

Doktori értekezés

HOSSZU CSAPADÉKSOROK
PERIÓDUSAINAK ÉS TRENDJÉNEK
ELEMZÉSE

Készítette: Vas Zoltánné Oross Gabriella

Szeged, 1978.



TARTALOM

Bevezetés

A vizsgálat adatbázisa és elemei

A vizsgálat adatbázisa

A vizsgálat elemei

Hosszú csapadéksorok harmonikus analízise

A harmonikus analízis módszere

A harmonikus analízis felhasználhatósága az előre-
jelzésben

A periódusvizsgálat eredményeinek ismertetése

Hosszú csapadéksorok trendjének elemzése

A lineáris trendszámítás

A lineáris trendszámítás eredményei

A csapadékváltozás és környezetszennyezés közti kapcsolat vizsgálata

A légköri szennyezés ismert hatásai

Az elemzésben felhasznált adatok

A kapcsolat meghatározásának módszere

A korrelációs számítás eredményei

Irodalom

Függelék



B E V E Z E T É S

Az emberiség számára az időjárási elemek közül a legfontosabb tényező a hőmérséklet mellett a csapadék. Mennyisége döntő fontosságú minden terület vízellátottsága szempontjából, mert a hidrológiai ciklus legfőbb bevételi forrása. Létfontosságú a bioszféra biológiai léte számára, a mezőgazdasági termelés pedig kellő mennyiségű csapadék híján elképzelhetetlen. Ugyanakkor a kedvezőtlen időjárási körülmények között hulló, túlságosan sok csapadék kritikus árvízhelyzeteket, tartós belvizeket okozhat. Így tehát gyakorlati fontosságú, hogy a vízellátottságot, a vízhozam-ingadozásokat erősen befolyásoló csapadék mennyiségi változásairól minél megbízhatóbb ismeretek birtokába jussunk.

A csapadék alakulását, időbeli eloszlását, mennyiségét ősidők óta figyeli az ember. A kezdeti ösztönös megfigyeléseket, népi bölcselkedéseket /ld. Medárd/ a XVIII. század végén meginduló műszeres megfigyelések és mérések váltották fel. Az egységes meteorológiai megfigyelőállomás-hálózat kiépítését, a meteorológiai mérések lehetőségeinek bővülését és rohamos fejlődését a tudományos kutatómunka követte, melynek során számtalan probléma megoldódott tisztázódott. A több évtized alatt felgyűlt méréseredmény és ismeretanyag pedig lehetőséget adott, hogy a csapadék

hosszabb időszakra vonatkoztatott változásait is kutat-
suk.

A dolgozat célja az, hogy több évtizedes csapadékso-
rok elemzése segítségével megállapítsuk, van-e a Föld kü-
lönböző területein az évi csapadékösszegekben valamilyen
ritmikus ingadozás, periódicitás, s ha igen, milyen ezek-
nek a földgömbi eloszlása; valamint az, hogy kimutatható-e
az évi csapadékösszegekben szisztematikus változás, vagy-
pedig a különböző tájak csapadékrendszere változatlannak
tekinthető. Végül a környezetszennyezés és csapadékválto-
zás között feltételezett kapcsolat létezésére és a kapcsol-
at erősségére vonatkozóan végeztünk vizsgálatokat.

A V I Z S G Á L A T A D A T B Á Z I S A

É S E L E M E I

A vizsgálat adatbázisa

Mielőtt a felhasználásra kerülő adatsorokat kiválasztottuk volna, meg kellett adnunk a kiválasztás szempontjait. Teljesülnie kellett a következő feltételeknek:

- az észlelési sorok a lehető leghosszabbak legyenek
- minél több, a világ különböző területére vonatkozó adatsor álljon rendelkezésre
- az észlelőállomások lehetőleg egyenletes eloszlásban reprezentálják a Föld egész felszínének csapadékviszonyait
- hiánymentesek legyenek az adatsorok

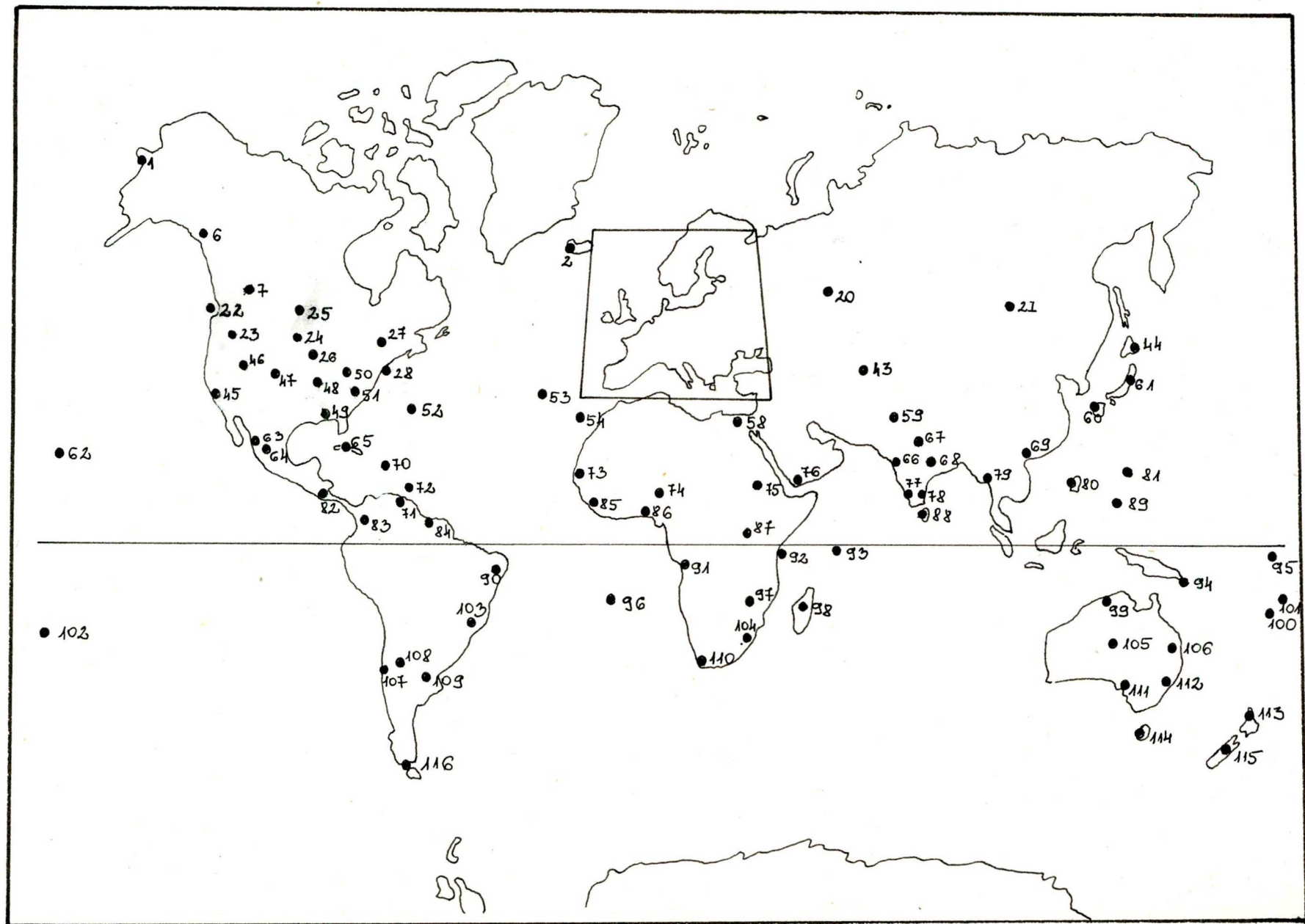
A megadott szempontokat figyelembe véve kiválasztottuk 116 állomás 1891-1970 közötti időszakra vonatkozó évi csapadékösszegeinek idősorát, s ezen adatsorok szolgáltatták a vizsgálat anyagát. [1.]

Meg kell jegyeznünk, hogy a kiválasztás szempontjai nem érvényesülhettek maradéktalanul, tőlünk független okok miatt. A legnehezebb volt a reprezentatív eloszlás követelményének eleget tenni, tekintettel arra, hogy a Föld jelentős területein nem végeztek észlelést a korai időkben, így adatok egyáltalán nincsennek, vagy túl rövidek az adatsorok, másrészt egyes adatsorok használhatatlannak bizonyultak mé-

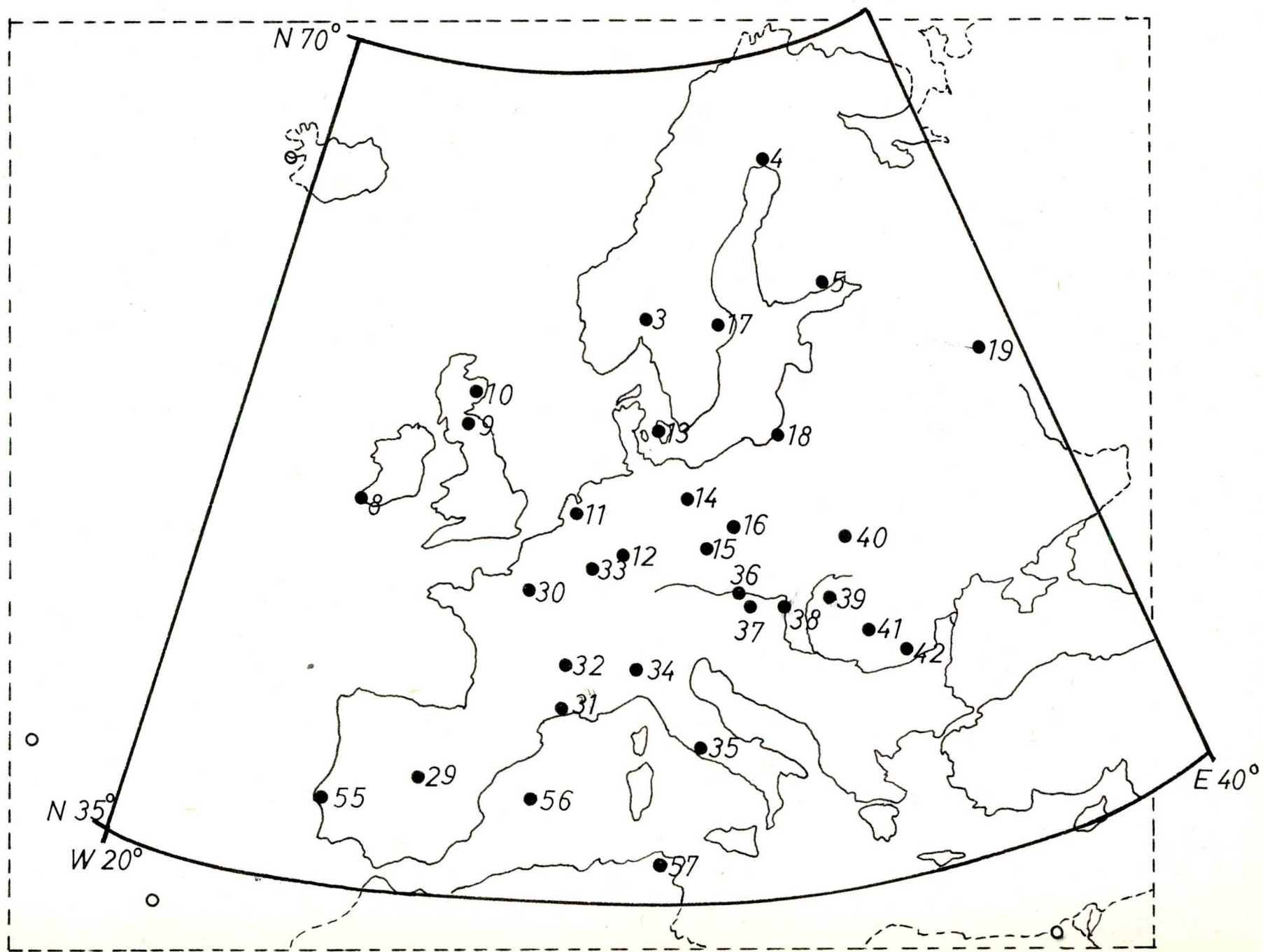
résztéchnikai problémák miatt. Ezen okból nincsen adatsorunk az északi félteke szubpoláris és poláris területeiről - Kanada, Szibéria, Távol-Kelet - ahol a zord éghajlat miatt a téli csapadék mérése nagyon körülményes. A déli féltekén viszont a csendes-óceáni óriási lakatlan területek észlelőállomásainak a hiánya okozta a problémát. Az állomáshálózat megszerkesztésekor kivételnek tekintettük Európát, mert ez a kontinens foglalkoztat bennünket leginkább, s ezért állomáshálózata jóval sűrűbb mint más kontinenseké. A térképek megszerkesztése során, az eredményadatok értékelésekor azonban külön megrajzoltuk Európára vonatkozóan minden térképet, egyrészt hogy pontosabb képet kapjunk kontinensünkről, másrészt hogy kiküszöböljük ezt az aránytalanságot. Az állomáshálózat képét az 1. és 2. ábrák szemléltetik. /Európa esetében szaggatott vonallal berajzoltuk a későbbiekben, az egyszerűbb rajzolás érdekében használt térkép kontúrjait is./ Nem tudtunk mindenütt eleget tenni a hiánymentesség követelményének sem, egyes esetekben hiányzott az adatsor utolsó 10 éve, vagy az adatsor elejéről pár év. Az ilyen csonka sorok száma szerencsére nem túl sok, a sorok 75%-a teljes. Közbülső évek hiánya esetén - ahol a háborús évek okoztak kiesést - az adatokat pótoltuk a sor őket megelőző és követő adatainak átlagával. /Az egyes állomások nevei és koordinátái a Függelékben találhatóak./

Elemzésünk során szükségünk volt még az egyes állomások népességszámának adataira is, melyet 10 ezer főben adtunk meg. [2.]

1. ábra. Állomáshálózat



2. ábra. Az állomáshálózat Európára vonatkozó része



A vizsgálat elemei

Az adatsorok kiválasztása után a sorokban rejlő periodicitás kimutatása céljából harmonikus analízisnek vetettük alá adatainkat. A jellemző periódusok kiszámítása révén megkaptuk, hogy az egyes állomásokra mely periódus a jellemző, s a különböző ingásoknak megfelelően felosztottuk a Föld felszínét. Ezt követően, a periódusok részletesebb jellemzése érdekében, megrajzoltuk a legjellemzőbbek amplitudó és fázisszög értékeinek térképét, hogy az adott ingás térbeli és időbeli változásait is szemlélhessük. A fenti vizsgálódásokat tartalmazza a dolgozat első része.

A második egység az adatsorok trendjének elemzésével foglalkozik. Meghatároztuk a teljes 1891-1970 közötti időszak adatsorának trendjét, valamint a sor kétféle bontásából adódó 1891-1930 és 1931-1970 közötti 40 év trendértékeit is. A teljes idősor trendértékeit feltérképezve meghúztuk a csapadéknövekedés és csökkenés területeinek határait, a két negyven éves sor adatait összevetve pedig a trendértékek időbeli változásait vizsgáltuk meg.

A dolgozat harmadik részében kapcsolatot kerestünk a környezetszennyezés és csapadékváltozás között. Ehhez a városi lakosság számát használtuk a környezetszennyezés mértékének mutatójául, a csapadék időbeli változását pedig különböző hosszúságú csapadéksorok trendértékeivel jeleztük. A kapcsolat erősségét a népességszám adatok és a trendértékek közötti korreláció nagyságával adtuk meg.

Tekintettel a hatalmas adatanyagra, a számítások sok munkát igénylő voltára, a feldolgozás a JATE Kibernetikai Intézet R-40 számítógépén történt.

H O S S Z Ú C S A P A D É K S O R O K H A R M O N I -

K U S A N A L I Z I S E

A földtudományok vizsgálati köréhez tartozó különböző jelenségekben számos periódikus folyamat tapasztalható. A kutatók figyelmét már rég felkeltették a periódikus folyamatok, melyek a légkörben, a hidroszférában és a szilárd kéregben egyaránt kimutathatók. A periódusok egy része nagyon markáns és tudjuk mi okozza /pl. napi és évi ingadozások/, más részük rejtett, a fizikai okuk alig vagy egyáltalán nem ismert. A geofizikai jelenségek nagyrésze bonyolult, sokoldalú kölcsönhatás eredménye, létrejöttüket számos véletlenszerűen ható tényező befolyásolja. Így a legtöbb észlelési sort sztochasztikus jellegűnek tekinthetjük. Az ilyen sorokban levő periódusok kimutatása matematikai módszereket igényel, mivel az adatokban véletlenszerű periódusok is megjelenhetnek. Valamely periódus kimondásánál tehát kellő óvatossággal kell eljárunk, s fizikai okot keresnünk csak olyan periódikus jelenségnél indokolt, melynek realitása bizonyítottnak vehető.

