

KREINICKER KATA, SIPOS BENCE

TDK MUNKA



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
GEOMETRIA TANSZÉK

TDK MUNKA



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

GEOMETRIA TANSZÉK

KREINICKER KATA, SIPOS BENCE

A MAKROSZKÓPIKUS IDŐJÁRÁSI
VISZONYOK ÉS KARDIOVASZKULÁRIS
PROBLÉMÁK KAPCSOLATÁNAK
VIZSGÁLATA

Konzulens:

dr. Szilágyi Brigitta
docens

prof. dr. Sótonyi Péter
tanszékvezető egyetemi tanár

Budapest, 2022.

Szerzői jog © Kreinicker Kata, Sipos Bence, 2022.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Irodalomkutatás	4
2.1. Péczely-féle makroszinoptikus időjárás osztályozás	4
2.2. Az időjárás és a kardiovaszkuláris problémák kapcsolata	9
2.3. Adatfeldolgozási módszerek	10
2.3.1. Isolation forest	10
2.3.2. Autokorreláció és szezonáltság vizsgálata	11
2.3.3. Bayesiánus statisztikai modellek	12
3. Adatok	14
3.1. Sürgősségi Betegellátó Osztályra vonatkozó leíró statisztikák	15
3.2. A vizsgált időszak Péczely-féle makroszinoptikus osztályozás szerinti leírása	17
4. Eredmények	21
4.1. Péczely-féle makroszinoptikus osztályozás figyelembe vételével kapott eredmények	21
4.2. Napközi változékonyság	23
4.3. Hőhullámok	25
4.4. A hőmérsékletfüggés további vizsgálata	27
4.5. Az évszakok hatásának elemzése	28
5. Összefoglalás	30
Irodalomjegyzék	32

1. fejezet

Bevezetés

Nagyon régóta ismert, hogy az időjárás hatással bír az emberi szervezetre, közérzetünket befolyásolja. A görög klíma szó jelentéseiből 'éghajlat', 'hajlam' is tükröződik a két fogalom közötti kapcsolat. Emellett a meteorológia szó az ókori görög meteórosz 'a magasban lévő' és 'a hajlamos' kifejezésekből származik, utalva az égitestek mozgására, illetve égi jelenségek hatásaira. Tehát akár klimatológiát, akár meteorológiát említünk, egyértelművé válik ezen tudományok orvosi vonatkozása.

A légköri környezet élő szervezetre gyakorolt hatásával a bioklimatológia vagy biometeorológia foglalkozik. Ez utóbbi elsősorban kisebb léptékű, az időjárás hatásait elemzi. A bioklimatológia viszont nagyobb léptékű, hosszabb légköri változásokra utal, mégis gyakran szinonimaként használják a két fogalmat. A humán bioklimatológia olyan részterülete a klimatológiának, amely az éghajlat, az időjárási viszonyok emberi szervezetre gyakorolt élettani és kórélettani hatásait vizsgálja. Módszereiben szoros kapcsolat mutatkozik az orvostudománnyal. [1]

Az időjárás és csillagászat, valamint azok egészségügyi aspektusai már az ókori Mezopotámiában, Egyiptomban, a távol-keleti Indiában és Kínában is megjelentek. Az ókori orvosmeteorológia egyik legjelentősebb alakja Arisztotelész volt. Az ő értelmezésében a meteorológia az Ég és a Föld között lejátszódó jelenségek tudománya. Meteorologica című művében a hőnek és a nedvességnek az emésztésre, szaporodásra gyakorolt hatásait elemezte. Galénosz a tüdőbetegeknek, Celsus pedig a rossz emésztésűeknek ajánlott éghajlatváltozást, ezzel megalapozva a XIX. századi klimatoterápiát. [2] A Római Birodalomban elterjedt a szintén a meteorológiához kapcsolható helioterápia, a napfény segítségével történő gyógyulás, a napfénykúra, melyet a kor nagy alakjai, mint Cicero vagy Galerius császár felesége is előszeretettel alkalmaztak. Ekkor élte virágkorát az orvosi asztrológia is.

Az antik tudomány az arab kultúrában élt tovább. A késő középkori európai orvostudomány mind az ókori, mind az iszlám elméleteket felhasználta. Bár az egyház a predesztináció tanára hivatkozva ezeket elutasította, nem állította meg terjedésüket.

A reneszánsz idején az orvosmeteorológia újjáéledése zajlott, visszanyúlva annak antik gyökereihez. Különösen nagy jelentőséggel bírtak a napfogyatkozások, meteorok, üstökösök megjelenései. Ezeket a különös égi jelenségeket egészen a XVIII. századig járványok prediktorainak tartották. Athanasius Kircher az elsők között volt, aki kísérleti módszerekkel próbálta igazolni az orvosmeteorológia megfigyeléseit. [3]

Az orvosmeteorológia igazi reneszánsza azonban egy évszázaddal későbbre tehető. Az újkori meteorológia kezdete a XVIII. század. Ekkor kezdődött a Mannheimer Társaság szervezésével 40-45 meteorológiai állomás adatainak összegyűjtése és tudományos kiértékelése. Ez számos publikáció alapjául szolgált. [4]

E tudományterület fejlődése napjainkban is dinamikus, egyre több ismeretünk van a különböző betegségek és az időjárás közötti összefüggésekről. A modern adatelemzési eljárások, a mesterséges intelligencia használata, a nagy mennyiségű adat kezelésében bekövetkező fejlesztések egyre komolyabb számításokat tesznek lehetővé. Ugyanakkor a legtöbb kutatás alapját az extrém időjárási jelenségek, szélsőségek képezik. [5]

Mára már világossá vált, hogy századunk legnagyobb egészséget fenyegető tényezője a globális felmelegedés, aminek hatására a betegségek és a mortalitás eloszlása megváltozik, csökkeni fog a populáció számára rendelkezésre álló élelmiszer és víz, a lakható területek mértéke, illetve egyre szélsőségesebb időjárási jelenségekre számíthatunk. Ezek közül a hőmérsékletváltozás - különösen a hőhullámok - közvetlenül kihatnak a halálozásra. A 2003-as hőhullámok Európában közel 70.000 halálesetért tehetőek felelőssé. Az áldozatok nagyrésze respiratorikus és kardiovaszkuláris betegségekben hunyt el. [6]

Magyarországon is egyre gyakoribbak és hosszabbak a hőhullámok. Megkülönböztetünk első-, másod- és harmadfokú hőhullámokat. Ezen napok között intenzitásbeli különbség van. Míg az elsőfokú hőhullám esetén egy napig kell meghaladnia a napi átlaghőmérsékletnek a 25°C-ot, addig a másodfokú hőhullámok esetén már 3 napig kell meghaladni ezt az értéket, vagy 1 napig a 27°C-ot. Harmadfokú hőhullámmal jellemezhető napoknak pedig azokat tekintjük, amikor a napi átlaghőmérséklet tartósan (legalább 3 napig) meghaladja a 27 °C-ot. Az általunk vizsgált időszakban mi is figyelmet fordítottunk ezekre a napokra. Az adatok alfejezetben bővebben kifejtjük az erre vonatkozó statisztikákat.

Tanulmányok sokasága számol be egyéb meteorológiai paraméterek bizonyos kardiovaszkuláris események mortalitására gyakorolt szerepéről. [7] Széles körben vizsgált az aorta aneurysma rupturák esetében is az időjárás, mint független környezeti tényező szerepe. [8] Bár ezen publikációk néhány kivétellel szignifikáns kapcsolatot írnak le

egyres időjárási paraméterek és az aorta aneurysma rupturája között, mégsem vonható le belőlük egységes konklúzió. Jelen dolgozatunkban szeretnénk volna ezt a problémát minél összetettebben és precízebben megközelíteni.

Az időjárást alakító különböző tényezők (léghőmérséklet, légmozgás, légnedvesség stb.) egymással szoros kapcsolatban vannak, egyik tényező megváltozása kihat a másokra. Ahhoz, hogy ezeket a klímaparamétereket együttesen tudjuk kezelni, ezzel egyidejűleg figyelembe tudjuk venni az adott régió éghajlati viszonyait, a Péczely-féle makroszinoptikus osztályozást választottuk a vizsgált időpontokban a meteorológiai környezet leírására. A Péczely-féle osztályozás előnye azon túl, hogy a napokat az alapján határozza meg, hogy az időjárás komplexitását leegyszerűsítő klasztereket hoz létre, hogy az egész Kárpát-medencében egységes. Így noha hazai adatok feldolgozásával készültek a vizsgálataink, az eredményeink sokkal szélesebb körben érvényesek. El kell azonban mondani, hogy a lokális változások hatásait ezzel a módszerrel nem vizsgálhatjuk. Ezt egyéb, lokális paraméterek elemzésével tettük meg.

2. fejezet

Irodalomkutatás

2.1. Péczely-féle makroszinoptikus időjárás osztályozás

Vizsgálatunkhoz a Péczely-féle makroszinoptikus időjárás osztályozást vettük alapul. A különböző időjárási helyzeteket Péczely György (1929-1984) klimatológus 1957-ben megjelent munkájában írta le. [9] Ez a leírás tartalmazta az első katalógust is. 1983-ban megjelent Ambrózy-Bartholy-Gulyás [10] klaszteranalízissel összeállított munkája, majd még ugyanebben az évben egy újabb Péczely-kötet látott napvilágot. [11] Péczely professzor hirtelen halálát követően aspiránsa, Károssy Csaba Ákos folytatta munkáját. Dolgozatunk megírásakor nagy mértékben támaszkodtunk az általuk leírtakra.

Az eredeti osztályozás ugyan a Kárpát-medence térségére készült, de az időjárási helyzetek értelmezése annyira logikus egységet alkot, hogy modellként más földrajzi területek tipizálásához is felhasználható. A típusok a mérsékelt övezet cirkulációs rendszereiből vezethetők le. Ezek alapján öt nagyobb kategóriába lehet besorolni az egyes időjárási helyzeteket: meridionális északi, meridionális déli, zonális nyugati, zonális keleti és centrális alaphelyzetek. Péczely György a Kárpát-medence esetében 13 eltérő makroszinoptikus helyzetet definiált. Figyelembe vette a Kárpát-medence, az Alpok és a Földközi-tenger módosító hatásait. Az időjárási helyzeteket 1 napig (0-24 óráig) értelmezte. A tipizálás számozása egyben megfelel az egyes időjárási helyzetek katalógusban megjelenő kódjának. A következő táblázatban összefoglaltuk az egyes típusokat a rájuk jellemző időjárási paraméterekkel. [12]

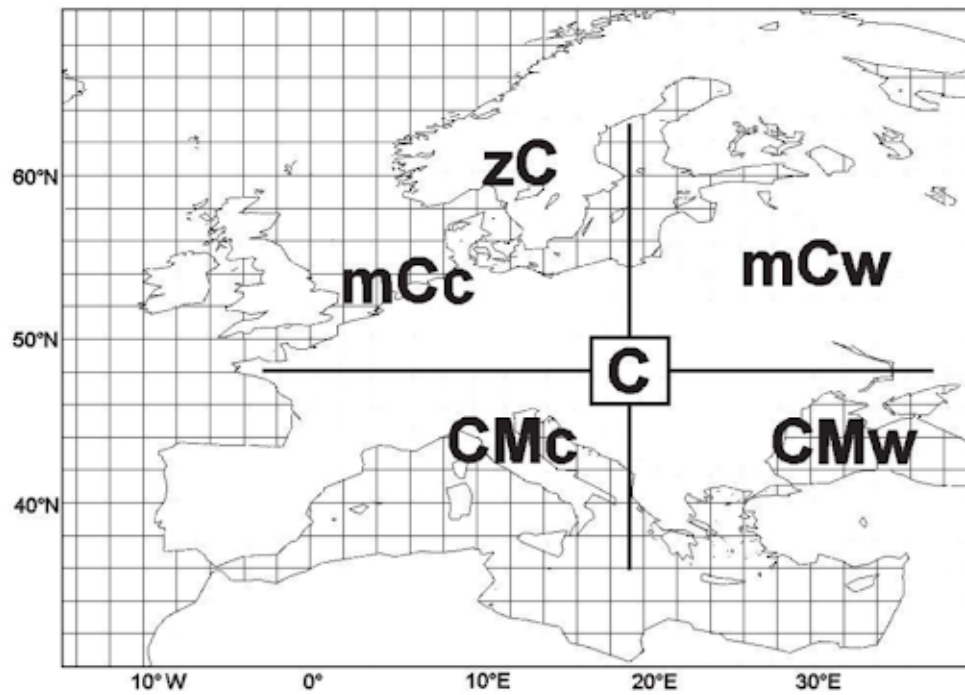
Péczy-féle makroszinoptikus időjárás osztályozás			
1.	mCc	Meridionális ciklon hátoldali áramlásrendszere	A Kárpát-medence időjárását a Baltikum vagy Ukrajna fölött tartózkodó ciklon hátoldali áramlási rendszere alakítja. Hidegfronti tevékenységet lehet hozzá társítani. Nyári és téli csapadék egyaránt jellemzi. Alacsony légszennyezettség, stabil hőmérsékleti rétegzettség jellemző ezekre a napokra. A hőingás gyakran aperiodikus.
2.	AB	Anticiklon a Brit-szigetek térségében	Vagy az azori anticiklon északabbra vonulásával vagy sarki területekről délebbre helyeződő anticiklonok által alakul ki a jelenség. Gyakran hidegfrontok megjelenésével kísért. Élénk északi, északnyugati áramlást idéz elő térségünkben. Száraz, derült, tartósan meleg, párás időjárás, viszonylag nagy szélsőesség jellemző ezekre a napokra.
3.	Cmc	Mediterrán ciklon hátoldali áramlásrendszere	Gyors mozgású mediterrán ciklon hidegfronti áramlásrendszere halad át, északi, északkeleti légmozgást eredményezve. Minden évszakban jelentős mennyiségű csapadék hullik. Alacsony légszennyezettség, szeles időjárás, aperiodikus napi hőingás jellemző ezen napokra. Az év túlnyomó részében lehűlést eredményez, de télen általában enyhülést hoz.
4.	mCw	Meridionális ciklon előoldali áramlásrendszere	A Földközi-tenger középső részei felett képződött, majd az Adria térségébe áthelyeződött ciklon határozza meg a Kárpát-medence időjárását. Zömében melegfronti hatások érvényesülnek. Tartós, lassú esőzések, nagy ködgyakoriság, szeles időjárás jellemző az őszi és téli időszakokra. Nyáron fülledtség és nagy légszennyezettség dominál.
5.	Ae	Anticiklon Magyarországtól keletre	Ukrajna fölött húzódó anticiklon hatására déli, délkeleti irányú légmozgás határozza meg a Kárpát-medence időjárását. Száraz, derült, esetenként fülledt helyzetet eredményeznek ezek a napok. A téli napok erős lehűléssel járhatnak, ilyenkor nagy légszennyezettség sem kizárt. Nagy periodikus hőmérsékleti ingás jellemzi.

