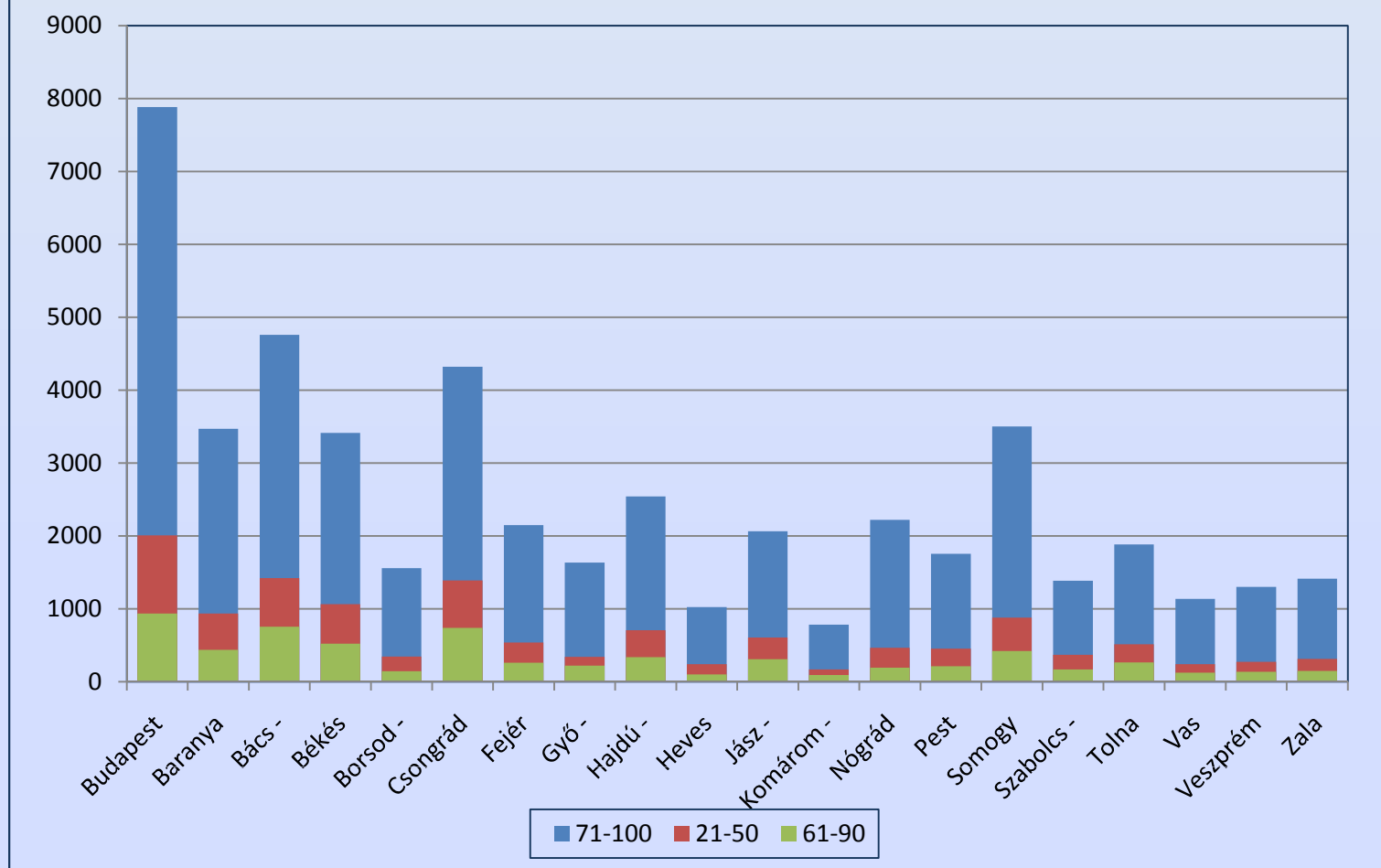
A klímaváltozás okozta többlethalálozás növekedés a 2021-2050 időszakra általában kétszeresére emelkedik, míg a 2071-2100 közötti évekre 6-11-szeres növekedés várható a számítások alapján.

A klímaváltozás okozta többlethalálozás növekedés (%):