A harmonikus analízis módszere

Az észlelési sorokban mint idősorokban levő periódicitás kimutatására alkalmazható módszer - többek között - a harmonikus analízis módszere.



A harmonikus analízis lényege, hogy egy adott $f(x)$ periódikus függvényt egy vele pontosan vagy közelítőleg egyenlő

$$y(x) = \bar{y} + \sum_1 A_1 \sin \left(\frac{2\pi}{T_1} x + \varphi_1 \right) /$$

trigonometrikus összeggel helyettesíthetjük, ahol

$$A_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad \varphi_1 = \arctg \frac{a_1}{b_1}$$

x = múltó idő, A a T periódushoz tartozó amplitudó, φ a T periódushoz tartozó fázisszög, $\bar{y}$ a sor átlaga /

Ez az $y(x)$ összeg akkor közelíti meg legjobban az $f(x)$ függvényt, ha az a_1 -k és b_1 -k helyébe az $f(x)$ függvény Fourier-féle együtthatóit helyettesítjük. A számítás során ezeket az együtthatókat a Bessel-féle képletekkel határoztuk meg. [3.] /Az eljárás bonyolultsága miatt a számítás részletesebb leírását mellőzük./

A közelítő összeg egy-egy tagjának paramétereit kiszámítva megkapjuk egy-egy periódus karakterisztikáit, azaz a periódusra jellemző amplitudó nagyságát - a hullám maximális kitérését -, valamint a periódus fázisszögét, mely annak a kiindulási évhez viszonyított helyzetét határozza meg.

Adott hosszúságú idősor esetén a periódushosszat növelve az idősoron végigfutó hullám száma csökken, s egy bizonyos határon túl csökken a periódikus ingás karakte-

risztikáinak statisztikai megbízhatósága is. Emiatt - a mi 80 éves idősorunk esetében - a 2-40 éves periódusok paramétereit számítottuk ki, de a 35 évesnél hosszabb ingások értékeit már csak fenntartással fogadtuk el.

Hogy az esetleges hosszúidejű, szisztematikus csapadéknövekedés vagy csökkenés hatását kiküszöbölhessük, nem az eredeti sor ingásainak amplitudó és fázisszög értékeit határoztuk meg, hanem az ugynevezett "trendlevont" sor periódusainak karakterisztikáit. /Ha az eredeti észlelési sort $f/x/-$ el, a trendegyenés pontjait $t/x/-$ el jelöljük, a trendlevont sor értékei $tv/x/ = f/x/ - t/x/$. /

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy hogyan értékeljük a kapott periódusokat, mivel számításainkban véletlenszerű periódusok is megjelenhetnek. Az ilyen periódusoknak nincs reális alapjuk, csak az adatok véletlenszerű elrendeződéséből erednek. Az ilyen ingások kizárására szűrőnek alkalmazható az A/E viszonyszám, vagyis az amplitudó és expektancia $/ =$ az amplitudó várható értéke / hányadosa. Az expektancia a az

$$E = \sigma \sqrt{\frac{T}{n}}$$

kifejezéssel adható meg, ahol σ = az adatok szórása, N = a teljes adatsor tagjainak száma.

Ha a kapott amplitudóértéket az expektancia arányában fejezzük ki, az A/E hányados a következő módon mutatja annak P valószínűségét, hogy egy periódus az adatok véletlen-

szerű elrendezéséből ered:

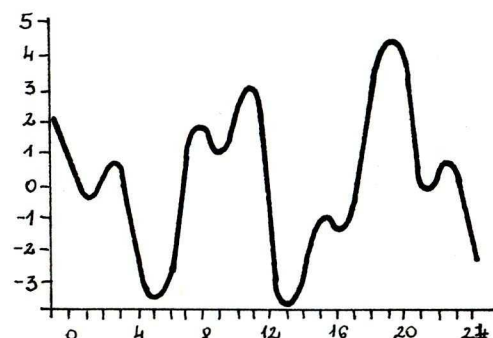
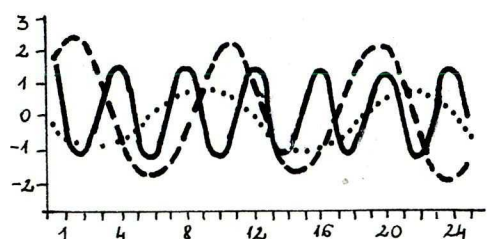
$A/E = k = 0,5$	$P = 0,8217$
1,0	0,4559
1,5	0,1708
2,0	0,0432
2,5	0,0074
3,0	0,0009

Ha elég nagy A/E értéket kapunk, kicsi a valószínűsége annak, hogy csak az adatok véletlenszerű elrendeződéséből ered a periódus, következésképpen matematikailag reálisnak vehető. Általában az $A/E > 2$ érték már elfogadható /5%-os valószínűségi szint/.

A feldolgozás során nyert értékekből megszerkeszthetjük a $p/T/ = A/E$ periodogramokat, azaz az amplitudó és expektancia hányadosát a periódushossz függvényében ábrázoljuk /ld. 4. és 5. ábra/. A periodogramokról közvetlenül leolvasható, hogy adott idősorra mely periódus a legjellemzőbb /azaz melyikhez tartozik a legnagyobb amplitudó érték/.

A harmonikus analízis felhasználhatósága az előrejelzésben

Ha egy periódusról kimutatható, hogy matematikailag reális, a gyakorlatban is hasznosítható, tendenciaelőrejelzésre felhasználható a jellemző összetevő hullámai meghosszabbítása révén. Azon alapul ez az eljárás, hogy egy-egy szabálytalan lefutású görbét felfoghatunk úgy, mint számos különböző hosszúságú és tágasságú szabályos hullám egymásra



3. ábra

rákódását. Már néhány különböző, de szabályos görbe összegeként is egy szeszélyes vonalú görbét kapunk, több összetevő esetén pedig még bonyolultabb ábrához jutunk. /3. ábra/ Mód van tehát szabálytalan csapadékgörbék szabályos hullámokra való felbontására, azaz a szabálytalan csapadékgörbét a hullámok összegeként felfogni. Az összetevő hullámok között vannak olyanok, melyek

jellegzetesek, s leginkább meghatározzák a görbe menetét. Ezek meghosszabbítása az ismert időszoron túl eredményezi az előrejelzett értéket.

A periódusvizsgálat eredményeinek ismertetése

A harmonikus analízis során nyert A értékekből megszerkesztettük a $p/T/ = A/E$ periodogramokat, minden egyes állomásra. A periodogramok alapján valamennyi állomáson kiemelhetjük a legjellemzőbb periódikus hullámokat, s a legjellemzőbb periódus megállapítása után megpróbáltuk típusokba csoportosítani az állomásokat. A legnagyobb amplitúdójú periódusok gyakoriságát figyelve arra a következtetésre jutottunk, hogy nem egy-egy kitüntetett és szigorúan

meghatározható periódus gyakorisága a legnagyobb, hanem a periódusértékek egy-egy intervallumán belül fordulnak elő leggyakrabban a nagy A/E értékkel jellemzett ingások. Ezek alapján csoportokat jelöltünk ki a leggyakrabban előforduló periódusokból. Ilyenmód hatféle periódus-intervallumot állapítottunk meg:

A típus: ahol az 5-9 éves periódus a jellemző

/ 18 állomás esetében /

B típus: ahol a 12-15 éves periódus a jellemző

/ 21 állomás esetében /

C típus: ahol a 19-23 éves periódus a jellemző

/ 28 állomás esetében /

D típus: ahol a 27-31 éves periódus a jellemző

/ 15 állomás esetében /

E típus: ahol a 35 éves és annál hosszabb periódus a jellemző

/ 9 állomás esetében /

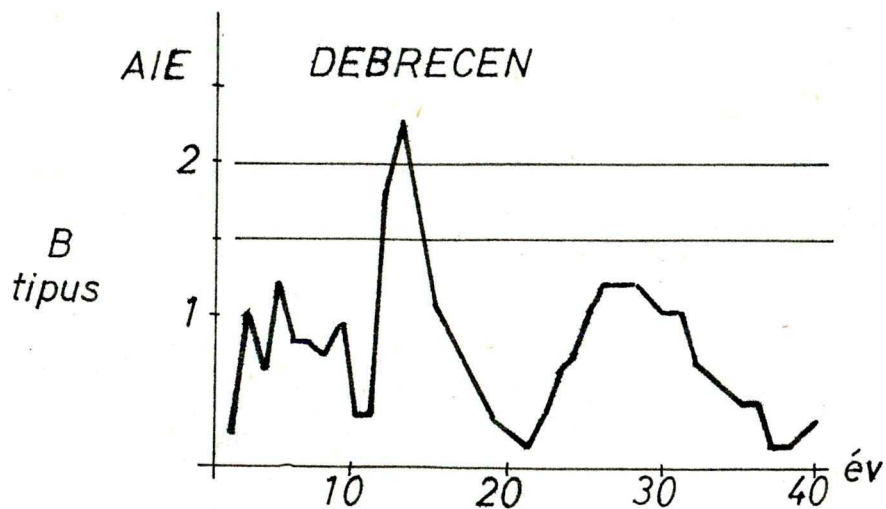
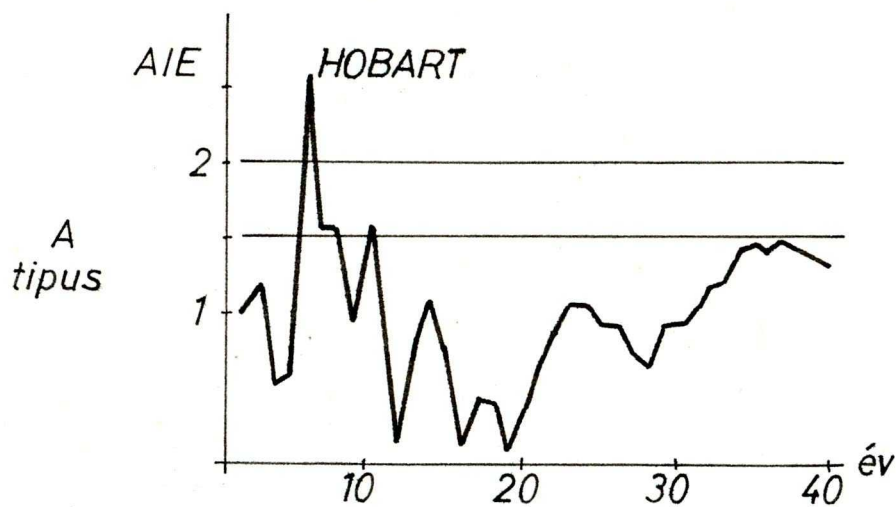
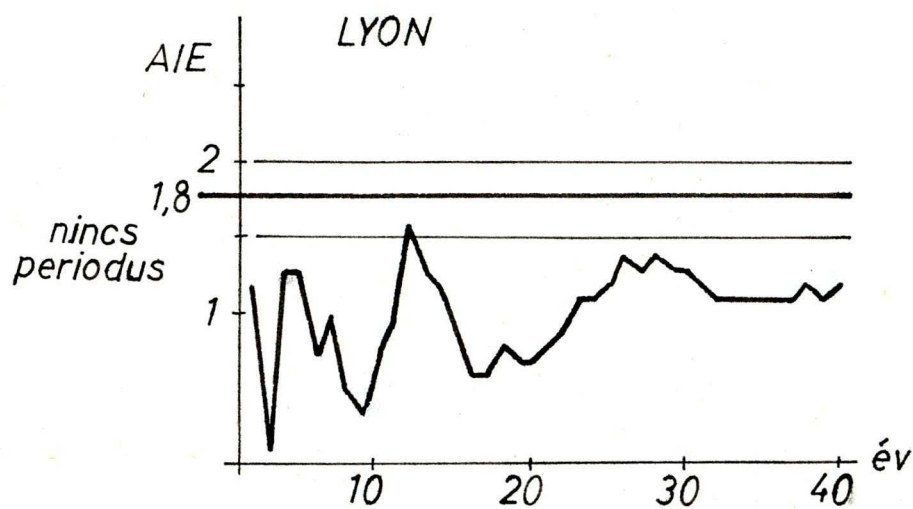
nincs periódus: ahol az A/E hányados értéke nem haladja meg az 1,8 küszöbszámot

/ 25 állomás esetében /

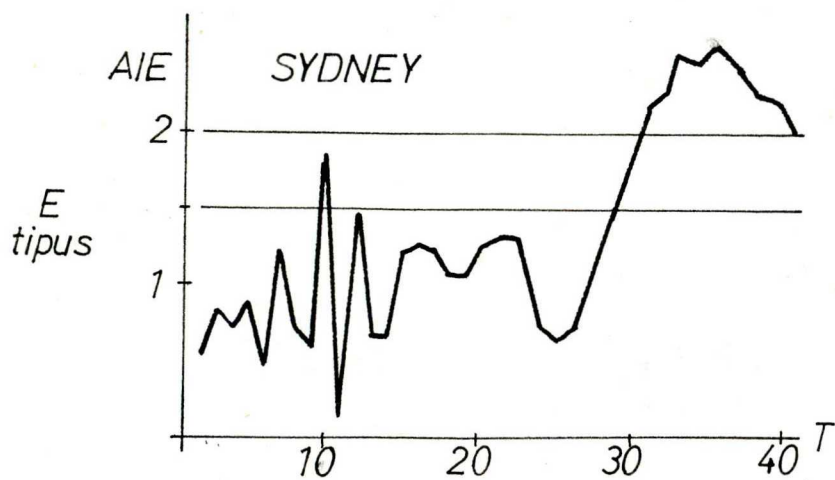
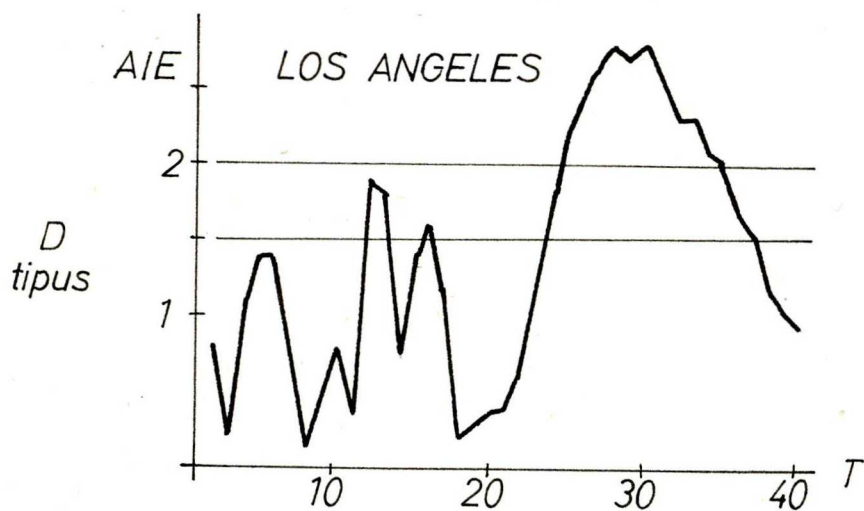
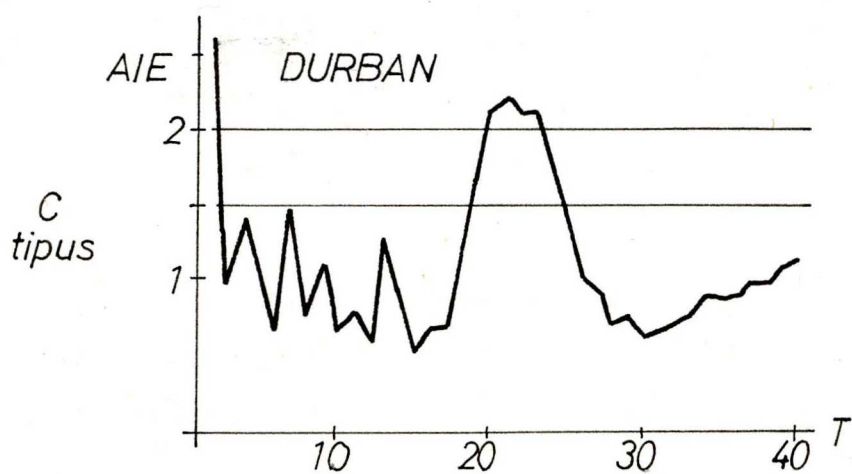
/ A 4. és 5. ábrán mindegyik típusra vonatkozóan bemutatunk egy-egy periodogramot. /