Péczy-féle makroszinoptikus időjárás osztályozás			
6.	CMw	Mediterrán ciklon előoldali áramlásrendszere	A Földközi-tenger térségében képződött ciklon melegfrontja gyakorol hatást a Kárpát-medencére. Kiadós esőzések köthetők ezekhez a napokhoz. A tél melegebb, a nyár pedig hidegebb mint az évszakos átlag. Erős felhőzöttség, nagy légszennyezettség és rossz látási viszonyok jellemzik ezt a típust.
7.	zC	Zonális ciklonális	Zonális nyugati áramláshoz kapcsolódó időjárási helyzet, amely esetén az éghajlati frontálzóna európai szakasza az 50. szélességi kör közelében húzódik. Gyors vonulású ciklonok alakítják hazánk időjárását ezeken a napokon. Változékony, erősen szeles, alacsony hőingással jellemezhető időjárási helyzetet eredményez.
8.	Aw	Nyugatról benyomuló anticiklon	Az azori anticiklon északabbra tolódásával alakul ki ez a helyzet. Többnyire enyhe hidegfronti hatás érvényesül. Élénk északnyugatias-nyugatias áramlást eredményez. A tél melegebb, a nyár pedig hűvösebb az átlagos hőmérsékletnél. Derült, párás, meleg, időnként fülledt időjárás jellemzi ezeket a napokat.
9.	As	Anticiklon Magyarországtól délre	Zonális nyugati áramláshoz kapcsolódó időjárási helyzet, amely esetén a Földközi-tenger vagy Balkán-félsziget felett elhelyezkedő anticiklon alakítja hazánk időjárását. A ciklonpályák északabbra tolódása miatt frontrendszer nem érintik a Kárpát-medencét. Melegebb, derült napok jellemzőek, nyáron gyakori a fülledtség is.

Péczy-féle makroszinoptikus időjárás osztályozás			
10.	An	Anticiklon Magyarországól északra	A Baltikum vagy a Lengyel-alföld fölött elhelyezkedő anticiklon hatása érvényesül hazánkban. A Kárpátok módosító hatása miatt jellegzetes orografikus okklúziós frontok is megjelenhetnek ezen a napokon. Télen hideg, nyáron meleg időjárás a jellemző. A légszennyezettség és a napi hőingás kiugróan magas.
11.	AF	Anticiklon Fennoskandinávia térségében	A Fennoskandinávia térségében tartózkodó anticiklon hatása érvényesül. A téli és a koratavaszi időszakhoz hirtelen lehűlés köthető. Általában alacsonyabb a csapadékgyakoriság és a légszennyezettség ezeken a napokon. A levegő az év nagy részében hidegebb, mint az évszakos átlag. Nagy napi hőmérsékleti ingás jellemző erre a helyzetre.
12.	A	Anticiklon a Kárpát-medence fölött	Egész Közép-Európában egy centrum helyzetű anticiklon érzékelteti befolyását. Hosszabb ideig is fennmaradó helyzet lehet. A telekre erős lehűlés, a nyarakra pedig nagy felmelegedés a jellemző. Alacsony csapadék, száraz levegő, nagy légszennyezettség és nagy napi hőingás jellemzi ezeket a napokat.
13.	C	Cikloncentrum a Kárpát-medence fölött	A Kárpát-medence fölött kialakult ciklon többféle módon is létrejöhet. Ezekben a helyzetekben éles hőmérsékleti kontraszt alakul ki: a tél melegebb, a nyár viszont hidegebb az évszakos átlagnál. Jelentős mennyiségű csapadék hullik minden évszakban. Szeles időjárás jellemzi, de nem alakul ki egységes szélirány. Kicsi a napi hőmérsékleti ingás.

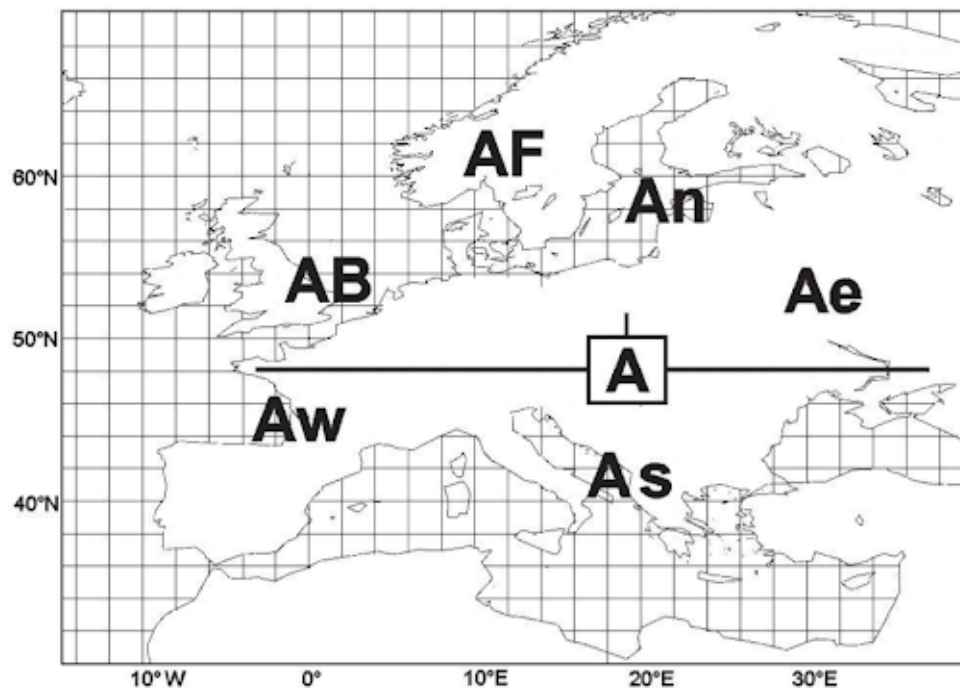
Péczy a nyomásrendszerek elkülönítésénél a 1015 hPa értéket tekintette határértéknek, ami alapján 6 ciklonális, 7 anticiklonális típust különböztetett meg. A ciklonális helyzetek sematikus elhelyezkedését a Kárpát-medence környékén a [2.1 ábra], az anticiklonális helyzeteket pedig a [2.2 ábra] mutatja.

Az időjárás rendkívül komplex rendszer, a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak összessége. A Péczy-féle tipizálás segítségével egyetlen kód alapján képet kaphatunk egy-egy nap időjárási viszonyairól. Rálátásunk lesz a hőmérséklet-, illetve csa-



2.1. ábra. A ciklonális helyzetek sematikus elhelyezkedése

padékviszonyokra, a légrétegzettségre, a felhőzöttségre, de akár a légszennyezettségről és látási viszonyokról is információt kaphatunk.



2.2. ábra. A anticiklonális helyzetek sematikus elhelyezkedése

2.2. Az időjárás és a kardiovaszkuláris problémák kapcsolata

Megvizsgáltuk, hogy korábban kik foglalkoztak hasonló kérdésekkel magyar, illetve nemzetközi vonatkozásokban. Magyarországon Boussousou Nora munkatársaival a Semmelweis Egyetem Érsebészeti Klinikáján 343 kardiovaszkuláris esetet vizsgált meg az időjárás tekintetében. Eredményei szerint az esetszámokra erősen szignifikáns összefüggést mutató szezonális variancia jellemző. Hasonló szignifikáns összefüggést a frontok esetében nem írt le, azt viszont megállapította, hogy a napi esetszámok növekedésével korreláció van. Ugyanakkor a napi hőmérséklet- és légköri nyomás-ingadozás, valamint a napi kardiovaszkuláris esetszámok között szignifikáns kapcsolatot írt le. [13]

Ugyancsak ez a kutatócsoport 2009-2013 között közel 6500 esetet vizsgált meg, szintén a Semmelweis Egyetem Érsebészeti Klinikáján. Az előző eredmények mellett kapcsolatot találtak a szélsébség és a relatív páratartalom, valamint a napi esetszámok között. [14]

Kínai kutatók megvizsgálták, hogy milyen meteorológiai jelenségek esetén kerülnek kardiovaszkuláris problémákkal sürgősségi osztályra a betegek. Vizsgálták a hőmérséklet, relatív páratartalom, nyomás, átlagos szélsébség és a csapadék hatását, emellett nézték a légszennyezettséget is. Adataik 2009-2012 közötti intervallumra vonatkoznak. A Péczely-féle makroszinoptikus osztályozáshoz hasonlóan összetett meteorológiai mintázatokat vizsgáltak, Lamb-Jenkinson beosztás szerint. Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy ezt a tipizálást a Brit-szigetekre készítették, ezért ennek szárazföldi alkalmazása megkérdőjelezhető. Vizsgálataik szerint a szélsőséges hőmérsékletek, alacsony páratartalom, erős szél és nagy nyomáscsökkenés a CVD esetszám növekedéshez vezet. Az idősekre rövidtávon hatást gyakorolt a PM2.5 por, mint légszennyező anyag jelenléte. A Lamb-féle N besorolás valószínűleg a légszennyezettségen keresztül befolyásolta a kardiovaszkuláris esetszámokat. Ez az időjárás típus a Péczely-féle besorolásban körülbelül a 2-es (AB) típusnak feleltethető meg. Élénk északi, északnyugati áramlás, az év túlnyomó részben hidegebb levegő jellemző mindkettőre. [15]

Gumbretière társaival Franciaországban vizsgálta az időjárás és az érrendszeri megbetegedések kapcsolatát. Azt tapasztalták, hogy az akut aorta szindrómák számát az egy héten belüli 5 °C-nál nagyobb hőmérsékletesés szignifikánsan megemeli. Azonban azt fontos megemlíteni, hogy csak 140 esetet vizsgáltak meg. Ha 2-4 kPa közötti nyomáscsökkenés volt, akkor 3 napon belül megnövelte az AAS kockázatát. Ez az állítás fordítva is igaz: a nyomásnövekedés az esetszám csökkenéséhez vezetett azonban sokkal kisebb mértékben. [16]