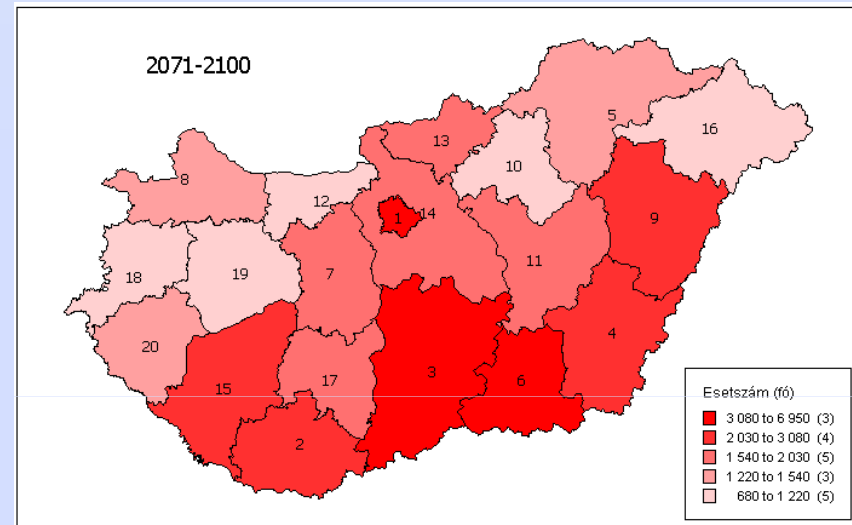
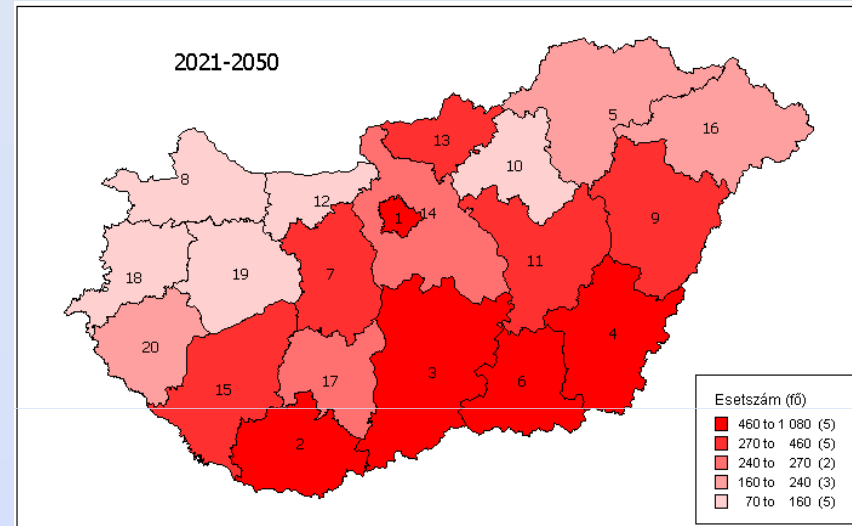
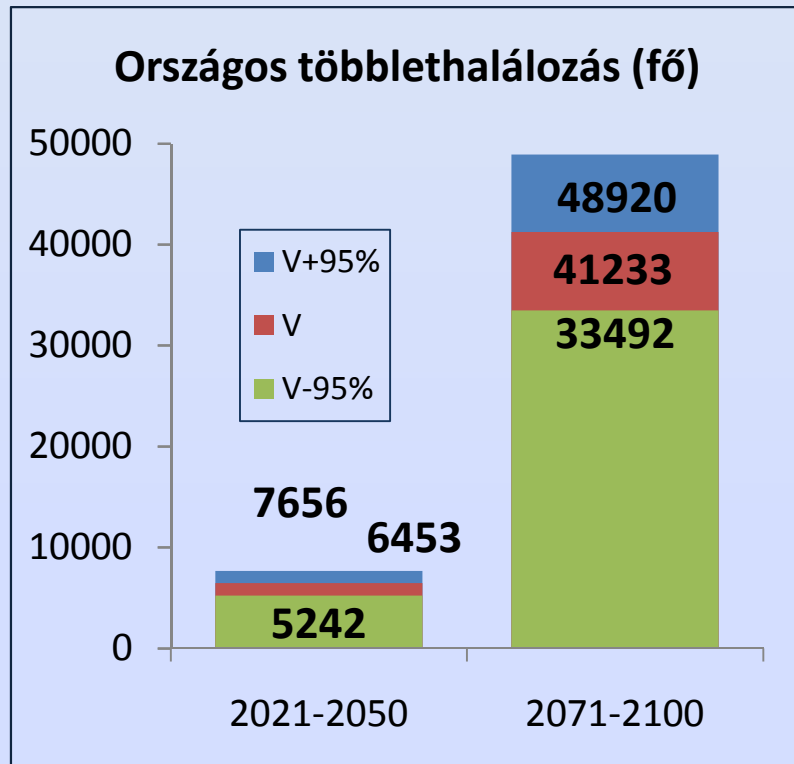
A klímaváltozás okozta többlethalálozás növekedés a 2021-2050 időszakban hazánk északkeleti - míg a 2071-2100 közötti évekre már az északnyugati területeket is - érinti a legjobban.

A hőségriadós napok okozta többlethalálozás (fő)



Az 1992-2004 közötti sérülékenység és a jelenlegi halálozási adatok (2007) alapján becsült többlethalálozási esetszámok jól érzékeltetik a várható klímaváltozás napi halálozásra gyakorolt megyei szintű hatásait.

A klímaváltozás okozta többlethalálozás (fő):



A többlethalálozási esetszámok nagyobb emelkedése leginkább az ország déli részét és Budapestet érinti, és jelentősen emelkedhet az évszázad vége felé.

Összefoglalás:

- A RegCM modell a hőségriadós napok gyakoriságainak és intenzitásainak növekedését prognosztizálja minden megyében.
- A hőségriadós napok relatív növekedése az északi és nyugati megyékben intenzívebbé válhat.
- A hőségriadós napok relatív növekedésével arányosnak tekinthető az általuk okozott többlethalálozás növekedés.
- Az 1992-2004 közötti sérülékenység alapján számított többlethalálozási esetszámok modellezése a klímamodell 30 éves periódusaiban lehetőséget ad az elkerülhető halálozást csökkentő intézkedések továbbfejlesztéséhez.

További feladatok, tervek

- Eredmények publikálása
- Komplex hőség indikátorok tesztelése a többlethalálózással kapcsolatban
- A halálózási modell finomítása, validálása
- Kockázati tényezők további keresése, sérülékenységet meghatározó tényezők vizsgálata

Köszönöm megtisztelő figyelmüket !

*Az elemzések az MTA-BCE „Alkalmazkodás a Klímaváltozáshoz Kutatócsoport”
(2006TKI246) támogatásával készültek.*