Az állomások típusokba sorolása után térképre vittük a periódusoknak megfelelő jelöléseket. Eredményeképpen a Föld felszínét felosztottuk az egyes típusoknak megfelelően, szaggatott vonallal határolva körül azokat a területeket, ahol a valószínűség alapján feltételeztük egyik vagy má-

A "periódus nélküli" periodogram, valamint az A és B típusra jellemző periodogramok



A C, D és E típusra jellemző periodogramok

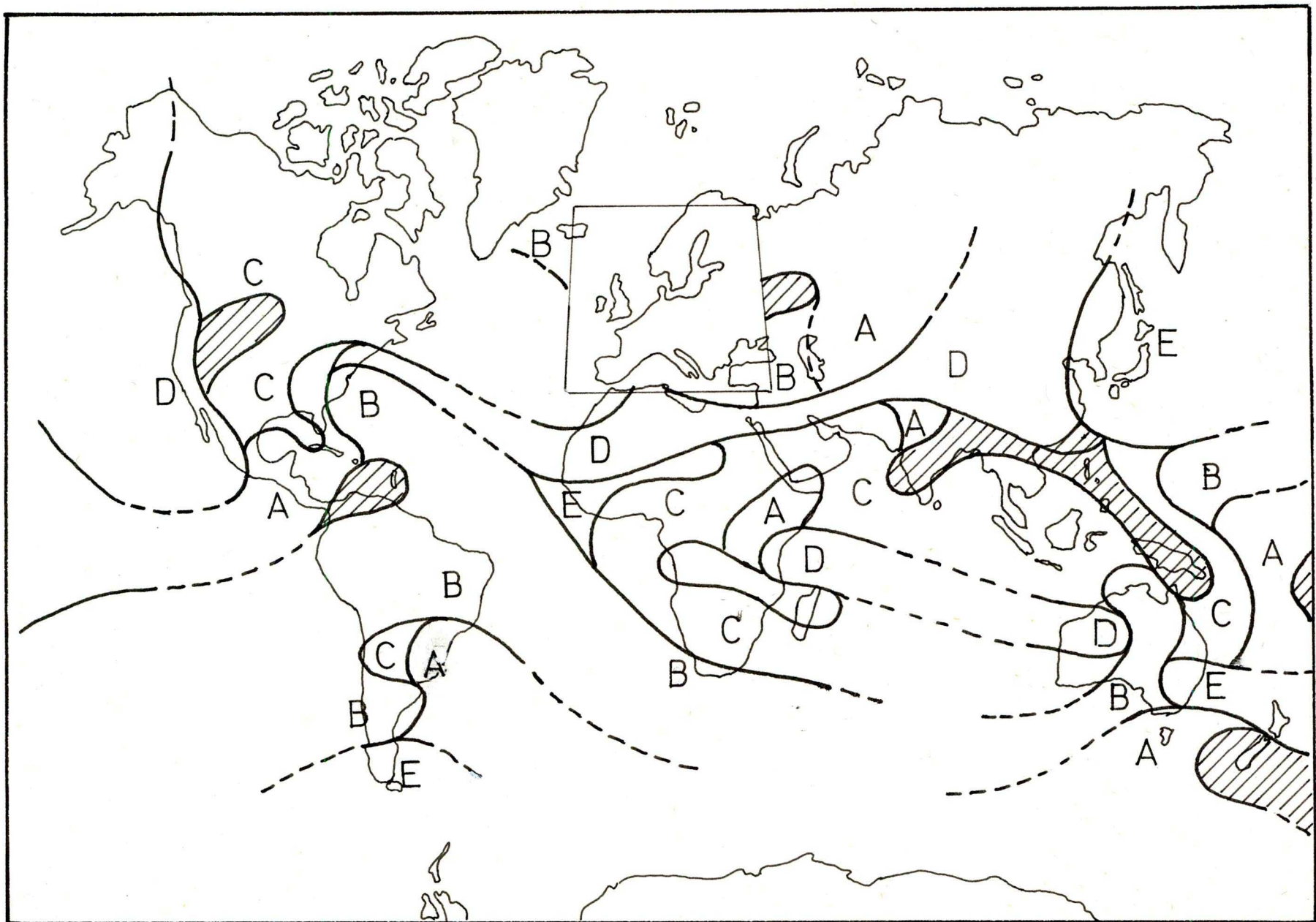


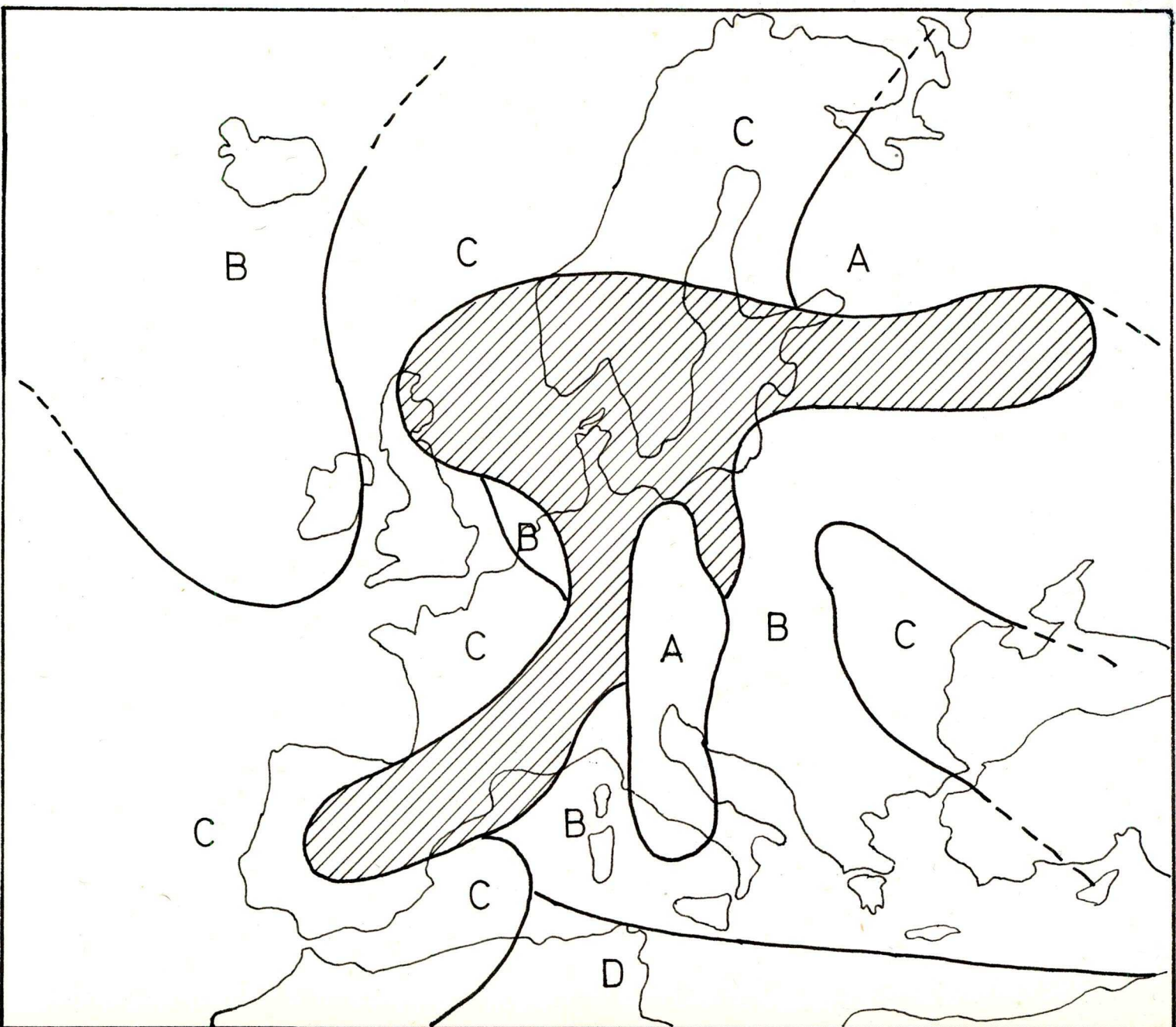
sik periódust. A 6. és 7. ábrák szemléltetik a periódustípusok területi rendszerét / a sraffozott területen nincs periódus/.

Megállapítható, hogy a Föld számos területén egyenletes járású a csapadék hosszabb időszakra vonatkozó eloszlása, nincs ritmizáció a csapadék mennyiségében. Jellemző ez Európa nyugati és - kisebb mértékben - az északi, északkeleti területeire, Észak-Amerika középső, Dél-Amerika északi vidékeire. Egyenletes csapadékjárássú régiók találhatók továbbá Indiában és Hátsó-Indiában, Új-Guineáig kiterjedően, valamint Afrika D sz. 10-20 fok közötti sávjában, s kisebb területeken Óceániában.

Csapadékingadozással jellemzett, jól összefüggő területek állapíthatók meg a rendszeren belül Észak-Amerikában, ahol szinte az egész kontinensen a 19-23 éves, a nyugati partokon pedig a 27-31 éves periódus az uralkodó. Dél-Amerika túlnyomó többségében a 12-15 éves ingás a jellemző, hasonlóan Afrika legdélibb területeihez. Afrika más vidékein a 19-23 éves periódus a gyakori, de nem alakult ki egységes összefüggő terület, ugyanis egy-egy 5-7 és 27-31 éves periódussal jellemzett állomás megbontja az egységet. A kontinens északi régióiban a 27-31 éves ingás a legerősebb, s ez állapítható meg Ázsia déli, délkeleti részére vonatkozóan is. Ázsia keleti vidékein viszont a 35 évesnél nagyobb periódus az uralkodó, de ezeket a periódusokat az adatsor viszonylagos rövidsége miatt fenntartással kell fogadnunk. A földfelszín egyéb tájain csak kisebb terüle-

6. ábra. A periódustípusok rendszere





7. ábra. A periódustípusok rendszere Európában

tek jelölhetők ki a periódustípusokra nézve, amelyek néhol - főleg Ausztráliában és a vele szomszédos óceániai szigetek - meglehetősen tarka képet rajzolnak ki.

A továbbiakban egy-egy periódus-intervallum részletesebb elemzése érdekében minden intervallumból kiválasztottunk egy-egy évet, s megszerkesztettük a kiválasztott ingások A/E és fázisszög értékeinek térképeit /8.-27. ábrák. Az ábrákat ld. a Hosszú csapadéksorok harmonikus analízise c. fejezet végén./. Ezekből a térképekből tájékoztatást kaphatunk az egyes periódusok eredetére vonatkozóan, ahol az amplitúdók nagyságának térbeli képe és a fázisszögek egyenlőségi görbéi mutatják a hullámok mozgási irányát, pontosabban az A/E értékek csökkenése és a fázisszögek növekedési-iránya árulja el az egyes hullámok látszólagos mozgásának irányát. Egy adott hullám tehát a nagy amplitudóértékek területéről ered, s a kisebb értékek felé halad.

A periódus fázisszögeinek izogörbéit szemlélve a periódus időbeli változásairól kapunk felvilágosítást. Két kiszemelt Q_1 és Q_2 pontokat összehasonlítva ugyanis ha a Q_2 állomáson a fázisszög nagyobb, mint a Q_1 állomáson, akkor ez azt jelenti, hogy a Q_2 állomáson időben később jelenik meg a periódus a Q_1 állomáshoz viszonyítva, azaz ha a periódus valamilyen geofizikai hatás eredménye, akkor a Q_2 ponton a hatás később jelentkezik, tehát a periódus a kisebb fázisszögű hely irányából ered. Természetesen a fázisszögek e látszólagos mozgását az amplitúdó értékekkel össz-

szevetve érdemes vizsgálni, mert csak azok a területek jöhetnek számításba mint eredőhely, ahol reális a periódus.

Számításaink során a fázisszögek értékei minden esetben az 1891. kezdőévre vonatkoznak.

Az A típus, azaz az 5-9 éves periódus-intervallum esetében a $T=7$ évet választottuk ki, s megszerkesztettük a fent említett egyenlőségi görbéket. A szemléletesség érdekében - hasonlóan a későbbiekhez - besraffoztuk azokat a területeket, ahol $A/E > 1,5$.

A 7 éves periódus amplitudó térképe alapján megállapítható, hogy a legmarkánsabban a kontinensek északi felében jelenik meg, főleg Észak-Amerikában és Ázsiában. Nagyon határozott az ingás megjelenése Dél-Amerika kb. 20-30 fok szélesség körüli sávjában, s kisebb jelentőséggel Afrika Guineai-öböltől északra fekvő területein, Új-Zélandnál és Közép-Amerikában is előfordul. Európában a kontinens középső és délkeleti része jellemezhető a periódussal. /8. és 9. ábra/

Az amplitudó és fázisszög térképeket összevetve Ázsia belső területei, Dél-Amerika középső régiói és Óceánia Ausztráliával szomszédos területei jelölhetők meg a 7 éves periódus eredő területeként, tekintve hogy a nagy amplitudó értékek és fázisszögek szétáramlási övezete egybeesik. Európában a kiemelkedő A/E értékek délkelet-európai vidéke egyezik meg a fázisszögek kiindulási irányával. /10.-11. ábra/

A 12-15 éves periódus-intervallumból - azaz a B típusból - a T=12 évet emeltük ki elemzés céljából. A 12 éves periódus esetében a legfeltűnőbb eredmény az, hogy az Egyenlítő mentén találjuk a legnagyobb amplitudó értékeket, szinte teljesen körbefut az egész Föld felszínén ez az övezet, összefüggő gyűrűt alkotva. Másutt is megjelenik emellett ez az ingás, Észak-Amerika keleti, északkeleti vidékein jellemző összefüggő területeket, melyek egészen Északnyugat-Európáig kiterjednek. Kisebb, foltyszerű kiterjedésben Európában és Dél-Amerikában lelhető még fel. /12.-13. ábra/

A fázisszög térképeket vizsgálva /14.-15. ábra/ É - Szak-Amerika területét nem tekinthetjük e periódus eredő helyének, mert itt a fázisszögek összeáramlási övezete található, nem pedig szétáramlási övezet, azaz a fázisszögek haladási iránya a kontinens felé mutat, nem a kontinens felől halad kifelé. Európában a fázisszög és amplitudó térképek összhangban vannak, s megerősítik egymás mondanivalóját ugyanis Közép-Európában van a fázisszögvonalak szétáramlási helye és a magasabb A/E értékek övezete egyaránt. Ez az eredmény meg is felelt a várakozásnak, hisz megállapított tény hogy Magyarország csapadékában kimutatható egy 13-14 éves /tehát B típusú/ periódus [4.], ami nyilván nem csak szigorúan Magyarországra vonatkozik.

Az összefüggő egyenlítői övezetet illetően a két térképen kapott eredmény megerősíti egymást Dél-Amerika, Indonézia és Észak-Ausztrália esetében, de Afrikában - ahol szintén összeáramlási övezet van - nem.

A C típusú, 19-23 éves periódusokat tartalmazó intervallumból a T=22 éves periódust elemeztük tovább.

Az ehhez a periódushoz tartozó A/E térkép jellegzetessége, hogy az összefüggő, nagy amplitudó értékkel rendelkező területek nem mindenütt párhuzamosak a szélességi körökkel az északi félgömbön, hanem inkább meridionális helyzetűek. Ilyen övezetet találunk az észak-amerikai kontinens középső tájain északról dél felé húzódva, valamint Ázsia tengerparti vidékein, a Japán szigeteken végighaladva, mégpedig jelentős A/E értékkel, tehát reális periódussal. A többi nagy amplitudójú terület már kb. párhuzamos a szélességi körökkel Afrika északi részében, Kisázsian át Indiáig kiterjedően, valamint Dél-Amerika és Afrika déli, Ausztrália északi részén, kisebb kiterjedéssel és szerényebb A/E értékkel. /16.-17. ábra/

A fázisszög értékek arról tanúskodnak, hogy eredhet a periódus Ázsia keleti vidékeiről, Afrika és Dél-Amerika déli területeiről, Észak-Amerikában és Észak-Afrikában azonban a fázisszögek összeáramlási zónáját találjuk. Európában a kontinens délkeleti, a Fekete-tenger környéki zónája felel meg a periódus eredő helyének, ami beleillik az egész Földre vonatkoztatott rendszerbe, csak nagyon kis területre korlátozódik. /18.-19. ábra/

A 27-31 éves periódusokat tartalmazó D típusból a T=31 éves periódust szemeltük ki.