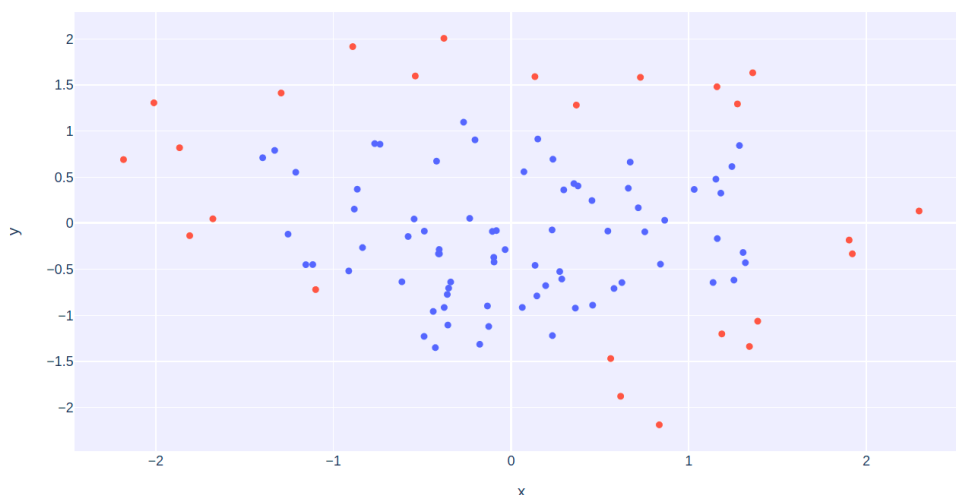
A Péczely-féle makroszinoptikus osztályozást vettük alapul Az időjárás hatásának vizsgálata a sürgősségi betegellátó osztályra neurológiai problémákkal felvett páciensek esetén című TDK dolgozatunkban. Munkánkban néhány igen gyakori neurológiai kórkép (migrén, epilepszia, stroke), valamint az időjárás között kerestünk jelentősebb összefüggéseket. Különös hangsúlyt fordítottunk a légszennyezők koncentrációjára. [17]

2.3. Adatfeldolgozási módszerek

Ebben a részben a későbbi vizsgálatokhoz használt módszereket fogjuk röviden bemutatni. A feldolgozást jelentősen nehezíti az adatok nagy szórása, így nincs lehetőség sok tradicionális módszer használatára. A fentebb is említett kis esetszámok okozta nehézséget kezelni kell. Ha csak néhány esemény történik naponként, akkor azok a napok, amelyeken egy-két beteggel több jelenik meg a rendelőkben kiugró értéként jelentkezhettek, pedig a probléma jellegéből fakadóan az esetszámok csak egész számokkal változhatnak. Ezért adódhat az, hogy akár még több száz, vagy néhány ezer fős mintán vizsgálódva is a lehetőségek nagy száma okán - gondoljunk bele, hogy a Péczely-féle makroszkópikus osztályozásnak is 13 klasztere van - olyan eredmények adódhatnak, amelyeket fenntartással kell kezelnünk.

2.3.1. *Isolation forest*

Az isolation forest egy anomáliákat és hibás kiugró értékeket kereső eljárás. Nagy előnye számos más anomáliadetektáló módszerhez képest, hogy magas dimenziójú adatokon is képes működni, ami a mi esetünkben a rengeteg időjárási paraméter figyelembe vétele miatt elengedhetetlen. A módszer a kiugró értékeket bináris fák építésével találja meg, olyan módon, hogy azt mondja azok a pontok a kiugróak, amelyeket könnyű szeparálni a többi adattól. A bináris fát véletlenszerűen építi a módszer, oly módon, hogy először választ egy attribútumot (vagy dimenziót), majd ezt egy véletlen küszöbértékkel elszeli. A létrejövő részeket ezt követően addig darabolja a rendszer tovább, ameddig az egyes létrejövő csoportokban 1-1 elem vagy több azonos értékű elem lesz. Annak megállapítása, hogy mely értékek jelentek meg anomáliaként a rendszerben az átlagos úthosszból állapítható meg. Ha számos random fát építünk, akkor az egyes pontok szeparálhatósága, az épített fák átlagos mélységével arányos. Ezt úgy képzelhetjük el, hogyha kicsi ez a szám, akkor könnyen szeparálható egy pont, ami az anomáliára utalhat, ezzel szemben, ha az érték nagy, akkor nehezen lehetséges csak a többi ponttól elkülöníteni a vizsgált pontot.

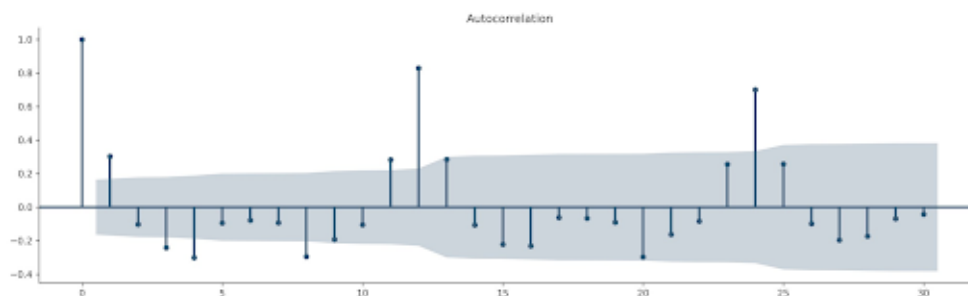


2.3. ábra. Az isolation forest eredménye kékekkel a normál, pirossal a kiurgó értékek

A 2.3 ábrán láthatjuk, hogy két normál eloszlásból származó dimenzió esetén mely pontokat tartja a rendszer hibásnak. Az ábrán ezeket pirossal jelöltük. Magasabb dimenzióban is hasonlóan működik a rendszer, de ott nehezebb az eredmények vizualizálása. (Dimenzióredukált adatokon nem feltétlen ilyen jól körülhatárolt a jó és a hibás terület.)

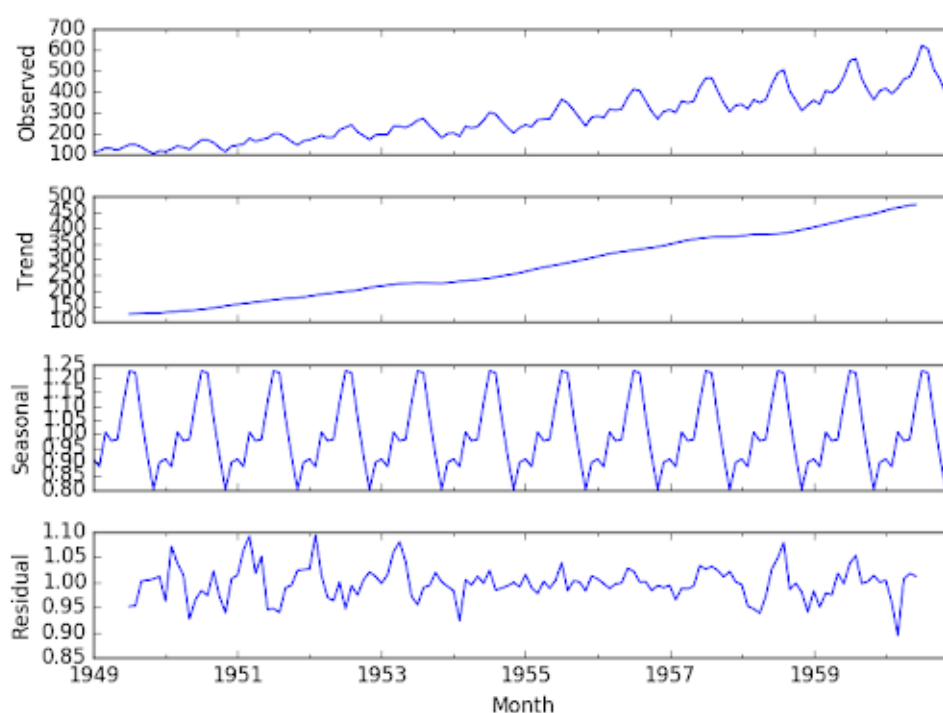
2.3.2. Autokorreláció és szezonális vizsgálat

A vizsgált jelek sok esetben periodikusak, ezt a periodicitást több dolog is okozhatja, a mi esetünkben például az, hogy a Sürgősségi Betegellátó Osztály nyitvatartása miként változik. Elengedhetetlen, hogy ennek figyelembe vételére vizsgálatokat végezzünk, mert enélkül könnyen romolhatnak a felállított modelljeink. Annak megállapítására, hogy egy jelben található-e periodikus minta, az autokorreláció módszere kiválóan alkalmas. Ez a módszer azon alapul, hogy a jelet saját eltolójával korreláltatjuk. Ennek eredményeként visszakapunk egy összefüggést az időbeli eltolások és a jel saját magával vett korrelációja között. Ezt ábrázolva jól látható, ha a jelben található ismétlődő mintázat. Küszöbérték megadásával pedig megkaphatjuk ezeket. [18]



2.4. ábra. Autokorrelációs példa repülőjáratok gyakoriságára

A periódus hosszának megállapítása után már lehetséges szezonális dekompozíciót végezni. Ennek a módszernek az a célja, hogy a bemenő jelet komponenseire bontsa. Három komponens összegeként áll elő a bemenő jel, ezek a periodikus rész, a trend és a maradó hiba. A periodikus rész mutatja meg, hogy milyen ismétlődő minta van a jelünkben. Ilyen ismétlődő minta lehet például a nyitvatartás egy boltnál vagy a hőmérséklet változásában az évszakok. A trendet mint egy mozgóátlagot képzelhetjük el, ezzel lehetséges az időbeli változások lekövetése. (Például a hőmérsékletnél a globális felmelegedés miatti átlagemelkedés, de akár gondolhatunk egy csapágy kopása miatti nagyobb átlagos teljesítményfelvételre is egy gyártósor esetén.) A maradó hiba, mint a neve is mutatja a trend és a periodikus rész összege és a bemenő jel közti részt hivatott kitölteni. Ezt a részt próbáljuk a modellillesztés során minimalizálni. [19]



2.5. ábra. Szezonális dekompozíció a repülővel utazók számának előrejelzésére

2.3.3. Bayesiánus statisztikai modellek

A bayesiánus statisztika segítségével elvárásokat vagy hiedelmeket ellenőrizhetünk. Ilyen elvárás a mi dolgozatunkban például, hogy a frontos napokon magasabb a betegek száma. Ez egy, az orvosok és a betegek által is érzékelt dolog, viszont ennek bizonyítása nem egyszerű feladat. Elég abba belegondolni, hogy a frontos idő miatt fejfájással dolgozó orvos számára mennyivel többnek tűnhet egy-egy nap betegforgalma. (A későbbiekben belátjuk, hogy a front ténylegesen hatással van a betegek számára, de ezt még itt nem tudhatjuk.) A módszer a nevét Thomas Bayes-ről kapta, aki egy

nonkonformista lekipásztor volt, de matematikusként is elismerést szerzett. A Tanulmány a problémamegoldás valószínűség-elméleti megközelítéséről című munkájában találjuk a később róla elnevezett Bayes-tételt is, ami ezen statisztika alapjául is szolgál. Pierre-Simon Laplace később továbbvitte ez a területet és létrehozta a valószínűségi bayesiánus interpretációt. Laplace nagy szerepe miatt sok helyen az ő nevét is a megtaláljuk a módszer elnevezésében. Bayes továbblépett a hagyományos gyakoriságalapú statisztikától, megközelítése szerint szubjektív valószínűségek is kezelhetők matematikai valószínűségeként. A Bayes-tétel kimondja, hogy ha ismert két esemény (A és B) valószínűsége és egyik sem nulla, illetve ismert $P(B|A)$ feltételes valószínűség, akkor:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}. \quad (2.1)$$

Tehát a $P(A)$ priori valószínűség és az ismert $P(B|A)$ feltételes valószínűség szorzata elosztva a $P(B)$ valószínűséggel megadja a $P(A|B)$ posteriori valószínűséget. A XX. században Bruno de Finetti olasz valószínűségi statisztikus és aktuárius szállt síkra a szubjektív valószínűségek alkalmazásáért a gyakoriságalapú valószínűségek mellett. A múlt század második felétől a bayesiánus mozgalom egyre erősödött. A hagyományos alapokon álló statisztikusok nem a Bayes-formula érvényességét vitatják, ha azt ténylegesen mérhető valószínűségekre alkalmazzuk, hanem a szubjektív valószínűségek értelmezésének problematikáját hangsúlyozzák. (Problematicusnak tartják már annak a kérdésnek az értelmezését is, hogy egy elítélt milyen valószínűséggel bűnös vagy bűntelen.) Mára azonban a bayesiánus gondolkodás számos alkalmazásával találkozunk a tudományban, az időjárás-előrejelzésben, de még az igazságszolgáltatásban is. A tétel ismert felhasználása a COVID-19 teszteknel is megtalálható, ahol a tétel segítségével azt mutatták be, hogy magas pontosságú tesztek is sok esetben adhatnak pontatlan képet a helyzetről. Például ritkán előforduló betegségeknél (1 az 1000-ból) egy 99%-os megbízhatóságú teszt is csak a pozitívnak mondott tesztek egy tizedében talál igazi beteget. (9 pozitív teszttel rendelkező ember tehát nem is beteg valójában egy tizes mintából.)