Megszerkesztve az A/E értéket tartalmazó térképet



- amint majd a T=35 éves periódus esetében is látni fogjuk
- , tapasztalhatjuk, hogy feltűnően nagy azoknak a területeknek az aránya, ahol a hányados értéke nagyobb mint 1,5. Kiemelkedően magas A/E értéket is találhatunk /3,0 és nagyobb/, ami rövidebb periódusok esetében nem jellemző. Ez a tény azonban nem feltétlenül azzal magyarázható, hogy ezek a periódusok markánsabbak, mint a rövidebb ingások, hanem épp azzal, hogy - tekintve hogy a vizsgált 80 éves idősorban ez a hullám már csak kétszer futhat végig - ezen ingások karakterisztikáinak statisztikai megbízhatósága kisebb, mint a rövidebb periódusoké.

A 31 éves periódus legnagyobb A/E értékei Észak-Amerika nyugati partvidékén jelennek meg, de kisebb értékek a keleten is megtalálhatók. Kiemelkedő értékű hányadosokat fedezhetünk még fel Afrikában, az északi részen, majd India déli csücskében, Hátsó-Indiában és Indonéziában, valamint Ausztrália egyes területein. Nem magas értékekkel, de nagy kiterjedésben Ázsia is jellemezhető a 31 éves periódussal.
/20.-21. ábra/

A periódus fázisszögek szerinti mozgását elemezve a periódus eredetéről sajnos semmit sem tudunk mondani, mert a nagy A/E értékek területén rendszerint a fázisszögek összeáramlási zónája található. Európában ugyan csak kisebb foltokban található elfogadható amplitudó érték, itt azonban ez megegyezik a fázisszögek kiindulási területeivel. Így Észak-Európában Skandinávia déli része és Dél-Európa figyelmet érdemlő terület. /22.-23. ábra/

Végül a 35 éves és ennél hosszabb periódusokat tartalmazó intervallumból - az E típusból - a T=35 éves periódust használtuk fel.

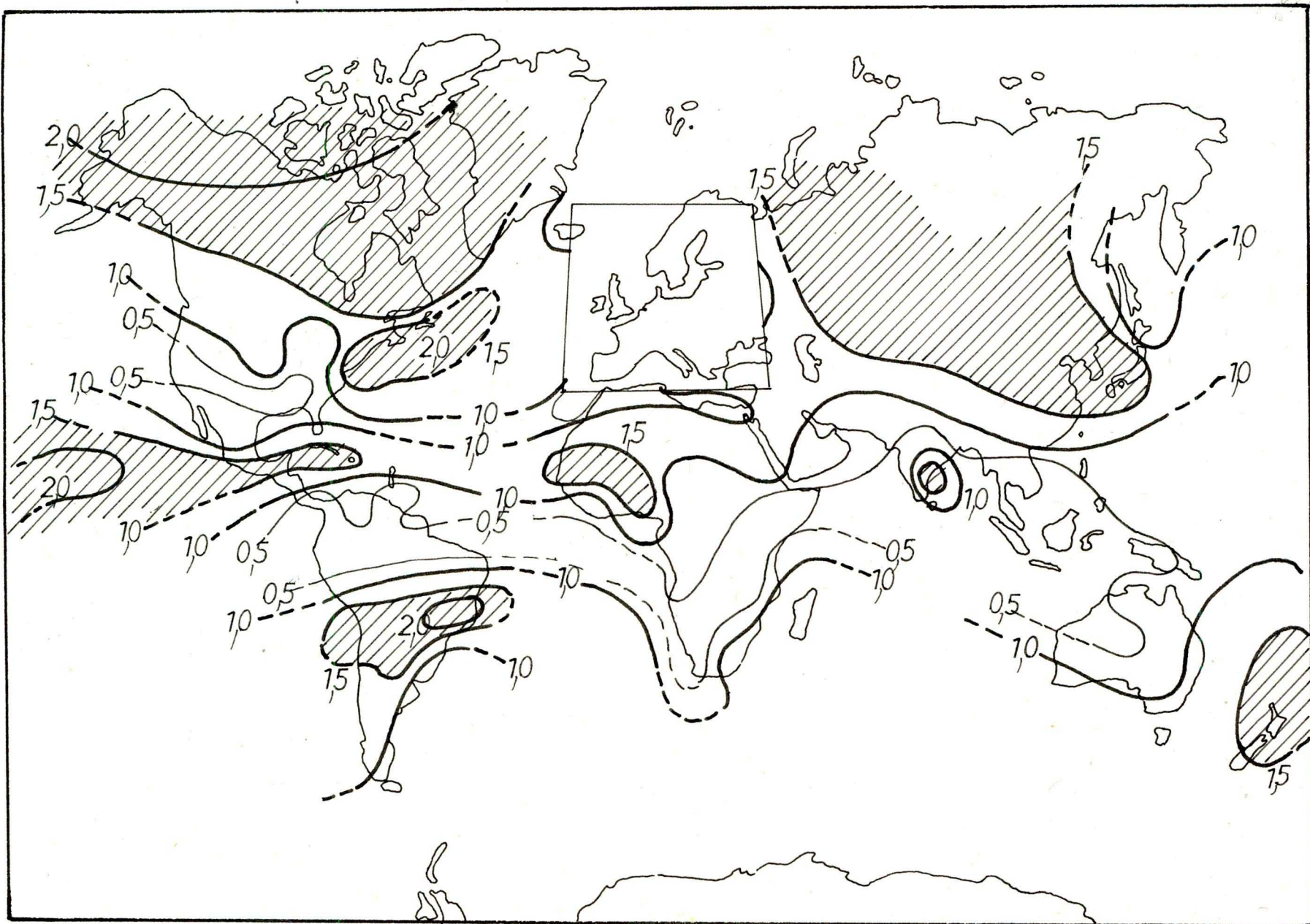
A periódus amplitudó térképét szemlélve első pillantásra szembetűnik, hogy mennyire hasonlít a térkép a T=31 éves periódus amplitudó térképéhez. Ez az eredmény azonban nem meglepő, hisz az elemzésben felhasznált periódusok közül relative e kettő van egymáshoz a legközelebb. Ez igazolja továbbá azon eljárásunkat is, hogy egy intervallumból nem az összes év, csupán egy kiemelt periódus görbéit rajzoltuk meg.

A 35 éves periódus magas amplitudó értékei tehát Észak-Amerika nyugati partjain a jellemzőek, s kisebb mértékben a keletin is. Nagy kiterjedésben találhatók továbbá Ázsiában, Afrikában a kontinens középső területeit kivéve, s az afrikai övezettel összefüggően Dél-Amerika déli felében. Előfordul - az afrikai övezettel összefüggően - India déli részén, Indonézián és Ausztrálián végighúzódva Óceánia egyes területein is. /24.-25. ábra/

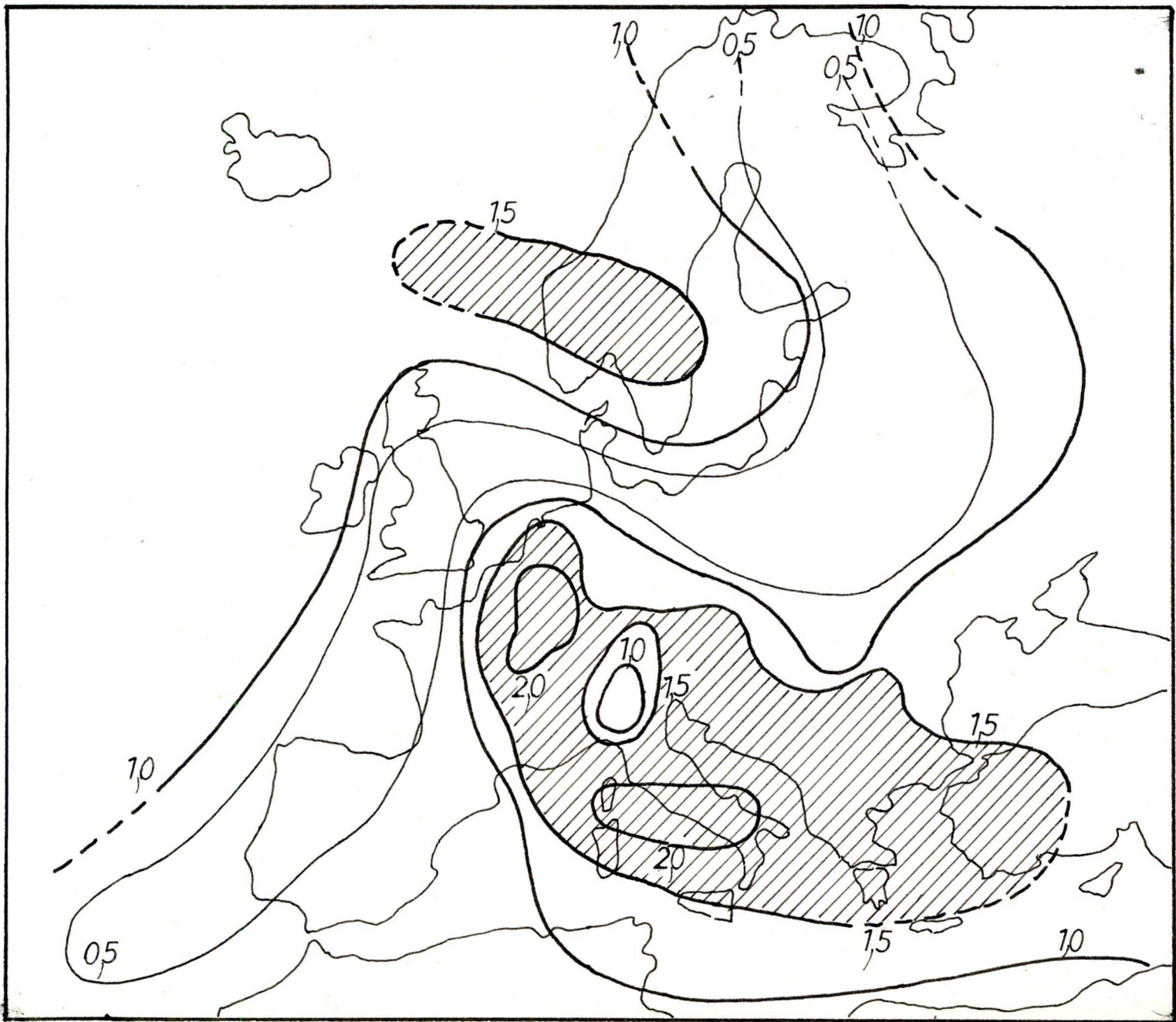
Eltérően a 31 éves periódustól a fázisszögek térképéről az olvasható le, hogy sokhelyütt megegyezik a nagy amplitudó értékek területe és a fázisszögek szétáramlási zónája. Így például Észak-Amerika keleti és nyugati felében egyaránt, Ázsiában, Ausztrália, Indonézia, Kelet-Afrika vidékein. Európában csak a Dél-Skandináviától a Fekete-tengerig húzódó sávban esik össze a magasabb A/E értékek és a fázisszögek szétáramlási övezete. /26.-27. ábra/

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a Föld felszínének legnagyobb részén kimutatható ritmizáció, periódicitás a csapadék eloszlásában, s területenként más-más periódus a jellemző. Az egyes periódusok amplitudó és fázisszög térképének megszerkesztése után sikerült a periódus eredő helyéről némi tájékoztatást kapni, a periódusok fizikai okai azonban ismeretlenek számunkra. A fizikai okok felderítése nagyon bonyolult, összetett probléma, s csupán az adatsorok elemzésével nem oldható meg, tekintettel arra, hogy a kiváltó ok számtalan tényező összetett hatásaként érvényesül.

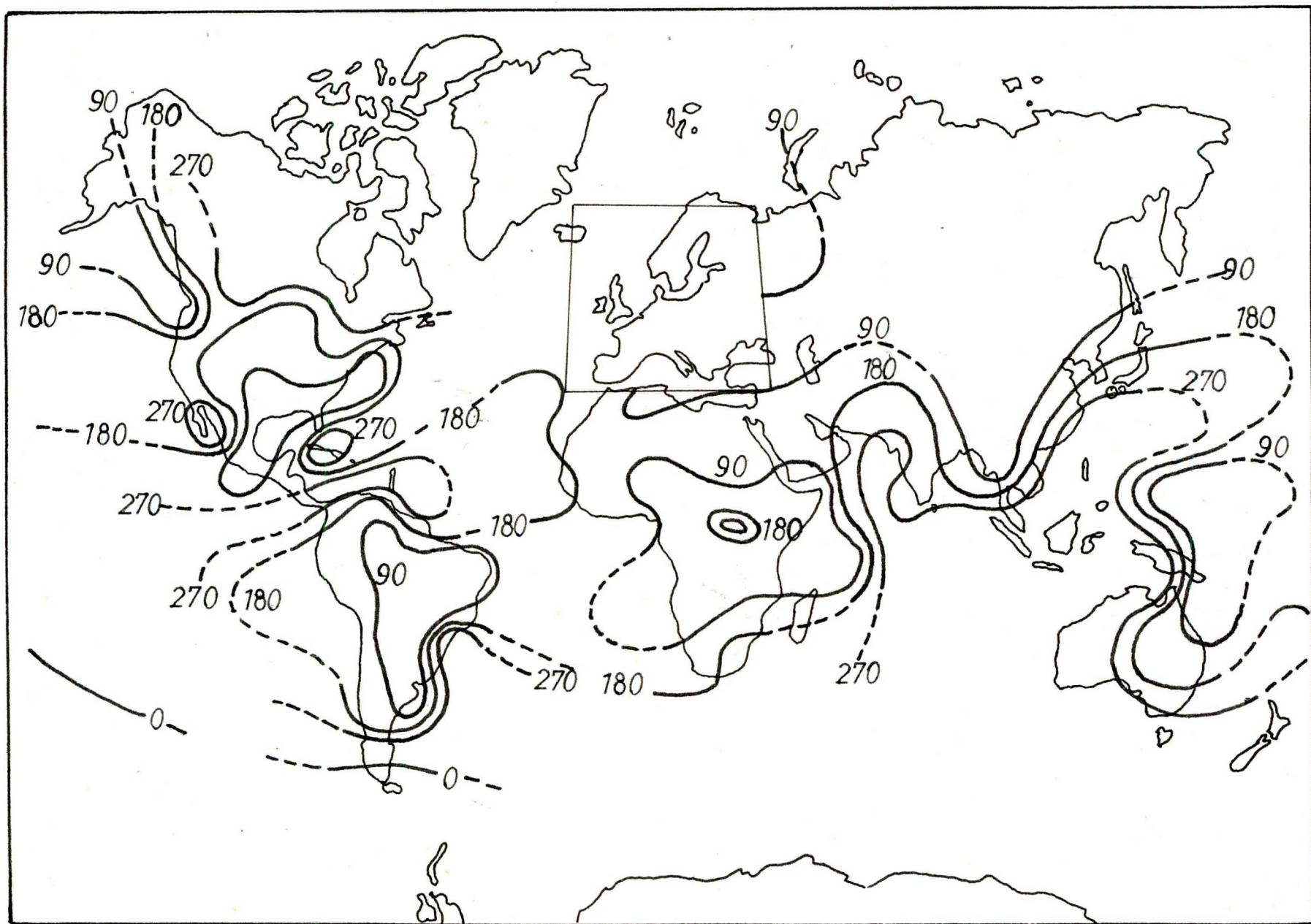
8. ábra. A T=7 éves periódus A/E értékei



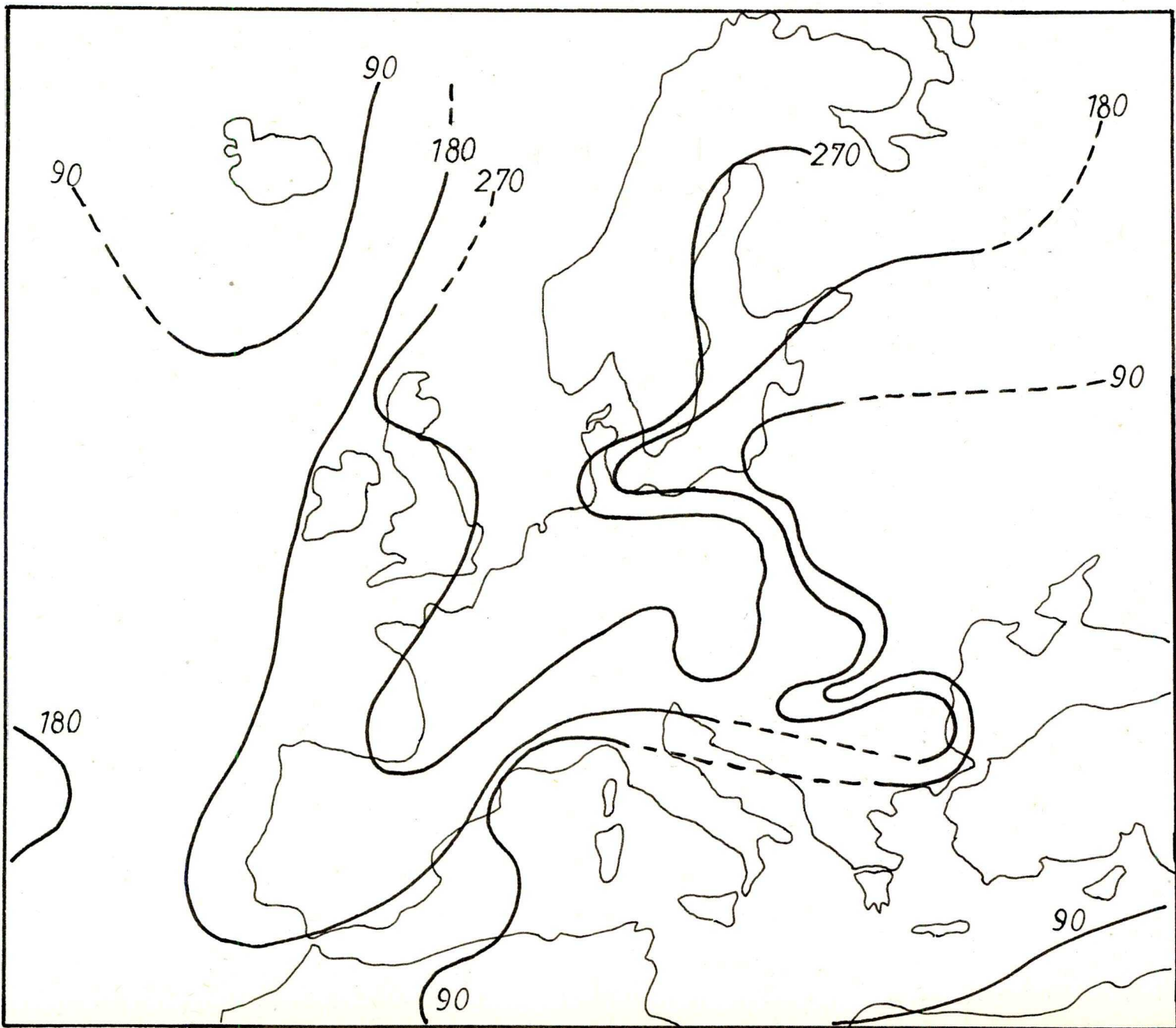
9. ábra. A $T=7$ éves periódus A/E értékei Európában



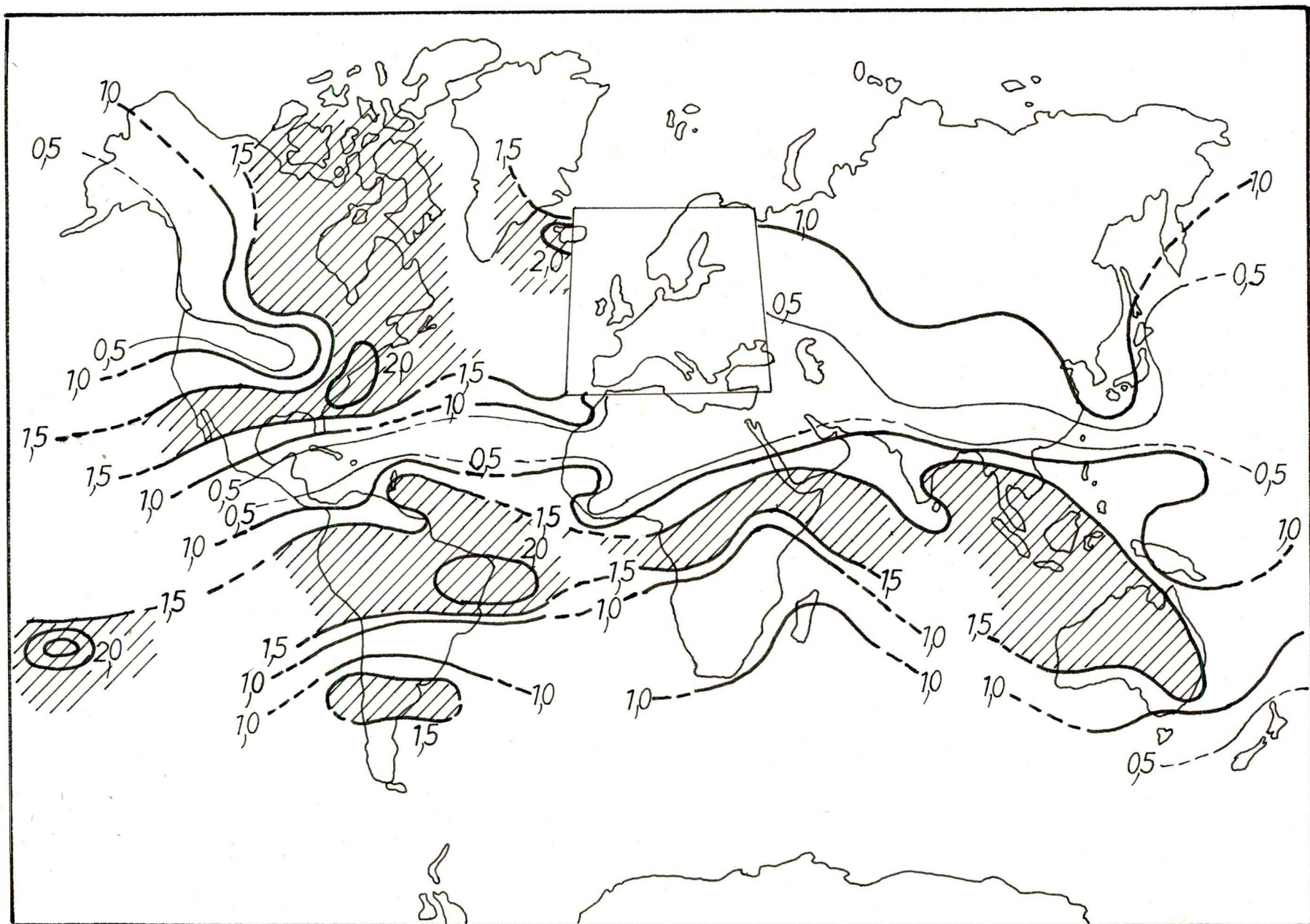
10. ábra. A T=7 éves periódus fázisszög értékei



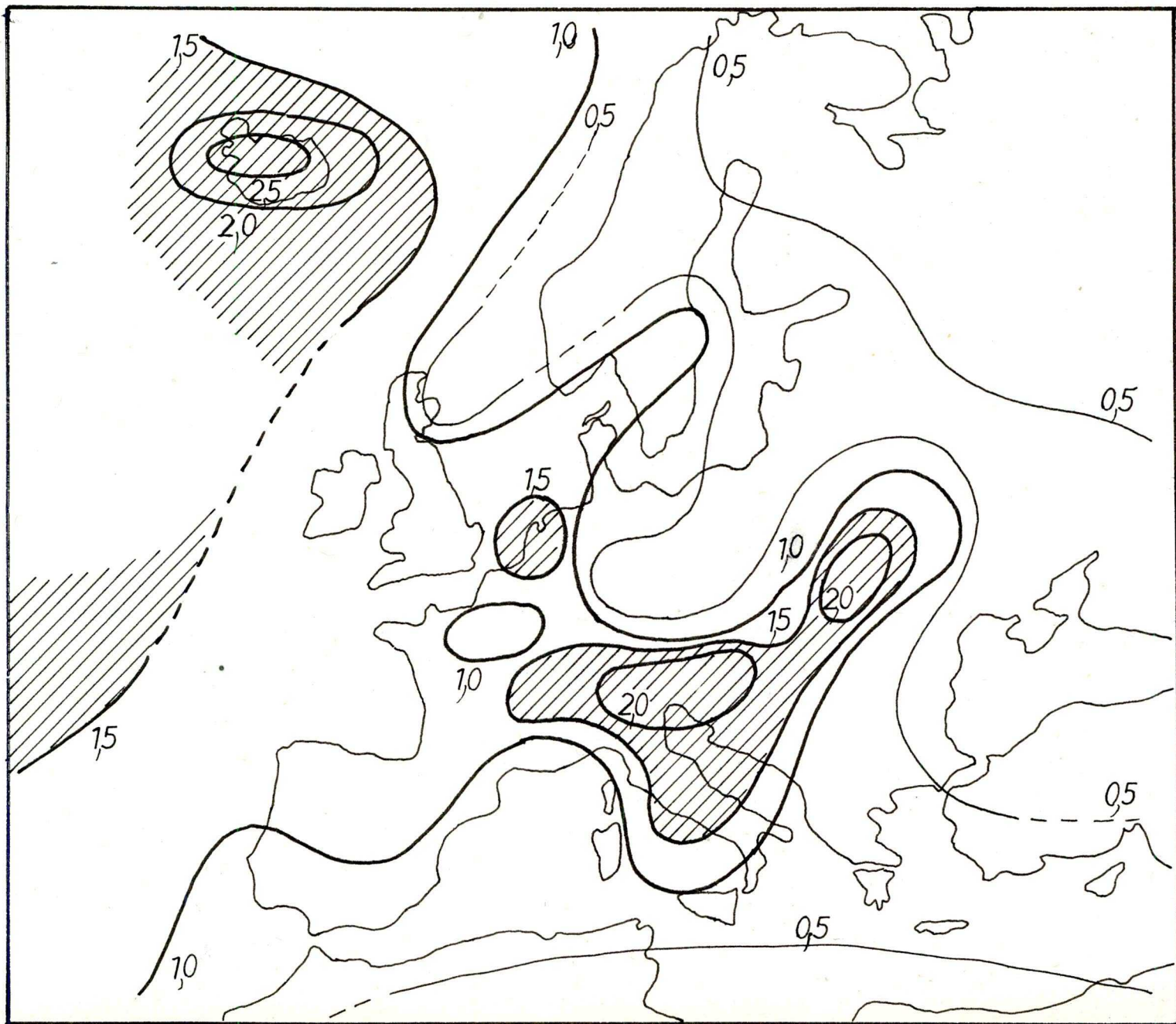
11. ábra. A $T=7$ éves periódus fázisszög értékei Európában



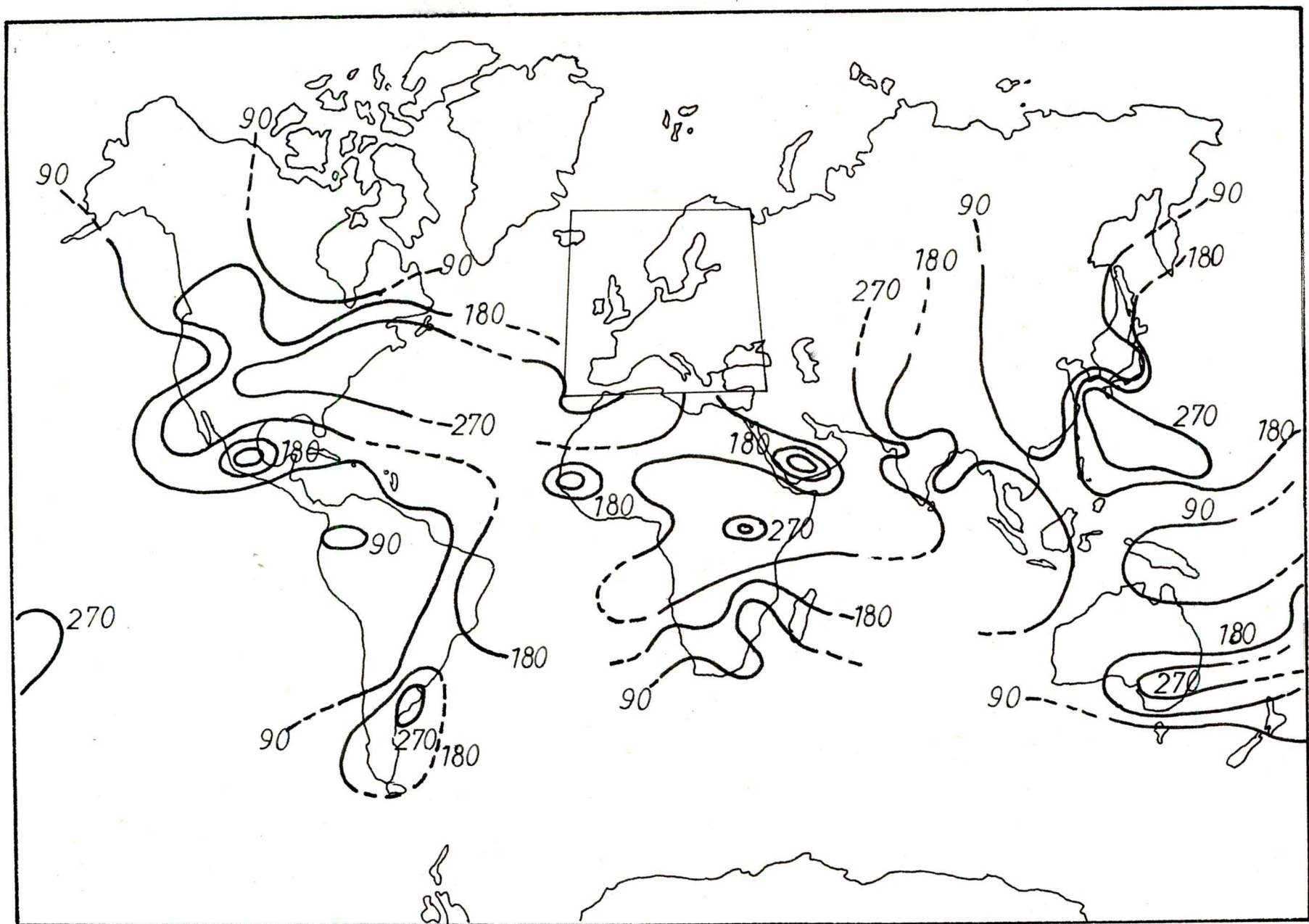
12. ábra. A T=12 éves periódus A/E értékei



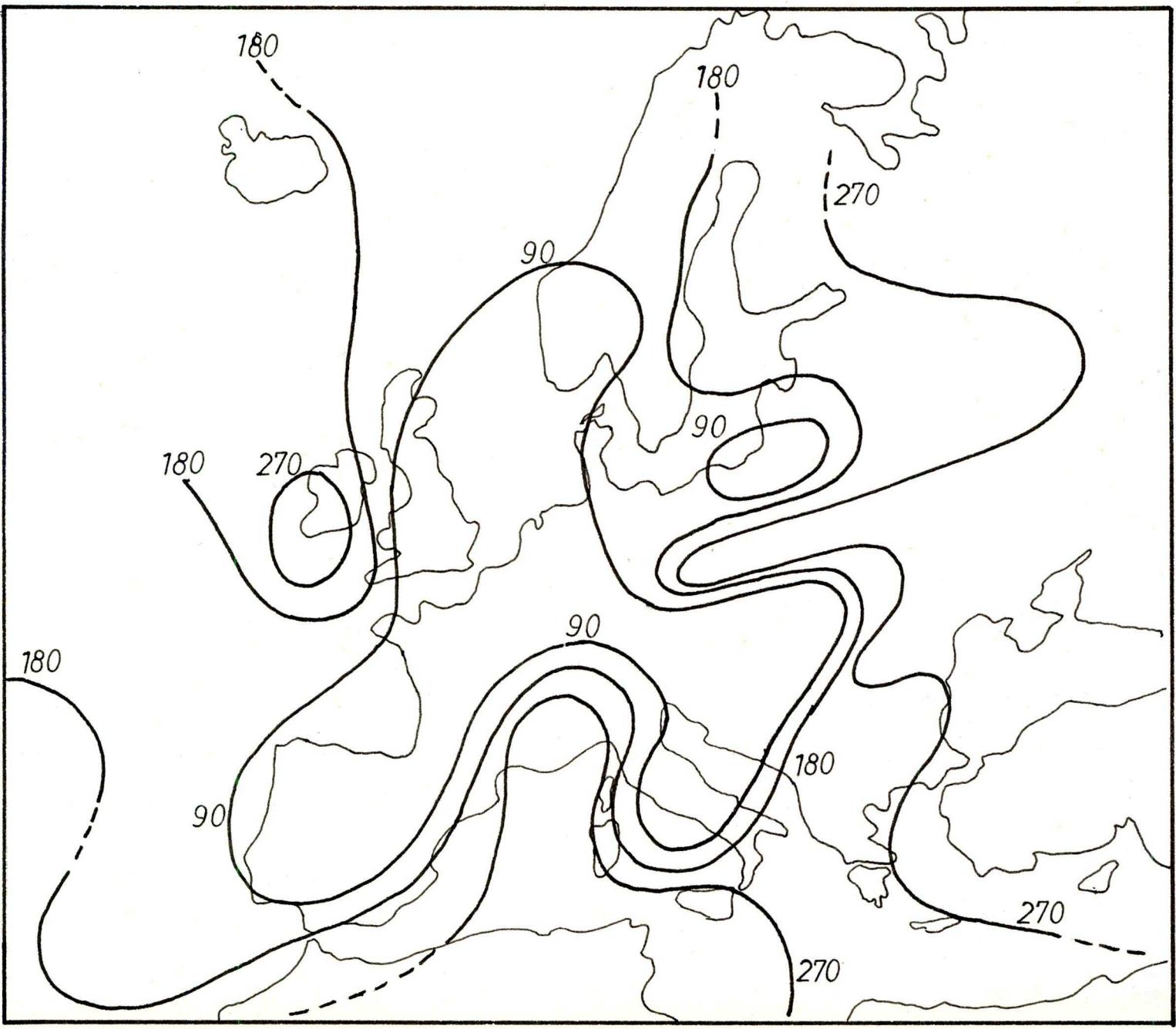
13. ábra. A T=12 éves periódus A/E értékei Európában