3. fejezet

Adatok

A sürgősségi osztályról származó adatokhoz hozzáférést a Jahn Ferenc Dél-pesti Kórház és Rendelőintézetől kaptunk. Az adatbázis 153 024 esetet tartalmaz, 2015. január 1. és 2019. december 31. között. Ezen időszak 1 821 napjára átlagosan napi 10,35 kardiovaszkuláris eset jutott. Fontos megjegyezni, hogy annak megállapítása, hogy melyik eset milyen nagyobb kategóriába sorolható nehéz feladat és az orvostársadalmat is sok esetben megosztja. Minden, a Sürgősségi Betegellátó Osztályra (SBO) bekerülő páciens két BNO kóddal jellemeznek. A BNO-kódok vagy hosszabb nevükön a betegségek nemzetközi osztályozására használt kódrendszer lehetővé teszi az egyes problémák rövid leírását. A BNO-kódok hátránya viszont az, hogy sok esetben nem teljesen egyértelmű, hogy egy-egy beteget pontosan melyik kódhoz rendeljenek, mert a kódolásban redundancia található, illetve sok esetben nagyon nehéz vagy szinte lehetetlen megállapítani, hogy pontosan hová lehet az adott tünetegyüttest sorolni. Ezek alapján nemcsak egyszerűen az adott BNO besorolások mentén osztottuk részekre az adatbázist, hanem szakorvosi segítséggel nagyobb csoportokkal is számoltunk. Ennek több előnye adódott, ezeket később a számításokkal foglalkozó részben bővebben kifejtjük.

A másik elengedhetetlen adatforrásunk az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, ahonnan egy rövidebb időszakra (4 év) vonatkozó pontos meteorológiai és légszennyezési adatok a rendelkezésünkre álltak, így azok hatását is vizsgáltuk. 1881 óta rendelkezésünkre áll a Péczy-féle makroszinoptikus skála szerinti besorolás, melyet az év minden napjához meghatároznak.

A hóhullámokra különös figyelmet fordítottunk, ugyanis az utóbbi évtizedben azok gyakorisága és intenzitása jelentősebb és ez komoly népegészségügyi kockázatot rejt magában. Hivatalosan a hóhullámos napokat a napi átlaghőmérséklet értékeinek alapján állapítják meg, azonban a hétköznapi szóhasználatban gyakran a napi maximum hőmérséklet adatokat veszik alapul. Így jöhetnek ki - tévesen - olyan megállapítások, hogy egy évben akár egy hónapnyi is lehet a harmadfokú hóhullámos napok száma. Mindezeket

figyelembe véve, a napi átlaghőmérséklet alapján megvizsgáltuk az első-, másod- és harmadfokú hőhullámokkal jellemezhető napok arányát. A vizsgált időszak 3,4%-át tették ki az elsőfokú, 3,54%-át a másodfokú és 1,77%-át harmadfokú hőhullámos napok. Itt láthatjuk, hogy a napi átlaghőmérsékletet figyelembe véve harmadfokú napokból mindössze 1-5 van egy évben. A 2015-ös év produkált kiugró értéket, de még ebben az esetben sem beszélhetünk egy hónapnyi harmadfokú hőhullámos napról. Városokban ezek az értékek még nagyobbak lehetnek a hőszigetek miatt. Ezeknek a hátterében leginkább a sűrű beépítettség, az alacsony növényborítottság és a burkolatok állnak.

Vizsgált évek hőhullámai			
Év	Elsőfokú hőhullám	Másodfokú hőhullám	Harmadfokú hőhullám
2015.	12	21	16
2016.	8	6	1
2017.	14	13	3
2018.	14	19	5

3.1. Sürgősségi Betegellátó Osztályra vonatkozó leíró statisztikák

A továbbiakban az SBO-ra érkezők elosztását fogjuk jellemezni problémacsoport és időbeli eloszlás szerint. Kezdetben 4 főcsoportra osztottuk a betegeket, melyet később tovább finomítottunk 15 alcsoportra, mivel a 4 főcsoportba történő besorolás az orvosok szerint túl sok, egymáshoz csak lazán, vagy egyáltalán nem kapcsolódó kórképet foglalt magába. Az egyes kórképek aránya nagyban eltért, a kardiovaszkuláris csoport viszont kiemelkedően magas arányban volt jelen, ami jól alátámasztja, hogy Magyarországon rengetegen küzdenek ilyen jellegű problémákkal (2019-ben¹ például ez a terület felelt a halálozások 49%-áért).

Az egyes besorolásokat bővebben nem fejtjük ki, csak a számunkra legfontosabbat, a kardiovaszkuláris betegségeket tartalmazó csoportot mutatjuk be bővebben. Ebbe a csoportba több BNO-kód betegségei kerültek:

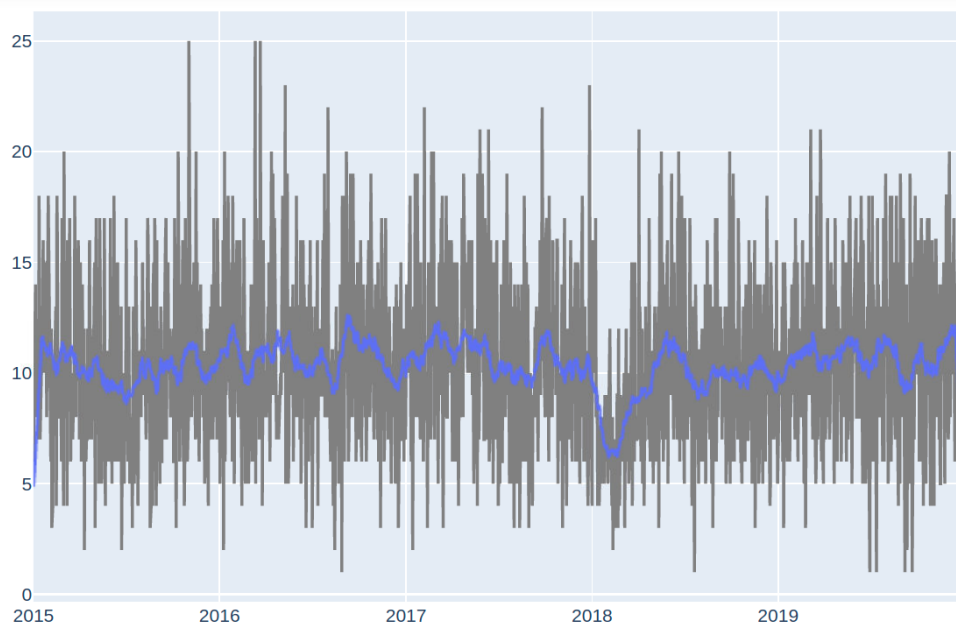
- szívinfarktus,
- stroke,
- cardiomyopathia,

¹KSH 2019-es felmérése alapján: https://www.ksh.hu/infografika/2020/szivunk_napja_2020.pdf

- arteriás embolia vagy thrombozis,
- vénás thrombosisok,
- hasi véna thrombosis.

Ezek a vizsgált 5 évben 18 848 esetet jelentettek, ami a második leggyakoribb csoportta tette a 2-es csoportot a 12-es általános tüneteket összefogó csoport után. Ezen utóbbi csoport azonban inkább egyfajta gyűjtőként funkcionál, a viszonylag jól besorolható kórképek komplementere. A harmadik helyen a neurológia áll a 8-as számmal és több mint 17 ezer beteggel. Ez is mutatja a kardiovaszkuláris és a neurológiai kórképeket magába foglaló csoportok elemzésének relevanciáját.

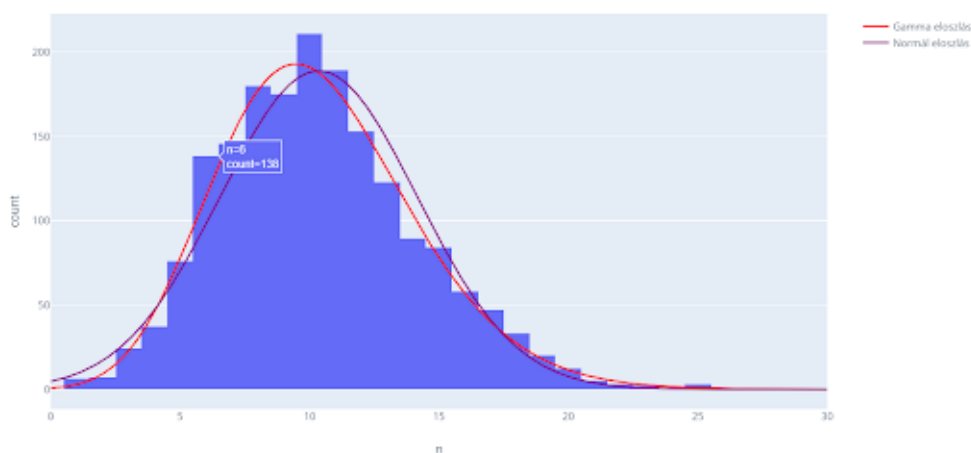
A kardiovaszkuláris csoportnál érdemes még az időbeli eloszlást is megvizsgálni, ez a 3.1.ábrán látható. A jobb átláthatóság miatt az ábrán nem csak az aktuális napi értékeket jelöltük, hanem az egy hónapos mozgóátlagot is berajzoltuk, hogy az átlag változására jellemző mutatót is tudjuk így vizualizálni. Jól kivehető az ábrából, hogy a napi esetszámnak nagy a szórása (a 3,8 a szórás, 10,35-as átlaghoz képest nagyon magas), ami a későbbiekben a számításoknál komoly nehézségeket okozott. A mozgó átlagban nagy visszaesés látható 2018 januártól áprilisig. Mint kiderült ebben az időszakban egy felújítás történt, ami a kapacitás csökkenésével járt, így a betegek ellátását más kórházak vették át.



3.1. ábra. Napi esetszám a dátum függvényében szürkével, késsel pedig egy 30 napos ablakú mozgóátlaggal

A napi esetszámokban jelentősebb periodicitás nem figyelhető meg, de később ezt számításokkal alá is támasztjuk. Érdemes megvizsgálnunk még a napi esetszámok eloszlását. A legtöbb esetben azt feltételezzük, hogy az események ilyen típusú eseményeknél

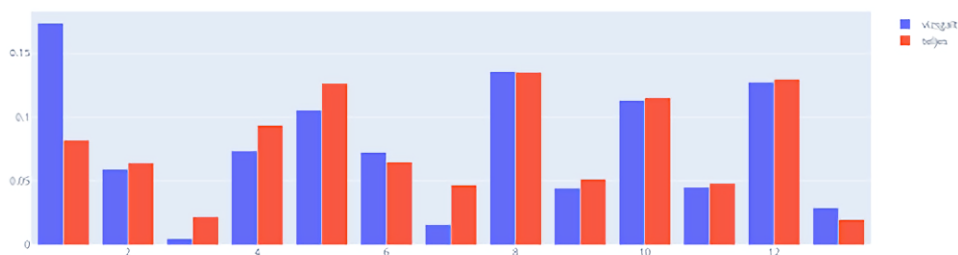
normál eloszlást követnek, ezzel szemben vizsgálataink azt mutatták, hogy a gamma eloszlás (alfa = 19,06; béta = 0,872; loc = -6,26) kisebb hibával illeszthető az adatainkra. Az eltérést nem találtuk jelentősnek, így később több módszer esetén is normál eloszlással (átlag = 10,35; szórás = 3,80) dolgoztunk. A napi esetszámokat, mivel azok egész számok lehetnek közelíthetjük diszkrét eloszlásokkal is. Jelentős javulást ezek esetén sem találtunk a későbbi számításaink során, viszont az alkalmazott programozási csomagok sokkal kevésbé tudták jól használni ezeket.



3.2. ábra. Napi esetszámok hisztogramja és az azokra illesztett gamma, illetve normál eloszlás

3.2. A vizsgált időszak Péczely-féle makroszinoptikus osztályozás szerinti leírása

Kíváncsiak voltunk, hogy miként alakul az általunk vizsgált időszak a korábbi 1881-től rögzített Péczely-besorolás eloszláshoz képest. Azt tapasztaltunk, hogy az 1-es besorolású napok aránya az általunk vizsgált időszakban jelentősen magasabb volt, mint azt a historikus adatok alapján vártuk. A 2015-2019-es időszakban több, mint kétszer nagyobb arányban voltak az 1-es besorolású napok, miközben a 3-as besorolásúaké jelentősen visszaesett. Az időjárás esetében ez annyit jelent, hogy a Kárpát-medence éghajlatát többször alakította egy, a Baltikum vagy Ukrajna fölött tartózkodó ciklon (1-es), mint a Mediterráneum fölött tartózkodó ciklon (3-as). A két típus egyébként nagyon sok vonásában hasonlít egymásra, mindkettőre jellemzőek a hidegfrontok. Minden évszakban jelentős mennyiségű csapadék esik ezen napok esetében, de a legszámottevőbbek a nyári zivatarok. A két típus között tehát a legnagyobb különbséget azoknak a térbeli elhelyezkedése adja. A 3.3. ábra az egyes naptípusok eloszlását mutatja. Kék szín jelöli az általunk vizsgált időszakot, míg a piros szín az 1881-től napjainkig terjedőt.