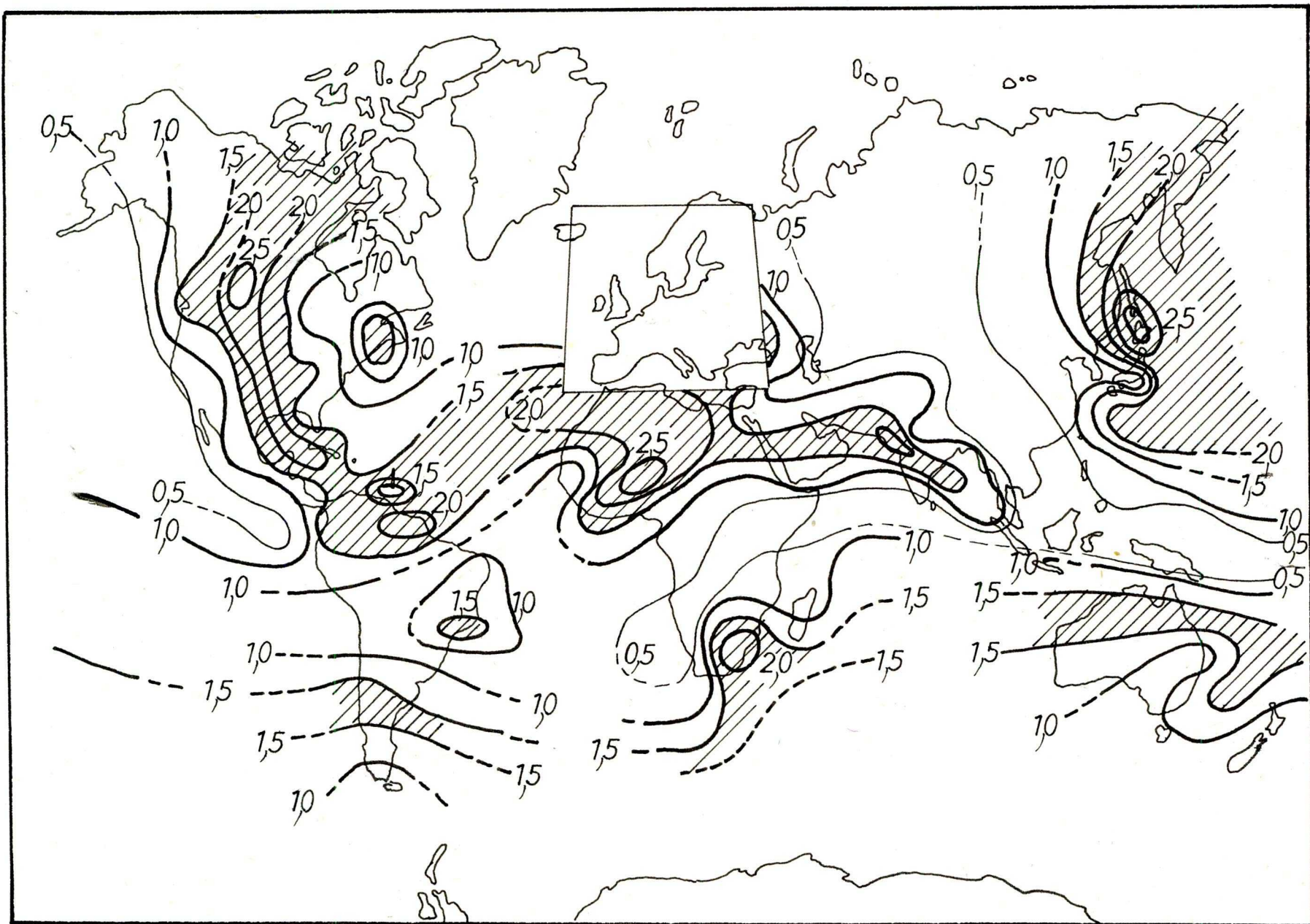
14. ábra. A T=12 éves periódus fázisszög értékei



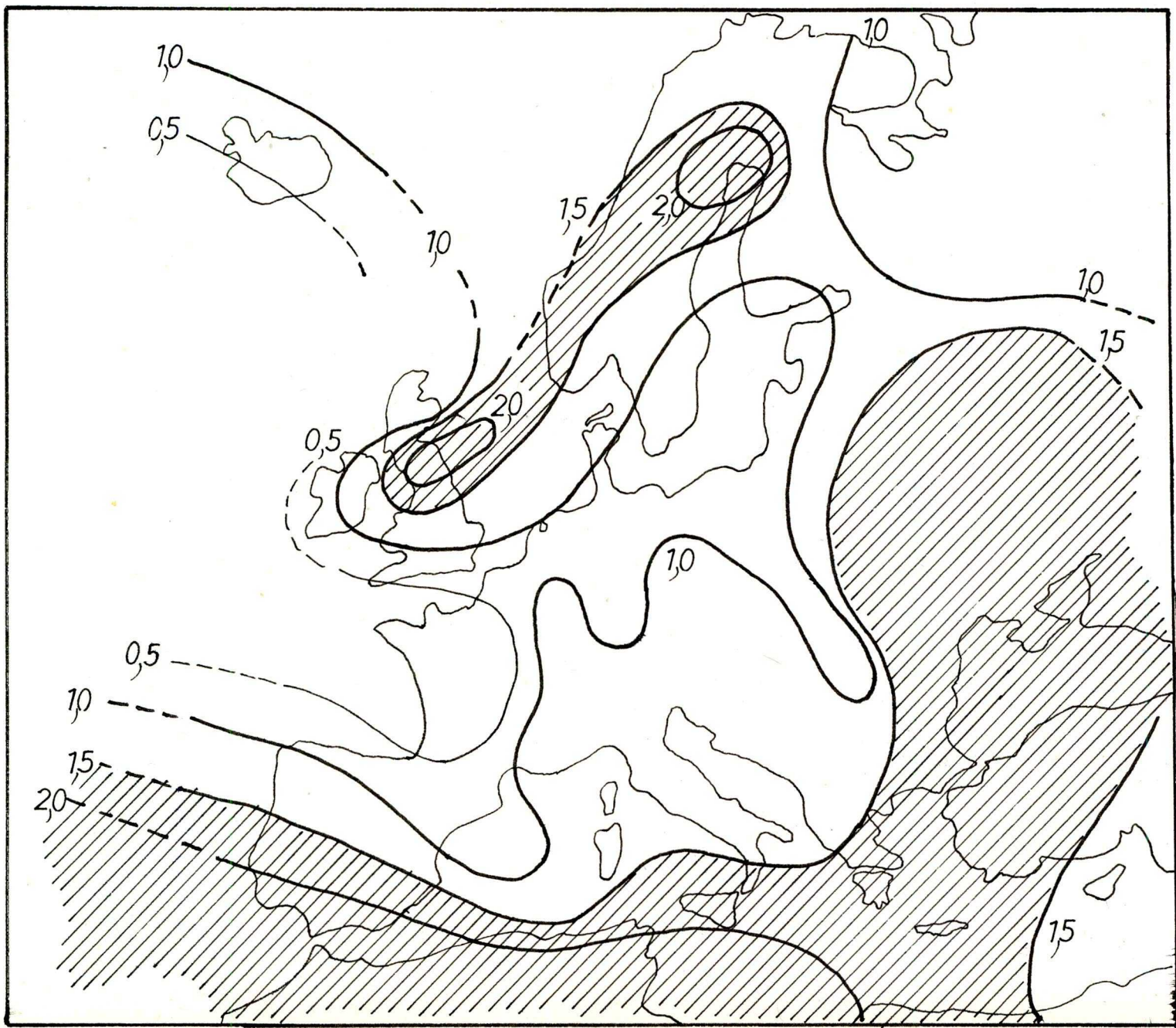
15. ábra. A T=12 éves periódus fázisszög értékei Európában



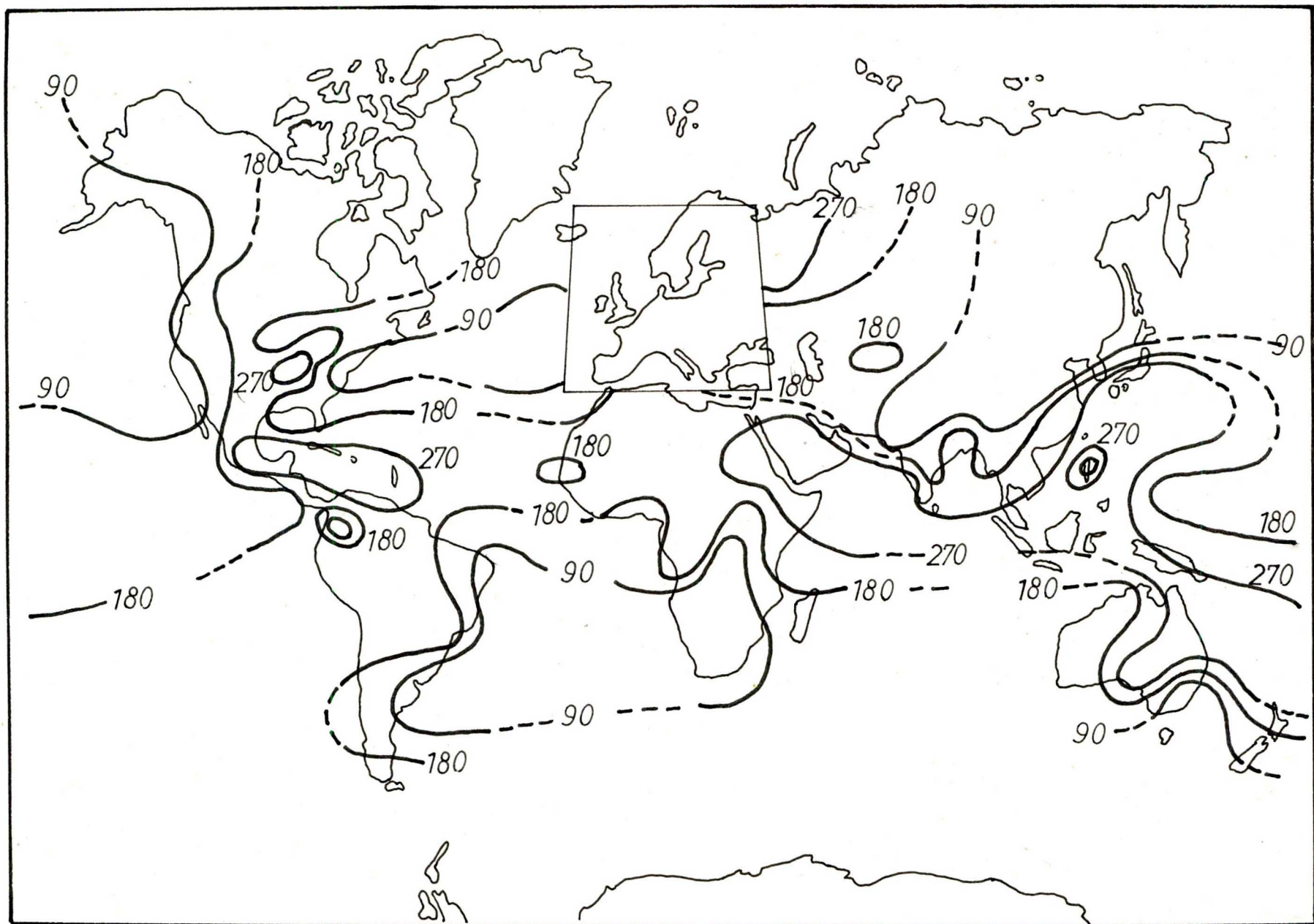
16. ábra. A $T=22$ éves periódus A/T értékei



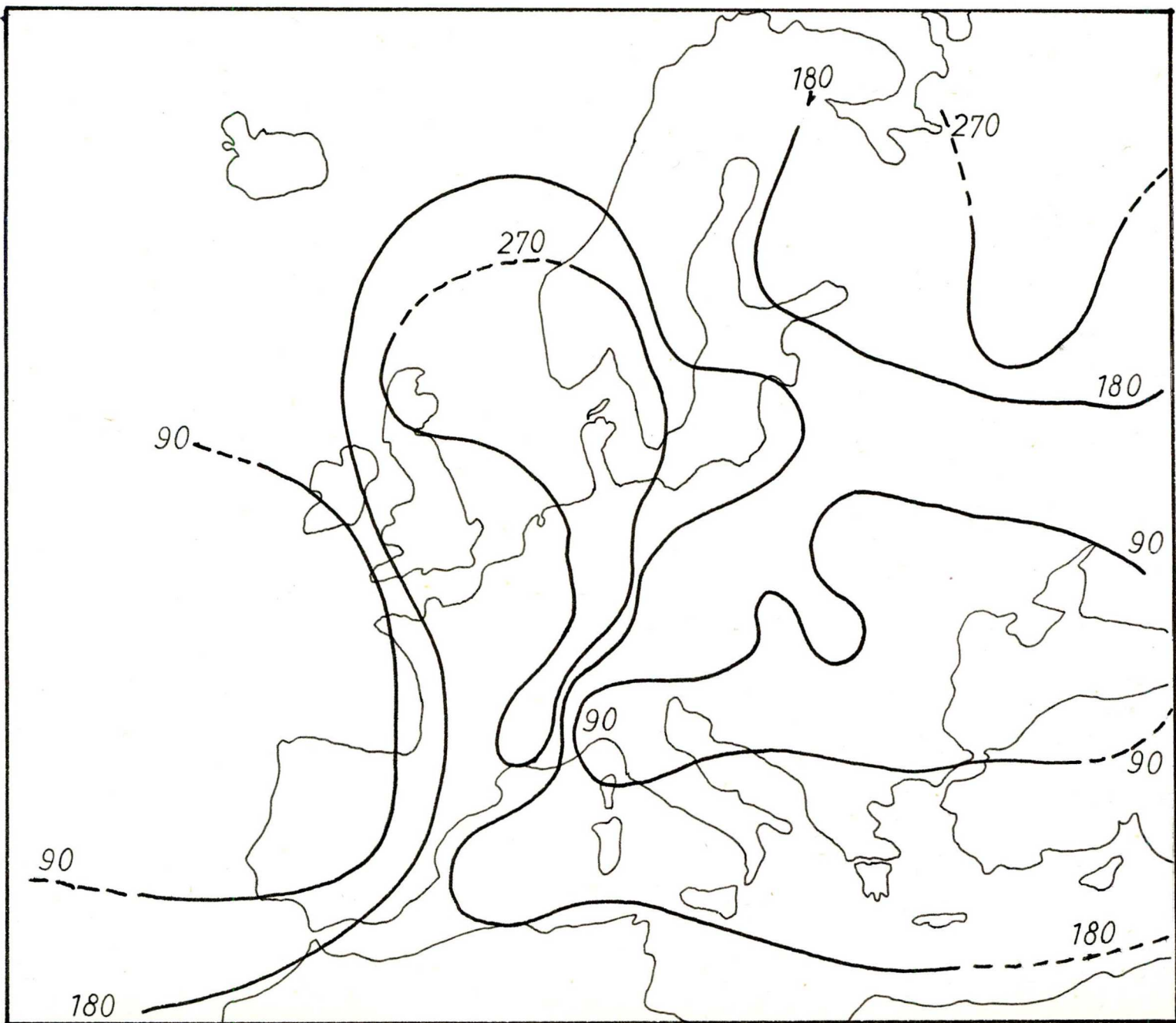
17. ábra. A T=22 éves periódus A/E értékei Európában