3.3. ábra. Az egyes Péczy-féle besorolások relatív előfordulása

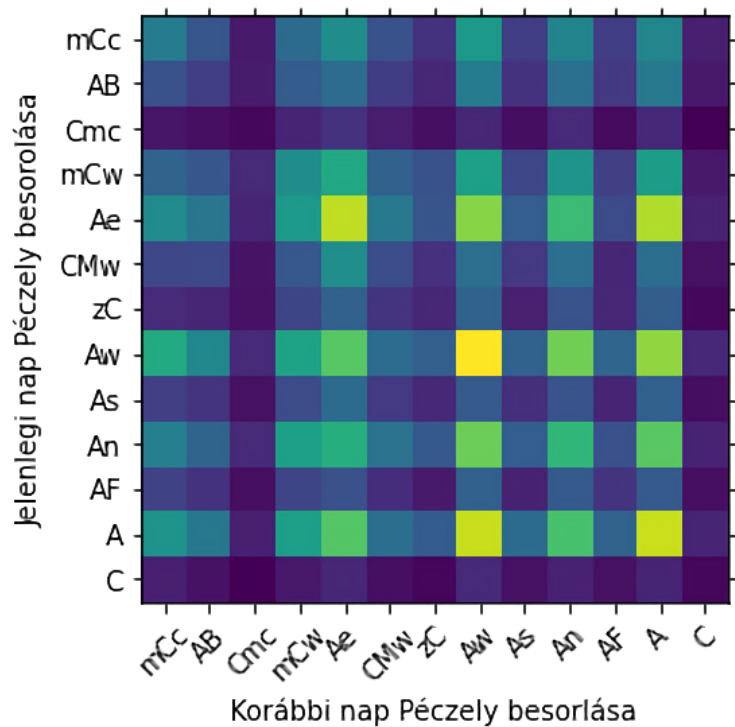
Ezt követően azt néztük meg, hogy a ciklon-anticiklon arány mutat-e eltérést a vizsgált időszak és a teljes ismert időtartam között. Erre a vizsgálatra azért került sor, mert általában a ciklonokkal társítják a megnövekedett esetszámokat. A teljes időszakra vonatkoztatva az anticiklonnal jellemzett napok aránya 67,04%, a vizsgált időszakban pedig 63,04%, tehát ebből a szempontból a két időszak nem tért el jelentős mértékben.

Az egyes besorolások eltérésén kívül az is nagyon fontos, hogy ezek a Péczy-osztályozott napok milyen sorrendben követték egymást. Ezt legkönnyebben egy mátrixsal ábrázolhatjuk, olyan módon, hogy a mátrix egyik dimenziója a megelőző nap besorolása, a másik dimenzió pedig a vizsgált napé. A mátrix egyes celláiba pedig az egyes váltások gyakoriságát írjuk. A mátrixokon a kéktől a sárga irányába növekszik a napok gyakorisága. Ezzel a két időszak ugyancsak összehasonlíthatóvá válik és egy pontosabb képet is kapunk a napok egymásutánosságában bekövetkező változásokról. (3.5. és 3.6. ábrák)

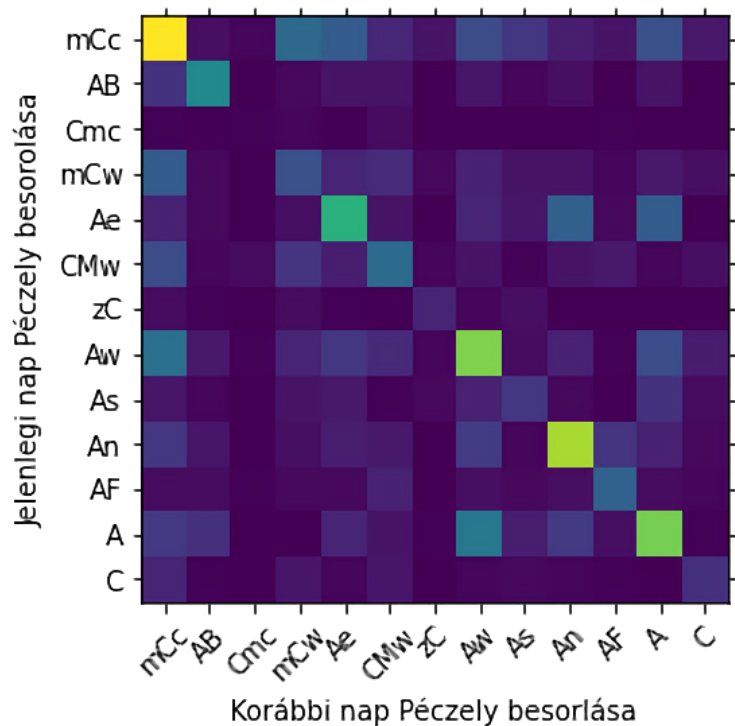
A vizsgálatainknál nagyon fontos volt megállapítani, hogy melyik napváltások vannak gyakoriak, illetve melyek voltak ritka események. Erre azért volt szükség, mert a számításokat a ritka váltások jelentősen torzíthatják. Elég csak arra gondolni, hogy egy-egy ritka napváltáshoz csak 2-3 vizsgált időszakbeli nap tartozott, így ellehetetlenítve a statisztikai vizsgálatokat. Ezeket a ritka eseményeket a vizsgálataink során elhagytuk, erről később bővebben írunk még.

Érdekes megjelenítést készíthetünk, ha ezeket a mátrixokat gráfként szemléljük. Egy gráf egy szomszédsági mátrix (adjacencia mátrix) reprezentációjaként tekinthető, amely szomszédsági mátrix a fent leírt módon képződik. Ez a transzformáció azt is lehetővé teszi, hogy a gráfelméletben elterjedt mutatókat kiszámítsuk. Ilyen mutató például a legrövidebb út két nap között, illetve ennek a valószínűsége. Egy így előálló gráf csúcsai az osztályozásban szereplő Péczy-napok, amelyeket él köt össze, ha egymás után következnek. Az élek súlya az egymás után következés gyakorisága. A megjelenítésben a kisebb súlyú élek hosszabbak, így a gyakori kombinációk a gráf belsejében, egymáshoz közel kerülnek

A gráfot megjelenítő ábrán érdemes megfigyelni, hogy a C-vel jelölt 13-as minta eltávolodik a többi ponttól, ennek az oka, hogy ez egy ritka esemény, ritkán van a Kárpát-

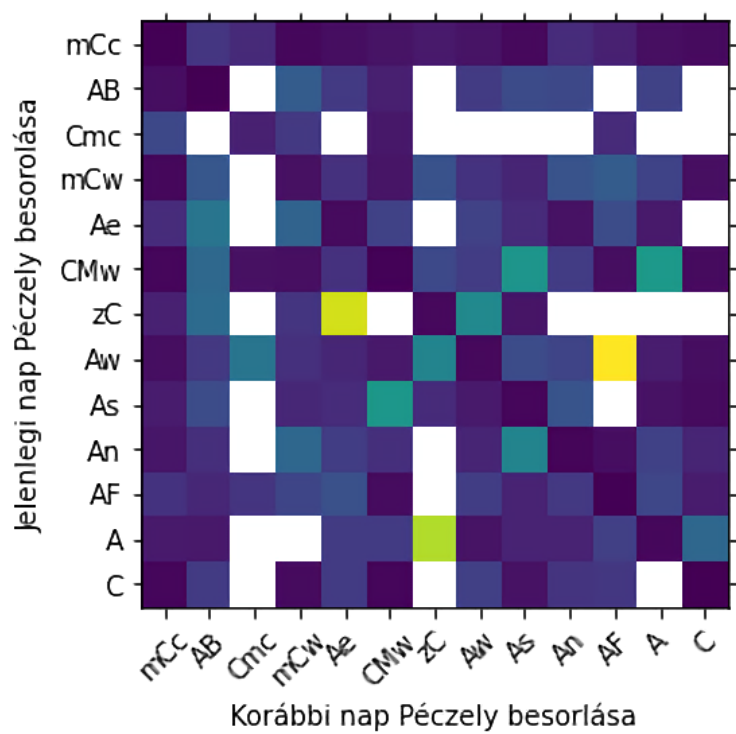


3.4. ábra. Egymást követő nappárok mátrixa a 1881-2019 között, az előfordulási számuk szerint színezve

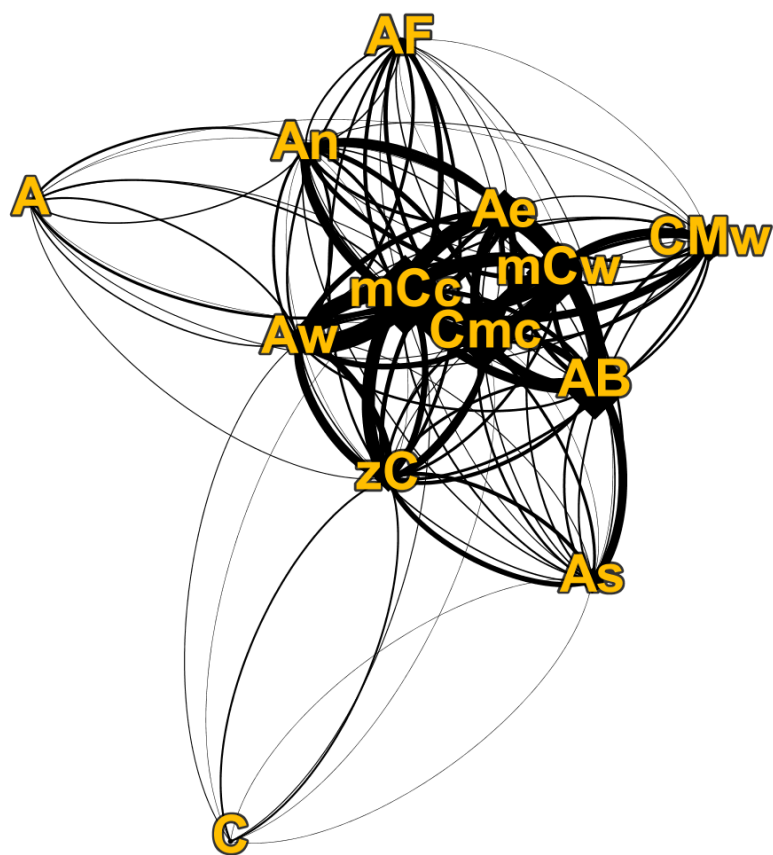


3.5. ábra. Egymást követő nappárok mátrixa az általunk vizsgált időszakban 2015-2019 között, az előfordulási számuk szerint színezve

medence felett cikloncentrum. Ugyanezt a 3.7.ábrán is láthatjuk, de a gráf könnyebben értelmezhetővé tudja tenni ezeknek a kapcsolatoknak a megtalálását.



3.6. ábra. Egymást követő nappárok előfordulási aránya a vizsgált (2015-2019) és a teljes ismert időtartam (1881-2019) alatt



3.7. ábra. Péczely-napkódok gráfja force atlas rendezéssel megjelenítve

4. fejezet

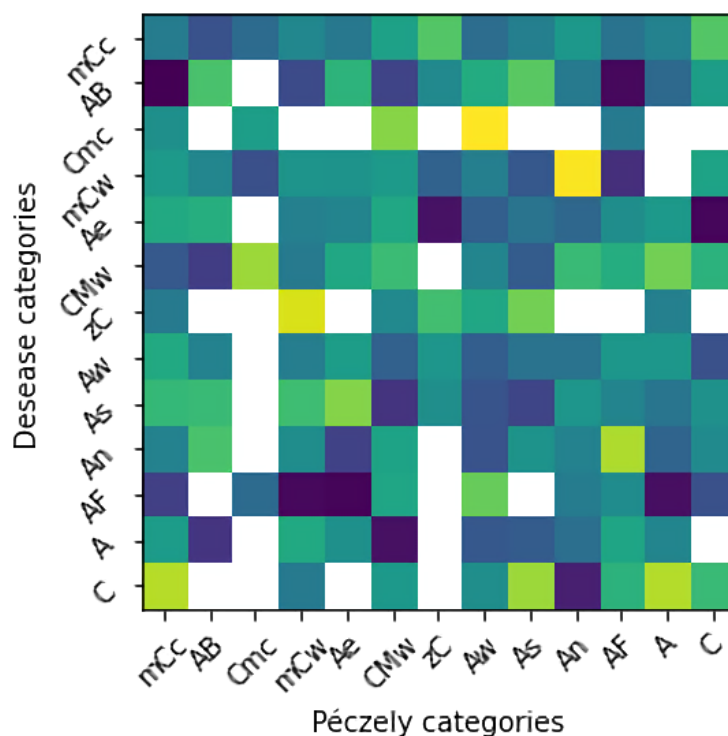
Eredmények

4.1. Péczy-féle makroszinoptikus osztályozás figyelembe vételével kapott eredmények

Az egymást követő napok mintázatai alapján egyértelmű összefüggés mutatkozott a kardiovaszkuláris megbetegedések és az időjárás aktuális állapota között. Az átlagos napi esetszámokat vizsgálva egyértelműen kirajzolódott, hogy a megbetegedések sokkal nagyobb arányban következnek be akkor, ha ciklonális képződmény alakítja a Kárpát-medence időjárását. Azokban az esetekben, amikor a Péczy-féle mintázat szerinti 8-as napot 3-as, 10-es napot 4-es, 7-es vagy 13-as és 4-es napot 7-es napok követtek nagyobb arányban regisztráltak kardiovaszkuláris megbetegedéseket. A napok váltásáról majdnem minden esetben elmondhatjuk, hogy egy anticiklonális képződmény által befolyásolt napot követően egy ciklonális képződmény lett az uralkodó. Ha a kódok mögé nézünk, akkor láthatjuk, hogy ezen esetekben átlagos felhőzettségű, kevésbé csapadékos napokat váltottak erősen szeles, csapadékos napok. A légszennyezettség alakulása is negatív irányban változott, többnyire nyári fülledtséggel és nagy légszennyezettséggel jellemezhetjük a követő napokat. Egyedül a 4-es mintázatot követő 7-es nap esetében követett ciklon egy ugyancsak ciklon által meghatározott napot. Viszont ebben az esetben is jól látszódik, hogy amikor ciklonok alakítják a Kárpát-medence időjárását, az nem kedvez az orvosi adatok alakulásának. Az időjárási frontok megjelenése szintén a ciklonális képződményekhez köthető.