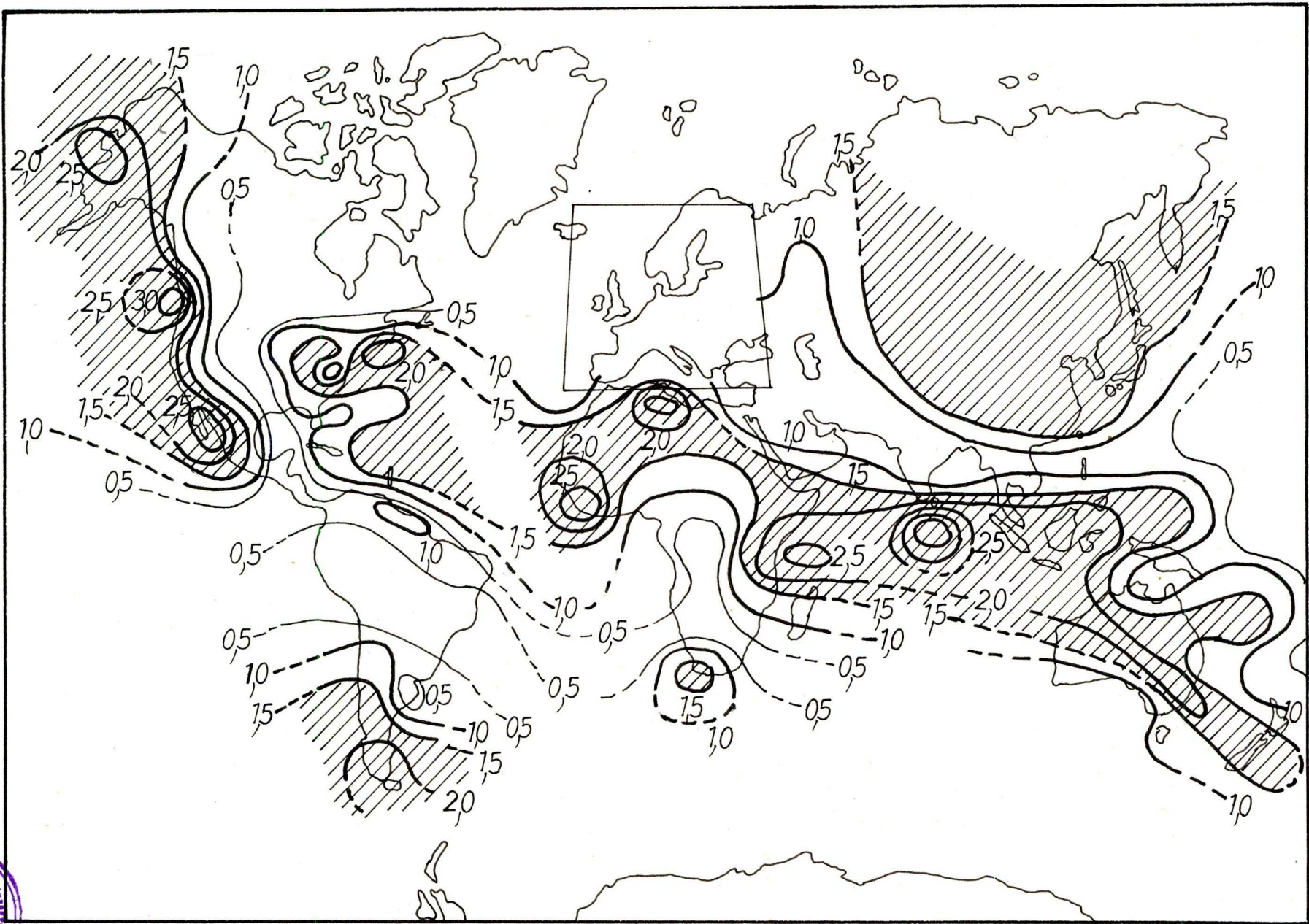
18. ábra. A T=22 éves periódus fázisszög értékei



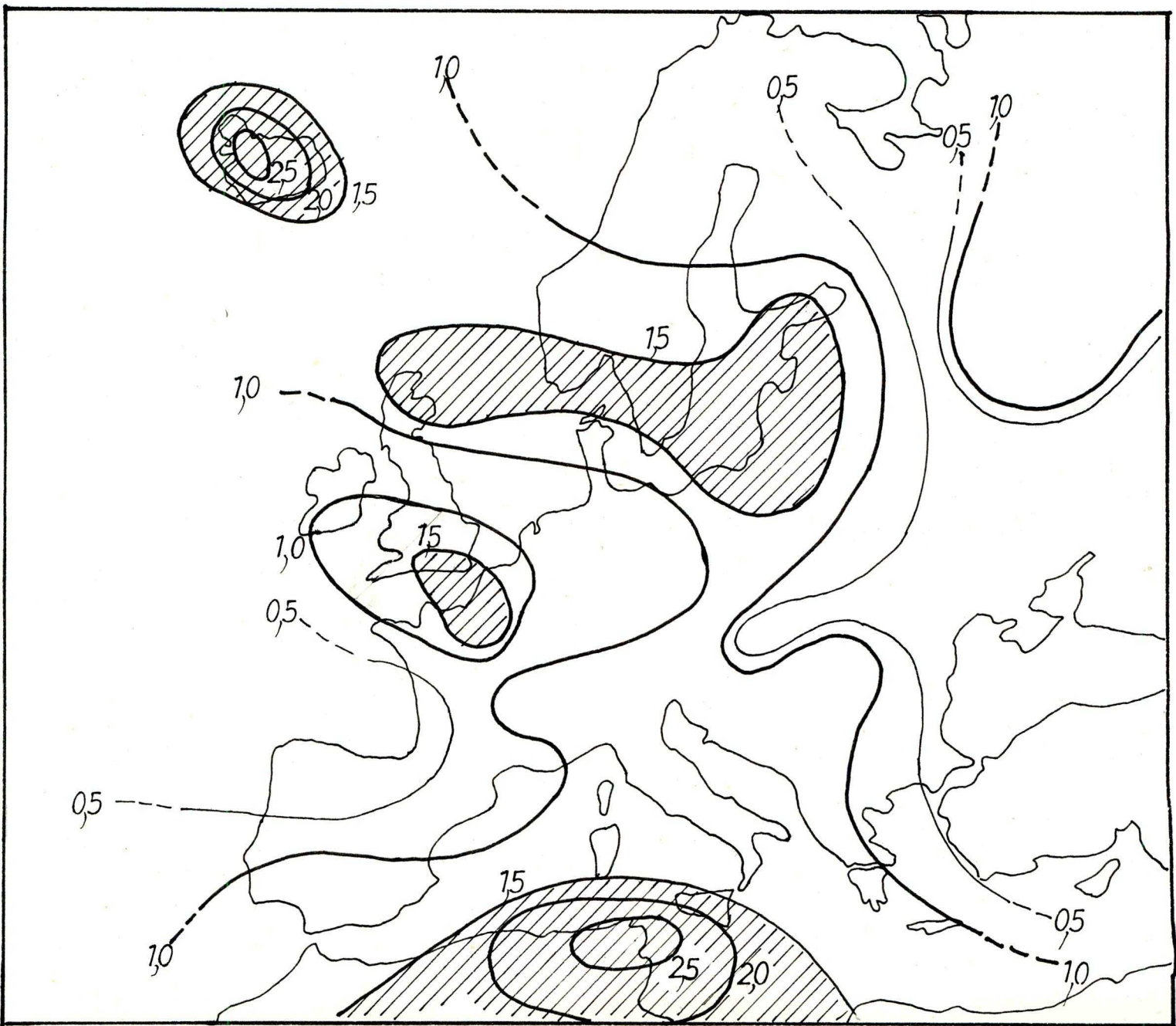
19. ábra. A T=22 éves periódus fázisszög értékei Európában



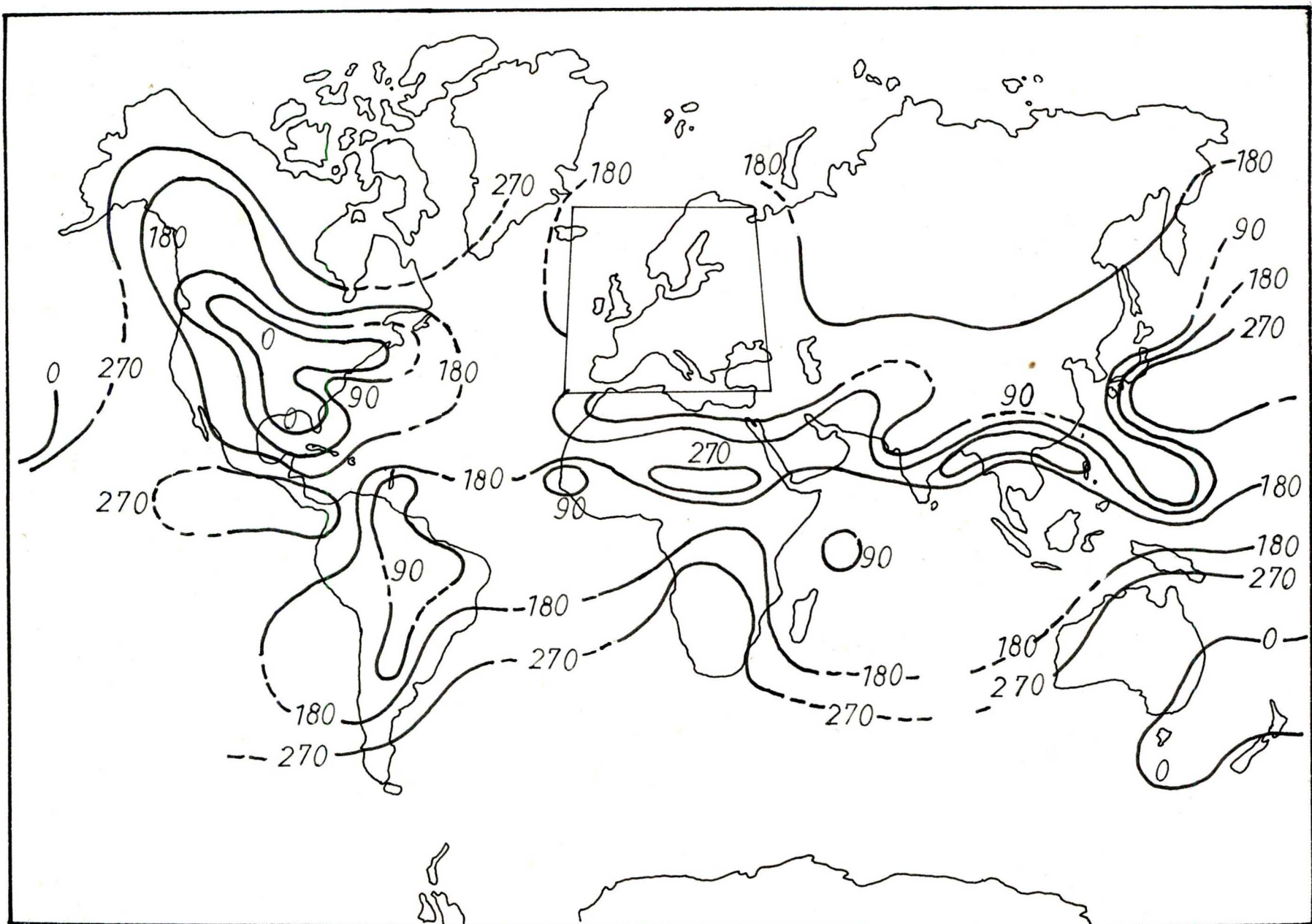
20. ábra. A T=71 éves periódus A/E értékei

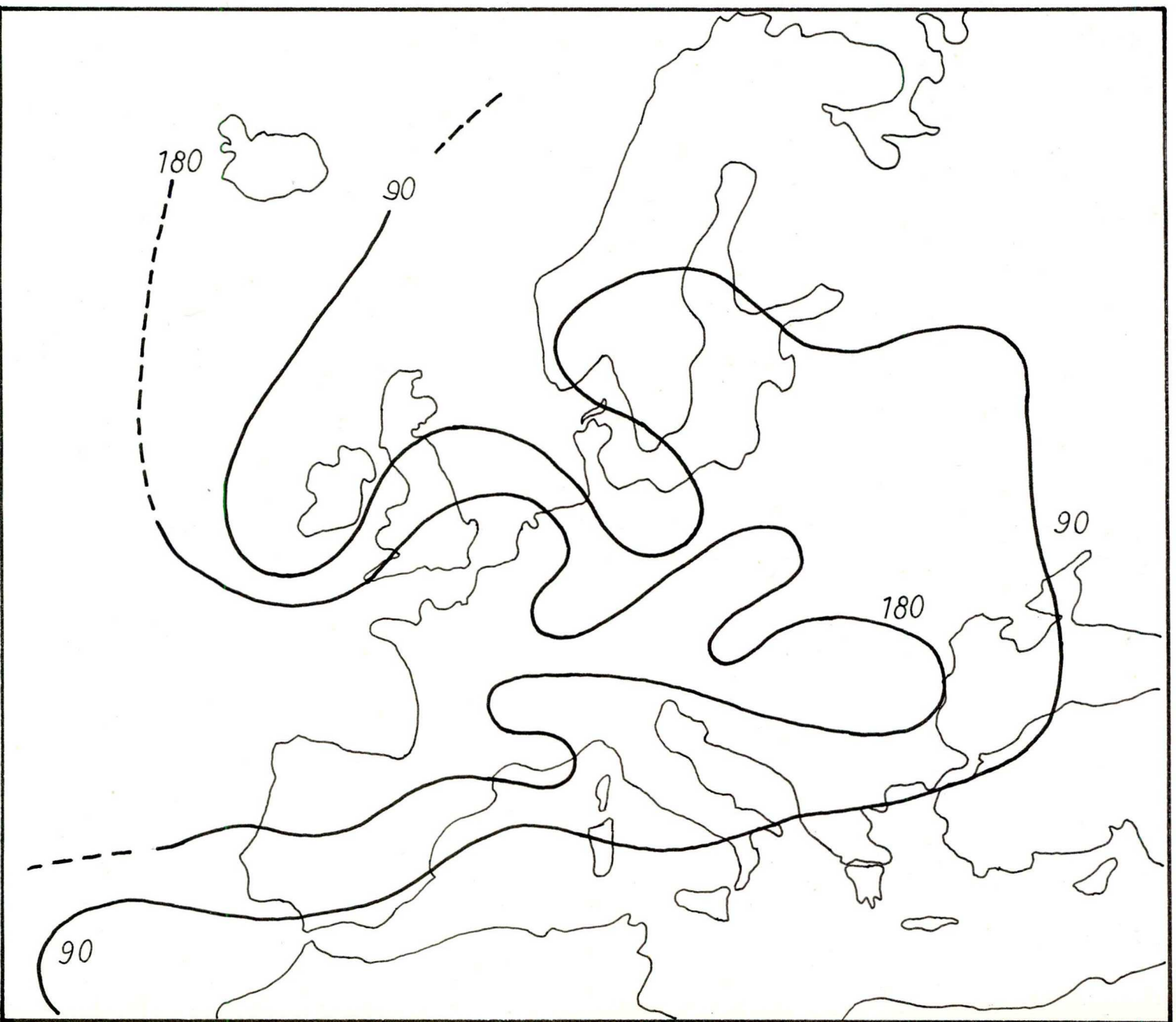


21. ábra. A $T=31$ éves periódus A/E értékei Európában



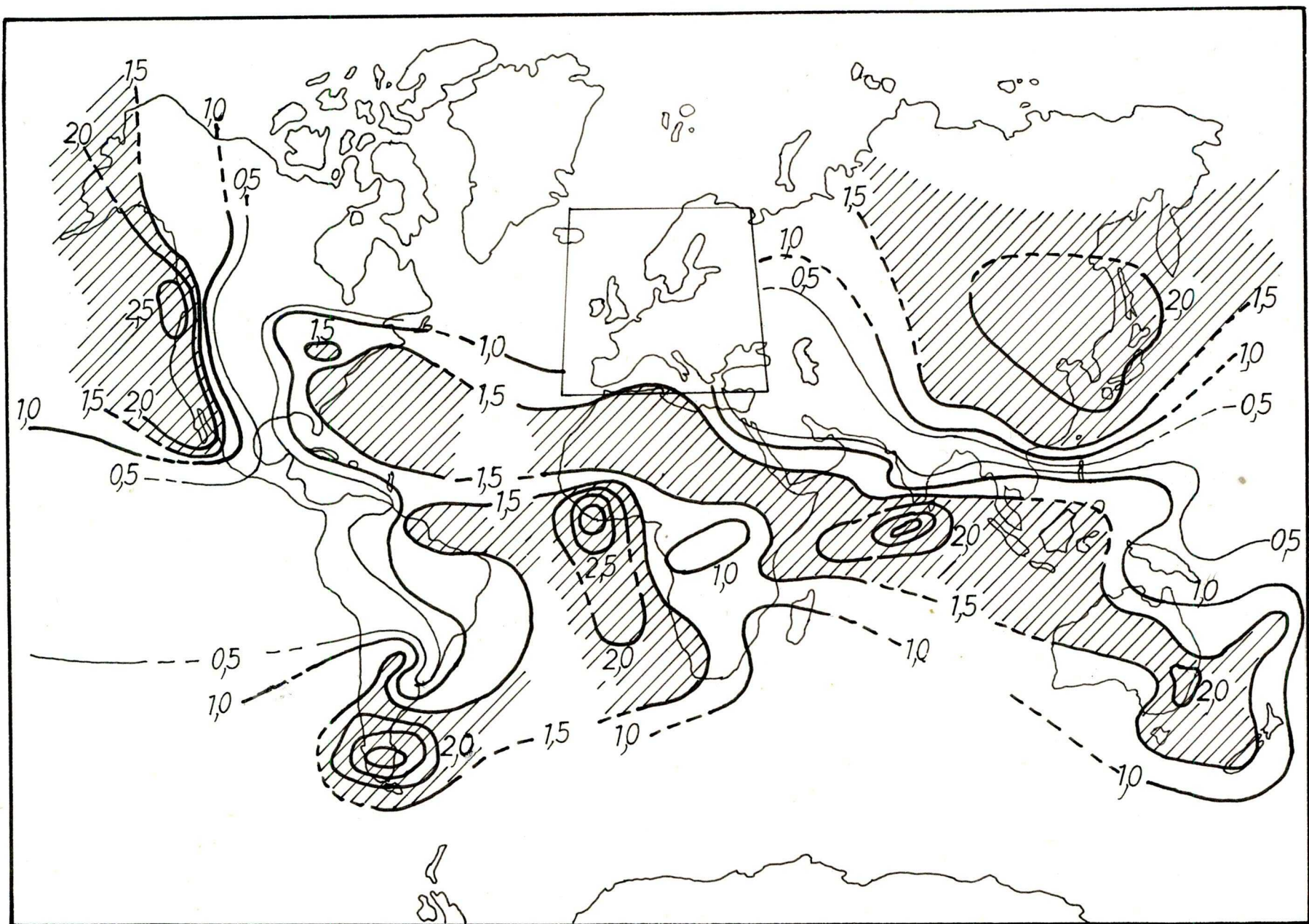
22. ábra. A $T=31$ éves periódus fázisszög értékei