Az előzőekben a magasabb esetszámokat vizsgáltuk, amelyek minden esetben ciklonális tevékenységekhez köthetőek. Megvizsgáltuk az alacsonyabb esetszámokat is. A Péczy-féle kódok a következőképpen alakultak: 7-es napot 5-ös, 9-es és 12-es nap, 5-ös napot 11-es, 6-os és 11-es napot 2-es, 13-as napot 5-ös mintázatú nap követett. Ezeket az egymást követő napokat két nagyobb csoportba sorolhatjuk. Az egyik esetben

anticiklonális napot egy újabb anticiklon által meghatározott nap követ. Ide tartozik az 5-ös napot követő 11-es, illetve a 11-es napot követő 2-es napok esete. Ilyenkor alacsony napi hőingás, stabil légrétegzettség és alacsony légszennyezettség a jellemző. A másik esetben ciklonális napokat vált anticiklonális. Ezekben az esetekben egy változékonyabb időt stabilabb, jóval kisebb napi hőingással jellemezhető napok váltottak. Mindkét esetben a váltó napokon kizárólagosan anticiklonhoz köthető időjárási jelenségek uralkodtak.



4.1. ábra. Egymást követő nappárok mátrixa a napi átlagos CVD esetszámmal színezve

Ezek az eredmények nagyon szépen alátámasztották az időjárás és a kardiovaszkuláris megbetegedés esetszámai közötti összefüggést. Azonban, ha figyelembe vettük azt is, hogy az egyes napváltásokból hány darab volt, az előzőekben részletezett eredményektől különbözött kaptunk. Több mint 1800 napból kiemeltük azokat a napváltásokat, amik több mint 10-szer fordultak elő. Az így megvizsgált napok közül a következő váltások eredményeztek nagy napi esetszámot: 1-es napról a 10-esre, 6-osról a 11-esre, 9-esről az 1-esre, valamint 7-esről a 7-es mintázatú napra való váltás. A felsorolt napváltások közül az első kettő esetében ciklonális képződményt anticiklonális váltott, ami rácsfol az eddigi eredményeinkre. A harmadik, illetve negyedik esetben megjelölt napváltások viszont már igazolják a korábbiakat. A romló kardiovaszkuláris adatok háttérében tehát nem elvetendő az aktuális időjárás helyzete. A ciklonális képződmények, a frontok jelenléte, valamint azok a légköri paraméterek, amelyek jellemzőek ezekre a napokra elősegíthetik a magasabb kardiovaszkuláris esetek számát. A több mint 10-szer előforduló napváltások vizsgálata során ugyancsak figyelmet fordítottunk az alacsony esetszámokra is. Az itt kirajzolódott eredmények tökéletesen illeszkednek a korábban leírt eredményeinkhez.

Alacsony esetszámot adtak azok a helyzetek, amikor az alábbi Péczely-féle napok követék egymást: 1-es napot a 2-es, 9-es és 12-es napot a 9-es, valamint 10-es napot az 5-ös mintázatú nap. Az itt felsorolt helyzetek mindegyikére igaz, hogy anticiklonális képződmény az uralkodó. Ezek frontoktól mentes napok. Derült, csapadékmentes időjárás a jellemző, átlagos vagy alacsony felhőzettséggel, stabil légrétegzettséggel.

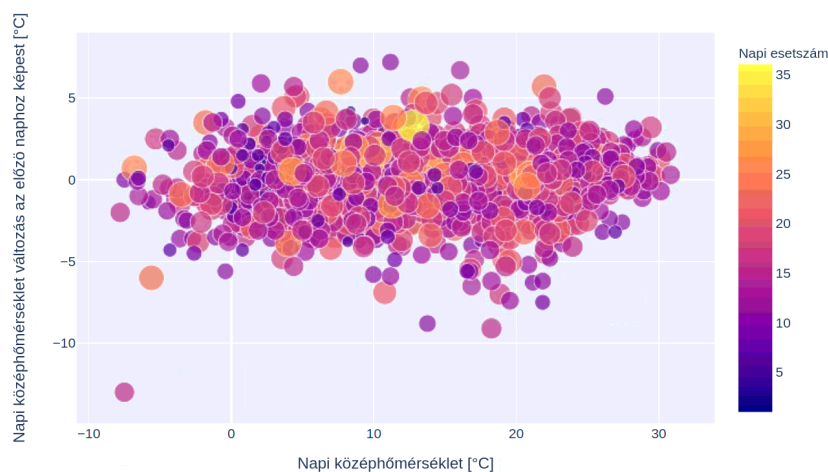
4.2. Napközi változékonyság

Eddigi vizsgálataink azt támasztják alá, hogy az időjárás változékonysága rossz hatással van a kardiovaszkuláris megbetegedésekre. [20] Az azonban, hogy a hőmérsékletváltozás milyen irányú, élettani szempontból nem mindegy. Nyáron, amikor magasabb az átlaghőmérséklet és a vérerek tágabbak, várhatóan rosszabb hatással van egy hirtelen hőmérsékletcsökkenés, ami érzékelhetően hat, mint egy ugyanolyan mértékű hőmérséklet növekedés. És ugyanez várható fordított esetben is. Hidegebb hőmérséklet esetén a szűkebb vérerekre az ugyanakkora mértékű értágító hatású hőmérsékletnövekedés egészen más hatást gyakorol, mint a további hőmérsékletcsökkenés. Grubich Vilmos vizsgálataiban ugyan nem a kardiovaszkuláris eseteket tanulmányozta, de általánosságban alátámasztotta ezt a hipotézist, miszerint télen inkább emelkedő, nyáron pedig a süllyedő hőmérséklet gyakorol nagyobb hatást az emberi szervezetre. [21]

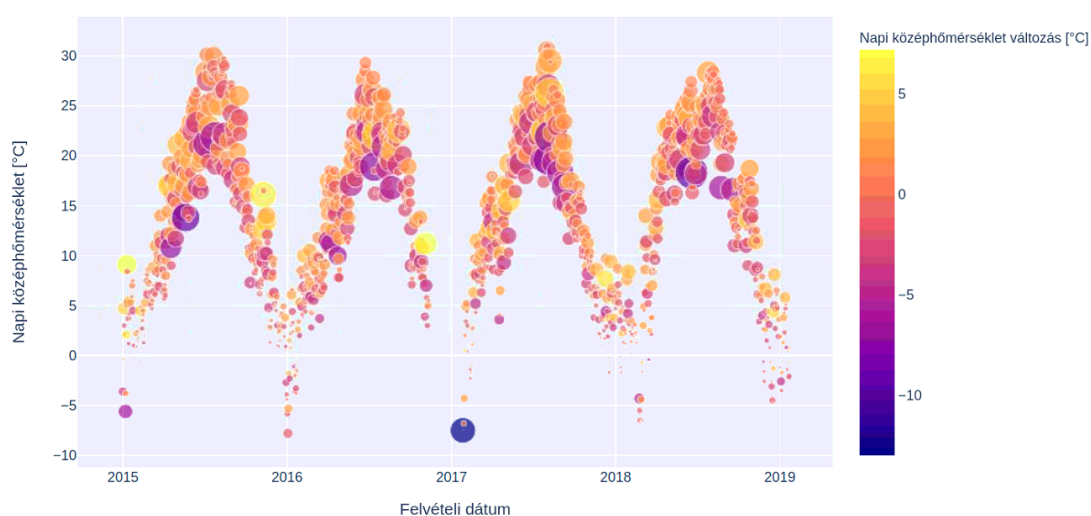
Ezzel szemben a mi számításaink (4.2 ábra) első ránézésre nem mutatnak szoros kapcsolatot a napközi hőmérséklet változékonyság és a kardiovaszkuláris esetek között. Ezt magyarázhatja az is, hogy egyre kevésbé vagyunk kitéve a külső környezet hőmérsékletváltozásainak, napjainkat, különösen idősebb korban közel azonos hőmérsékletű, zárt terekben töltjük. A vizsgált időszakra vonatkozó átlaghőmérsékletből ($13,49\text{ }^{\circ}\text{C}$) kiindulva meleg napoknak azokat tekintettük, amelyek ezt az átlagot legalább $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal meghaladták, hideg napoknak pedig azokat, amelyek az átlaghőmérsékletnél minimum $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabb napi átlaghőmérséklettel jellemezhetőek.

Közelebbről megvizsgálva érdekességet tapasztaltunk. Várakozásainkkal ellentétben ezek a nagy napközi hőmérséklet változékonysággal jellemezhető napok nem az esetszámok növekedéséhez, hanem azok csökkenéséhez vezettek. Ezt figyelhetjük meg az 4.3 és 4.4 ábrán. Azonban azt is fontos megjegyezni, hogy ehhez mindössze 45 nap adata állt rendelkezésünkre, másrészt érvényesülhet annak a hatása is, hogy a szélsőséges napokat sokkal inkább a külső környezettől szeparálva töltik az emberek.

A 4.3. ábrán az idő függvényében tüntettük föl a napi középhőmérsékletet, miközben a napi középhőmérséklet változás az ábrázoláshoz használt pöttyök színe mutatja. A pöttyök mérete arányos az adott napi középhőmérséklet változást mutató napok számával. 2017 januárjában az elmúlt 3 évtized leghidegebb hónapját tapasztalhattuk. A



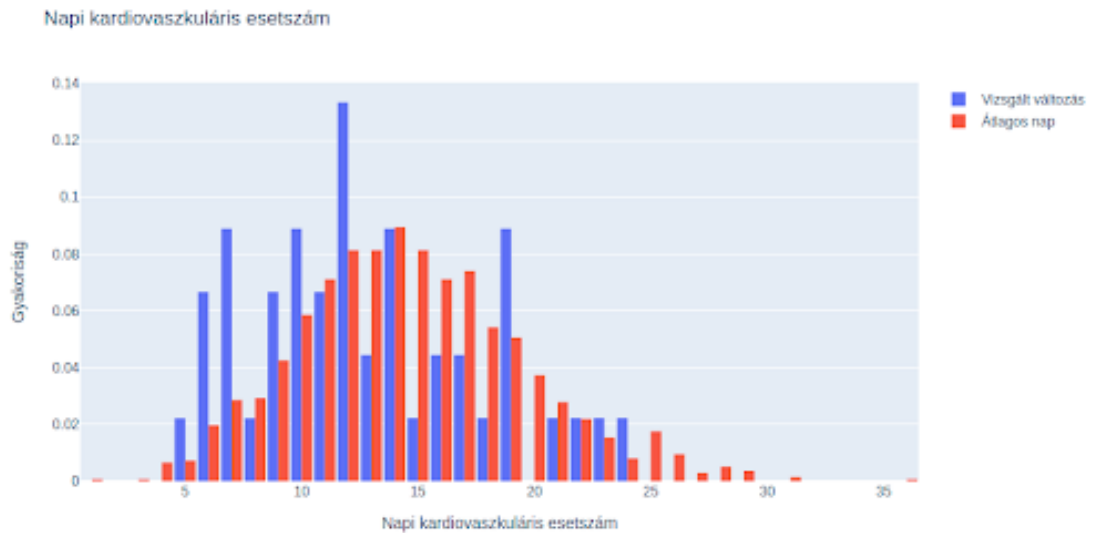
4.2. ábra. Hőmérsékletváltozás a hőmérséklet függvényében, a napi átlaggal színezve és méretezve



4.3. ábra. Hőmérsékletváltozás a dátum függvényében

4.3. ábrán látható 2017 januári esetszámnövekedést a szokatlanul hideg időjárás magyarázhatja.

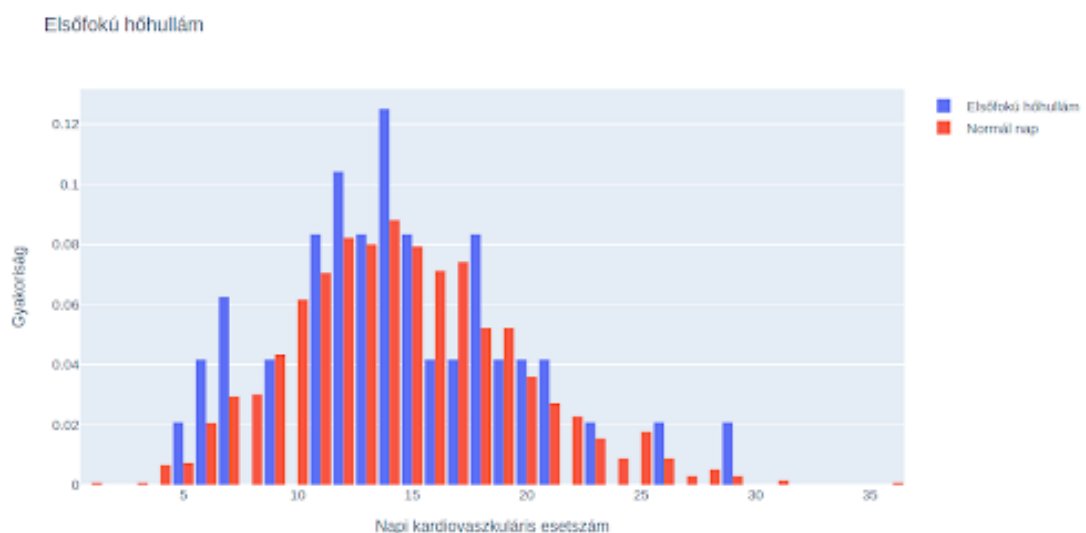
A 4.4. ábrán kékkel jelöltük a nagy napközi hőmérsékletváltozással bíró napokat, pirossal az átlagosakat. Jól látható, hogy a kék oszlopok magassága inkább a 12 vagy annál kevesebb esemény esetén haladja meg a piros oszlopok magasságát, azaz mutat nagyobb gyakoriságot.



4.4. ábra. A nagy változással járó és a normál napok esetszám hisztogramja

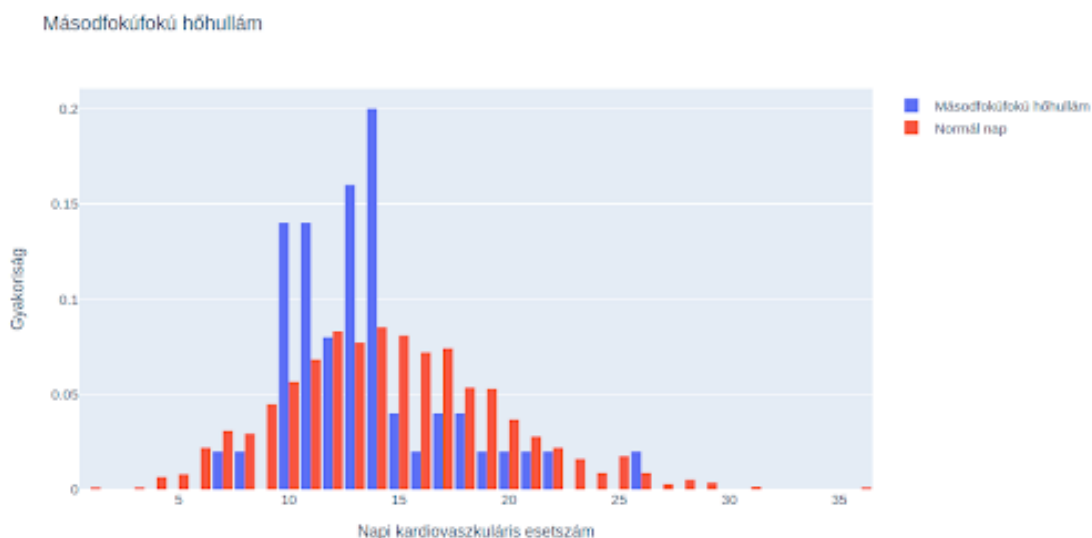
4.3. Hőhullámok

A hőhullámokra kiemelt figyelmet fordítottunk annak ismert, egészségre gyakorolt hatásai miatt. Megvizsgáltuk, hogy a hőhullámokkal jellemezhető napok és a kardiovaszkuláris megbetegedések között van-e valamilyen összefüggés. A elvárt eredménnyel ellentétben azt tapasztaltuk, hogy az elsőfokú hőhullámok esetében nincs szignifikáns növekedés a kardiovaszkuláris esetszámokban. Ez jól látszódik a 4.5 ábrán is, ahol pirossal az átlagos, kékkel pedig az elsőfokú hőhullámos napokon bekövetkező események számának gyakoriságát tüntettük fel.



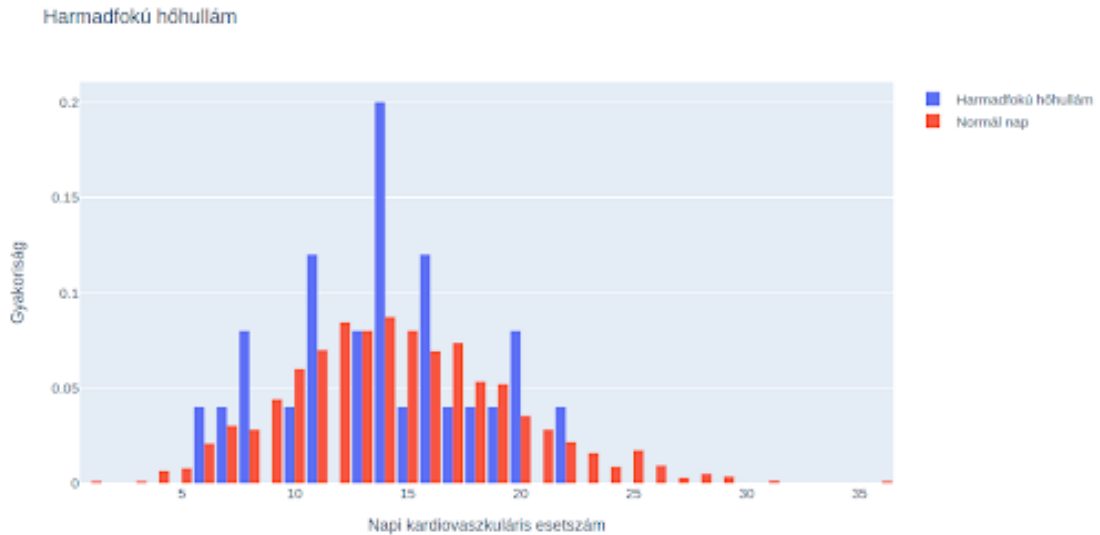
4.5. ábra. Elsőfokú hőhullám és a normál napok eloszlása

Másodfokú hőhullámok esetén kicsit összetettebb a helyzet. Ugyancsak nem állapíthatunk meg szignifikáns növekedést, azonban ehhez nagyon közel vagyunk. A Mann-Whitney U-teszt alapján p értékre 0,06-ot kaptunk, ami nagyon közel van a 0,05-ös szignifikancia szinthez. További adatok bevonásával lehetséges, hogy szignifikáns kapcsolatot tárunk fel.



4.6. ábra. Másodfokú hőhullám és a normál napok eloszlása

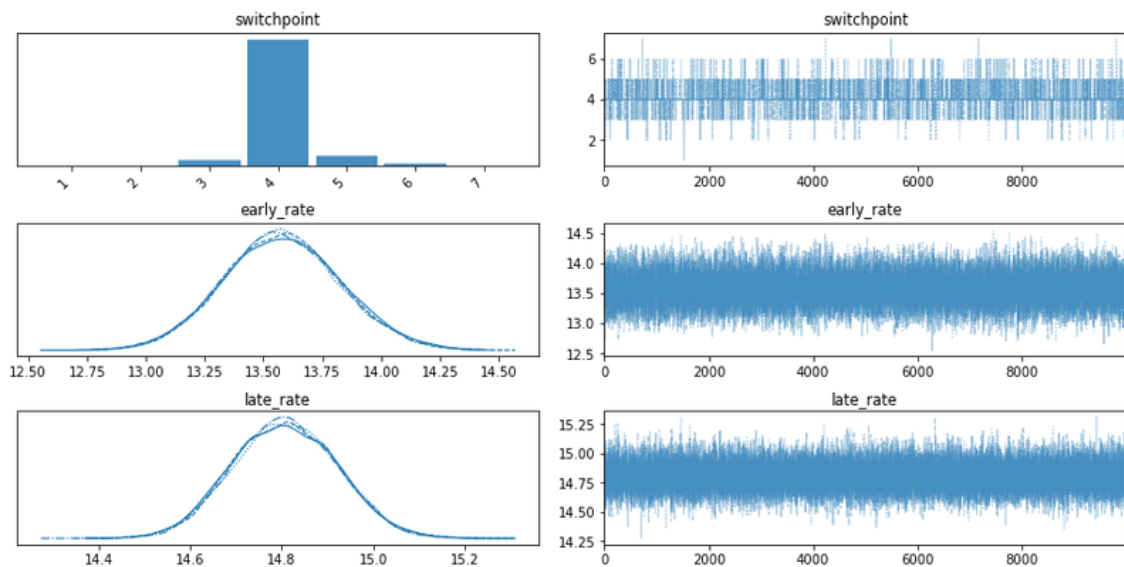
Harmadfokú hőhullámok esetén szintén nem tapasztaltunk komolyabb összefüggést a napi kardiovaszkuláris esetszámok és a tartós magas hőmérséklet között. Ennek oka lehet az is, hogy az orvosepidemiológiai tájékoztatásoknak köszönhetően kiemelt figyelem övezi ezeket a napokat, az érintettek sokkal kevésbé kitettek a hőhullámok hatásainak: nem mennek ki, megfelelő mennyiségű folyadékot fogyasztanak. Összességében elmondhatjuk, hogy a hőhullámokkal jellemezhető napok - habár az emberi egészségre hatást gyakorolnak - nem emelték meg a kardiovaszkuláris megbetegedések számát. Éppen ezért kutatásunk következő célkitűzése az lett, hogy megpróbáljunk meghatározni egy olyan hőmérsékleti küszöbértéket, amit kapcsolatba lehet állítani az általunk vizsgált esetszámokkal.



4.7. ábra. Harmadfokú hőhullám és a normál napok eloszlása

4.4. A hőmérsékletfüggés további vizsgálata

A PyMC3 Python csomag lehetőséget ad annak vizsgálatára, hogy milyen küszöbérték darabolja az adatainkat legjobban. Ennek lényege, hogy egy olyan határértéket keres a rendszer, ami két olyan részre osztja az adatokat, amelyek távolsága a lehető legnagyobb. A számításainkat exponenciális-, gamma- és normális eloszlást feltételezve is elvégeztük. Minden esetben a küszöb előtti és utáni eloszlást azonosnak feltételeztük. A mintavételezést NUTS (No U-Turn Sampler) [22] segítségével végeztük. (Az adatainkon a gradiens értelmezhető volt.)



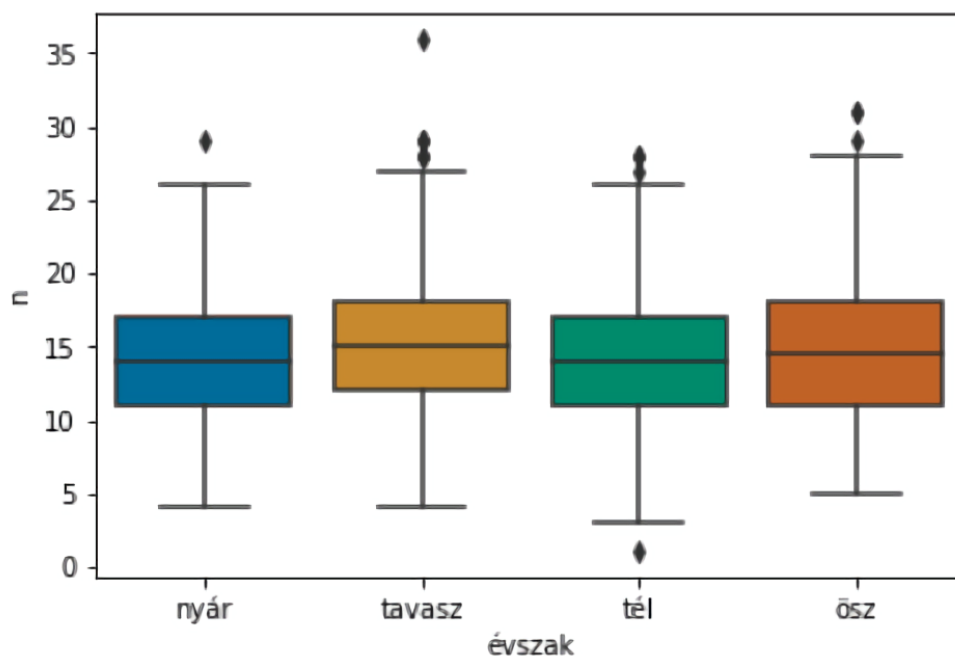
4.8. ábra. A CVD esetek gyakorisága a 4°C-os határpont alatt, illetve felett. (Normál eloszlást feltételezve)

Mindhárom eloszlás esetén 4°C közeli küszöbértéket kaptunk (gamma: 4,19; exponenciális: 4,03; normál: 4,05) és az ilyen érték mentén kettévágott adatcsoportok közt átlagosan több mint napi 1 főnyi eltérést tapasztaltunk. A hőmérséklethez hasonlóan a nyomás esetén is elvégezhetünk hasonló számításokat. Ezek eredményeként azt kaptuk, hogy nem lehet meghatározni egyértelmű küszöbértéket. A relatív páratartalommal kapcsolatosan ugyanezt mondhatjuk el: ez esetben sem lehet egy egyértelmű határt húzni. A szennyező anyagok esetében viszont már találtunk erősebb összefüggést. Amennyiben a levegő nitrogén-monoxid tartalma $8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ fölé emelkedik, a kardiovaszkuláris esetszámok növekedése figyelhető meg. Átlagosan 2,56 fővel több megbetegedést regisztráltak ezekben a napokban. Az általunk vizsgált napok 5,67%-a (80 nap) volt a nitrogén-monoxid által szennyezettebb. Más szennyező anyagok esetében is találtunk összefüggést. A nitrogén-dioxid koncentráció $10,63\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ értékek alatt mutatott több kardiovaszkuláris megbetegedést. (A vizsgált napok 15,32%-a, 216 nap.) A CO_2 , SO_2 és O_3 esetében nem találtunk olyan értéket, amely jól kettéválasztaná az adott halmazunkat. A szél sebességét is megvizsgáltuk, azonban ezen adatok esetében sem találtunk egyértelmű küszöbértéket, ami felett vagy alatt jelentős esetszám gyarapodást jeleztek volna.

4.5. Az évszakok hatásának elemzése

Az évszakokra jellemző időjárás is befolyásolhatja az esetszámokat. A szakirodalomban számos helyen kiemelték a változékony időjárás kedvezőtlen hatásait, ezért ezek alapján azt vártuk el a vizsgálatainkban, hogy a jóval változékonyabb időjárással jellemzett átmeneti évszakok, tehát a tavasz és az ősz megemelkedett esetszámokat fog mutatni. Ezt a sejtést megvizsgáltuk Tukey-féle teszt segítségével, ahol azt kaptuk, hogy a nyár és az átmeneti hónapok között szignifikáns az esetszám szerinti eltérés.

Ha ennél egyszerűbben vizsgáljuk meg a problémát, akkor is jól látható a különbség az egyes évszakok átlagai között. A vizsgált időtartam alatt a nyári kardiovaszkuláris esetszám átlag 14,02, miközben a tavaszi (15,09) és az őszi (15,04), jóval meghaladja azt. Érdekes módon a téli átlag (14,22) is alacsonyabb, mint az átmeneti időszakhoz tartozóké.



4.9. ábra. Az évszakok és a hozzájuk tartozó esetszámok ábrája boxplot segítségével

Jól látszik, hogy az átmeneti évszakokban az outlierek is jóval magasabb értéket vesznek fel, mint a nyári és téli időszakban. A kiugróan magas téli esetszám-visszaesés oka, hogy 2018 elején felújításokat végeztek a kórházban, így csökkent kapacitással üzemelt az SBO. Figyelemre méltó, hogy a nyári esetszámok nem emelkedtek, annak ellenére sem, hogy jelentős napi hőingások jellemzik ezt az időszakot. Továbbá a hóhullámmal jellemezhető napok is egyre gyakoribbak és intenzívebbek, de ezek sem emelték átlag fölé a napi esetszámokat.

5. fejezet

Összefoglalás

Dolgozatunk célja az volt, hogy összefüggéseket kutassunk fel a kardiovaszkuláris megbetegedések esetszáma és az időjárási paraméterek között. A szakirodalmak nagy része a klímaparaméterek (hőmérséklet, légnyomás, szélsebesség stb.) hatását külön-külön vizsgálja, de találtunk olyat is, amely a Péczely-tipizáláshoz hasonló időjárás osztályozást vett alapul. A Lamb-Jenkinson beosztást kínai kutatók alkalmazták országuk kardiovaszkuláris megbetegedéseinek tanulmányozása során. Érdeemes azonban megjegyezni, hogy ezt a tipizálást a Brit-szigetek vonatkozásában készítették, figyelembe véve a szigetgeográfia sajátosságait, ezért kérdéses, hogy nagy területű szárazföld esetében ez ugyanúgy alkalmazható-e. A mi munkánkban - a teljességre törekedve - először a Péczely-féle makroszinoptikus osztályozás tükrében vizsgáltuk meg a napi kardiovaszkuláris esetszámokat, majd az egyes klímaparamétereket külön-külön megvizsgálva újabb összefüggéseket állapítottunk meg.

Megvizsgáltuk, hogy mely Péczely-mintázatú napváltásokon regisztrálták a legtöbb esetet. Ezekből kirajzolódott, hogy azok a napok emelték meg a CVD-esetszámokat leginkább, amelyek esetében egy anticiklonális légköri képződményt ciklonális váltott. Egy viszonylag stabilabb időjárást tehát csapadékosabb, szeles időjárás váltott, amit ha egy szóval szeretnénk jellemezni, akkor a változékony jelzővel tudjuk illetni. Azért, hogy a véletlenszerű eseteket ki tudjuk zárni, ugyanezt a vizsgálatot elvégeztük úgyis, hogy figyelembe vettük, hány darab volt az egyes napváltásokból. A több mint 10-szer előforduló napváltások esetében árnyaltabb képet kaptunk. Két esetben anticiklonális, míg másik két esetben ciklonális képződmény vezetett magas CVD-esetszámokhoz. Azt is megvizsgáltuk, hogy mely esetekben alacsonyak az értékek: minden esetben azt tapasztaltuk, hogy a derűs, alacsony felhőzetű, csapadékmentes időjárás esetén a regisztrált kardiovaszkuláris esetek is alacsonyabbak az átlagtól.

Az egyes klímaparaméterek közül a legnagyobb figyelmet a hőmérséklet vizsgálatára fordítottuk. Különös tekintettel voltunk a hőmérsékletváltozás irányára is. Eredménye-

ink szerint a nagy napközi hőmérséklet változékonysággal jellemezhető napok nem az esetszámok növekedésével, hanem azok csökkenésével vannak összefüggésben. Ugyancsak megvizsgáltuk a hóhullámos napokat is, hiszen ezek emberi szervezetre gyakorolt hatása ismert a hétköznapiakban is. Érdekes módon a kardiovaszkuláris esetszámokkal nem találtunk szignifikáns kapcsolatot.

Az időjárás különböző fizikai paraméterei esetében igyekeztünk meghatározni egy-egy küszöbértéket, amely felett vagy alatt az átlagosnál több esetszámot regisztráltak. A hőmérséklet esetében ez az érték $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra tehető. Szintén sikerült kimutatnunk összefüggést egyes, a légkörben található szennyező anyagok koncentrációja és a napi CVD-esetszámok között. NO esetében a magasabb, míg NO_2 esetében az alacsonyabb koncentráció mellett mutattak több regisztrált megbetegedést az adatok. Más szennyező anyagok (CO_2 , SO_2 , O_3), valamint a nyomás, relatív páratartalom és szélsébség esetében viszont nem tudtunk egyértelmű küszöbértéket meghatározni.

Munkánkban újszerű matematikai módszereket alkalmaztunk az elemzésben. Ennek köszönhetően pontosabb kijelentéseket tehattünk az időjárási paraméterek kardiovaszkuláris kórképekre gyakorolt együttes és egyenkénti hatásáról. Sikerült a szakirodalomban fellelhető néhány pontatlanságot korrigálnunk. A küszöbértékek általunk alkalmazott módszerrel történő meghatározására eddig még nem volt példa a szakirodalomban.

Irodalomjegyzék

- [1] J Unger, Z Sümeghy, N Kántor, and Á Gulyás. Kisléptékű környezeti klimatológia. *Unger, ed., Szeged: JATEPress*, 2012.
- [2] Mariusz Migala. Development of balneoclimatic treatment of patients with lung diseases and tuberculosis. *Physiotherapy/Fizjoterapia*, 17(3), 2009.
- [3] Nora Boussousou, Melinda Boussousou, and Attila Nemes. Az orvosmeteorológia történeti áttekintése—új horizont a preventív medicina területén. *Orvosi Hetilap*, 158(5):187–191, 2017.
- [4] H-R Arntz, SN Willich, C Schreiber, T Brüggemann, R Stern, and H-P Schultheiß. Diurnal, weekly and seasonal variation of sudden death. population-based analysis of 24061 consecutive cases. *European Heart Journal*, 21(4):315–320, 2000.
- [5] Hongli Wang, Makoto Matsumura, Masayuki Kakehashi, and Akira Eboshida. Effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of acute myocardial infarction in hiroshima city, japan. *Hiroshima journal of medical sciences*, 55(2):45–51, 2006.
- [6] Henri Bounameaux, Luc Hicklin, and Sylvie Desmarais. Seasonal variation in deep vein thrombosis. *BMJ*, 312(7026):284–285, 1996.
- [7] Regina Hampel, Susanne Breitner, Regina Rückerl, Mark W. Frampton, Wolfgang Koenig, Richard P. Phipps, H. Erich Wichmann, Annette Peters, and Alexandra Schneider. Air temperature and inflammatory and coagulation responses in men with coronary or pulmonary disease during the winter season. *Occupational and environmental medicine*, 67(6):408–416, 2010.
- [8] Alicja R Rudnicka, Ann Rumley, Gordon DO Lowe, and David P Strachan. Diurnal, seasonal, and blood-processing patterns in levels of circulating fibrinogen, fibrin d-dimer, c-reactive protein, tissue plasminogen activator, and von willebrand factor in a 45-year-old population. *Circulation*, 115(8): 996–1003, 2007.
- [9] György Péczely. *Grosswetterlagen in Ungarn*. 1957.
- [10] Ambrózy Pál, Bartholy Judit, and Gulyás Ottó. *Évszakos bontású makroszinoptikus típusok kialakítása clusteranalízissel az atlanti-európai térségre*. Országos Meteorológiai Szolgálat, 1983.
- [11] Péczely György. *Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa,(1881-1983)*. Országos Meteorológiai Szolgálat, 1983.
- [12] Károssy Csaba Ákos. *A Kárpát-medence Péczely-féle makroszinoptikus időjárási helyzeteinek katalógusa, 1881-2015*. Oskar, 1979.

- [13] Nora Boussoussou, Melinda Boussoussou, László Entz, and Attila Nemes. Occurrence of acute cardiovascular diseases under different atmospheric parameters. *Orvosi hetilap*, 155(27):1078–1082, 2014.
- [14] Nora Boussoussou, Melinda Boussoussou, Gergő Merész, Márton Rakovics, László Entz, and Attila Nemes. Complex effects of atmospheric parameters on acute cardiovascular diseases and major cardiovascular risk factors: data from the cardiometeorology sm study. *Scientific reports*, 9(1):1–9, 2019.
- [15] Jiangping Li, Yuxia Ma, Bowen Cheng, Yifan Zhang, Yongtao Guo, and Yuxin Zhao. Circulation weather types and hospital admissions for cardiovascular disease in changchun, china. *Environmental Geochemistry and Health*, pages 1–15, 2021.
- [16] Guillaume Guimbretière, Simon Nusinovici, Antoine Monnot, Jonathan Sobocinski, Thomas Sénage, Pascal Delsart, Pierre-Antoine Gourraud, and Blandine Maurel. Impact of relative change in temperature and atmospheric pressure on acute aortic syndrome occurrence in france. *Scientific reports*, 10(1):1–7, 2020.
- [17] Sipos Bence and Kreinicker Kata. Az időjárás hatásának vizsgálata a sürgősségi betegellátó osztályra neurológiai problémákkal felvett páciensek esetén. 2021.
- [18] Peter J Brockwell, Peter J Brockwell, Richard A Davis, and Richard A Davis. *Introduction to time series and forecasting*. Springer, 2016.
- [19] Yadolah Dodge. *The Oxford dictionary of statistical terms*. Oxford University Press on Demand, 2006.
- [20] M Frohlich, M Sund, S Russ, A Hoffmeister, HG Fischer, V Hombach, and W Koenig. Seasonal variations of rheological and hemostatic parameters and acute-phase reactants in young, healthy subjects. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 17(11):2692–2697, 1997.
- [21] Vilmos Grubich. *Az időjárás és az ember: a bioklimatológiai edzés általános és sportorvosi vonatkozásai*. Medicina, 1961.
- [22] Matthew D. Hoffman, Andrew Gelman, et al. The no-u-turn sampler: adaptively setting path lengths in hamiltonian monte carlo. *J. Mach. Learn. Res.*, 15(1):1593–1623, 2014.