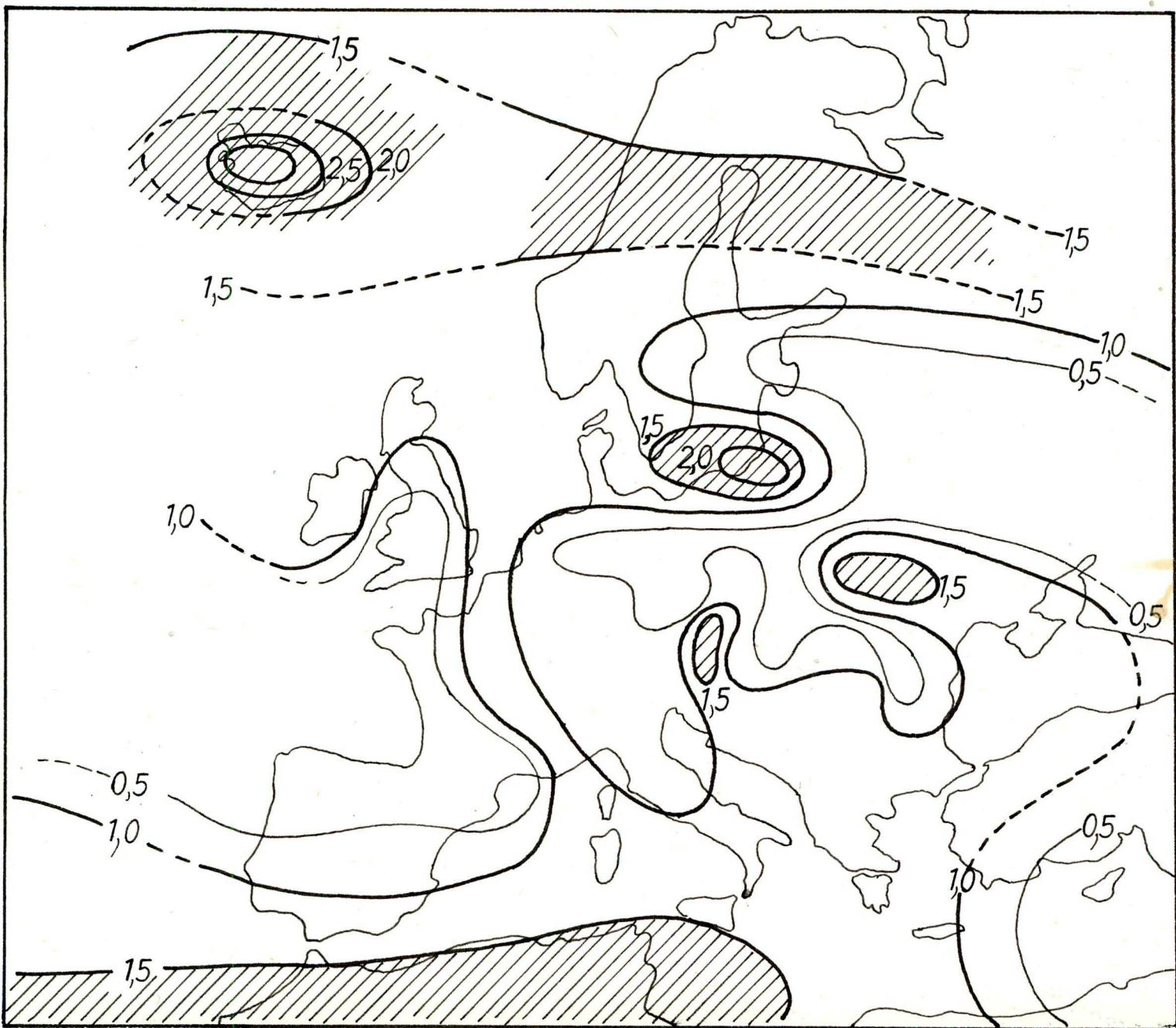


23. ábra. A $T=31$ éves periódus fázisszög értékei Európában

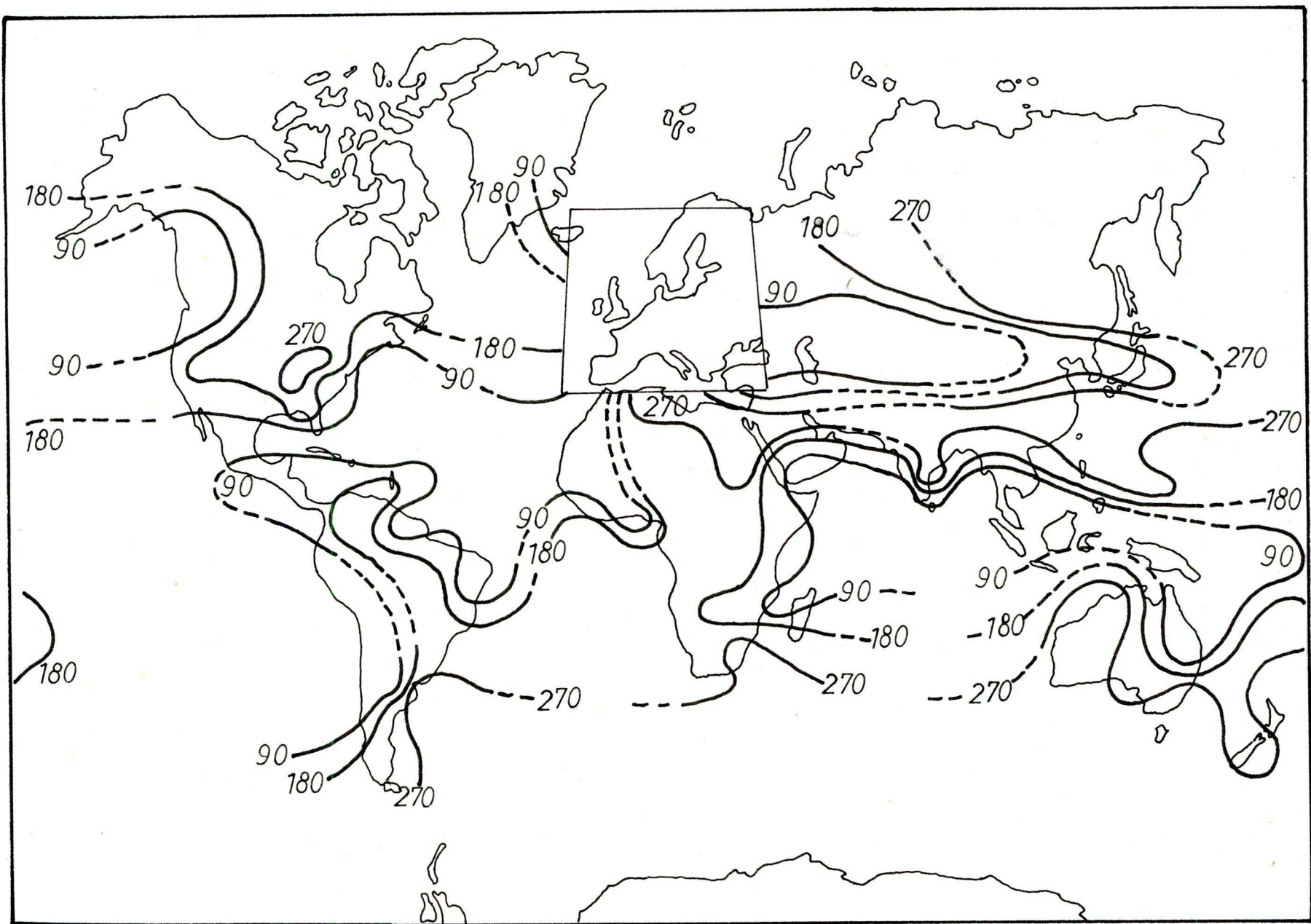
24. ábra. A $T=35$ éves periódus A/E értékei



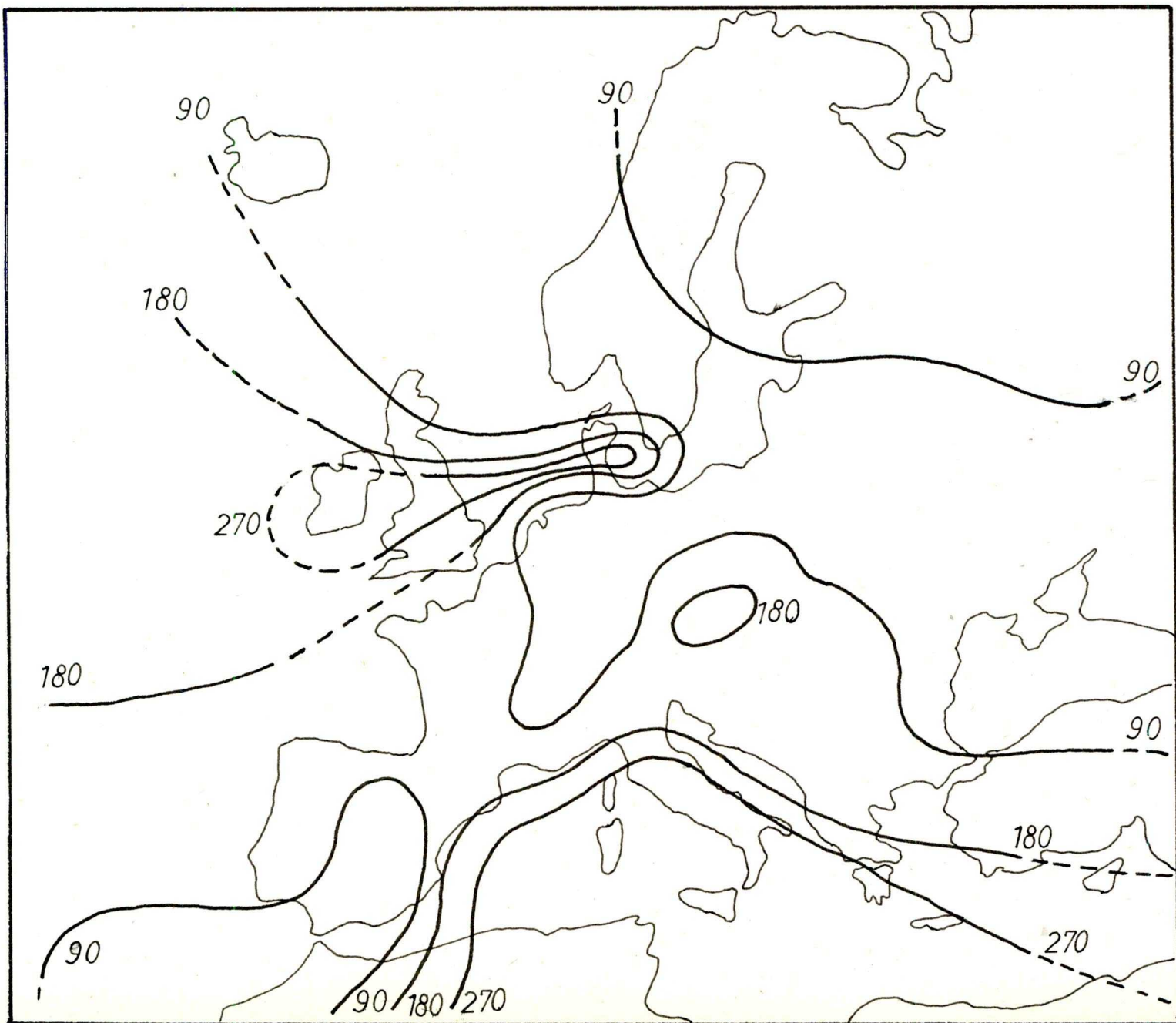
25. ábra. A T=35 éves periódus A/E értékei Európában



26. ábra. A T=35 éves periódus fázisszög értékei



A T=35 éves periódus fázisszög értékei Európában. 27. ábra.



H O S S Z U C S A P A D É K S O R O K T R E N D -

J É N E K E L E M Z É S E

A csapadék változásának a csapadéksorokban érvényesülő periódicitás csak az egyik megnyilvánulási formája. Az esetleges klimaváltozások, az antropogén tevékenység esetleges légköri módosító hatásának ellenőrzése szempontjából azonban fontos, hogy a csapadék szekuláris változásait is megvizsgáljuk. Erre a csapadéksorok trendjének meghatározása nyújt lehetőséget, ahol a trend abszolútértéke a változás mértékére, előjele pedig az irányára jellemző.

A lineáris trendszámítás

Lényege röviden a következő: Feladatunk azon egyenes egyenletének meghatározása, melynek értékei és az idősor ugyanazon időponthoz tartozó tényleges értékei közötti eltérés négyzeteinek összege minimális. Jelöljük az idősor értékeit y -nal, a trendvonal megfelelő értékeit y' -vel. A trendvonal egyenlete $y = ax + b$. A legkisebb négyzetek módszerének követelménye:

$$\sum (y - y')^2 = \text{minimum}$$

Az a és b paramétereket az alábbi normálegyenletekkel határoztuk meg:

$$\begin{aligned}\sum y &= na + b\sum x \\ \sum xy &= a\sum x + b\sum x^2\end{aligned}$$



A számításnál az x értékek az időpontokat, a hozzájuk tartozó y értékek az idősor értékeit jelentik. Mivel x és y értékek ismertek, a normálegyenletek kétismeretlenes elsőfokú egyenletrendszer alakotnak, ahol az ismeretlenek a és b . Az x értékeket úgy választottuk meg, hogy $\sum x = 0$ legyen, ezzel a számításunk egyszerűbbé vált. Így a normálegyenletek a következő alakban írhatók fel:

$$\begin{array}{ll} \sum y = na & \sum xy = b \sum x^2 \\ \Downarrow & \Downarrow \\ a = \sum y/n & b = \sum xy / \sum x^2 \end{array}$$

A trendértékek kiszámítása után a realisabb értékelés érdekében célszerű a kapott mutatókat kifejeznünk a hozzájuk tartozó csapadéksor átlagának ezrelékében. Így kiküszöbölhetjük, hogy valamely magas trendérték irreálisan nagy változást jelezzon azért, mert az évi csapadékösszegek is magasak, miután ismeretes, hogy a csapadék évi összegével párhuzamosan növekszik a változékonyság mértéke [7.], másrészt kicsi trendérték is jelentős változást jelenthet, ha a csapadék mennyisége kevés.

A lineáris trendszámítás eredményei

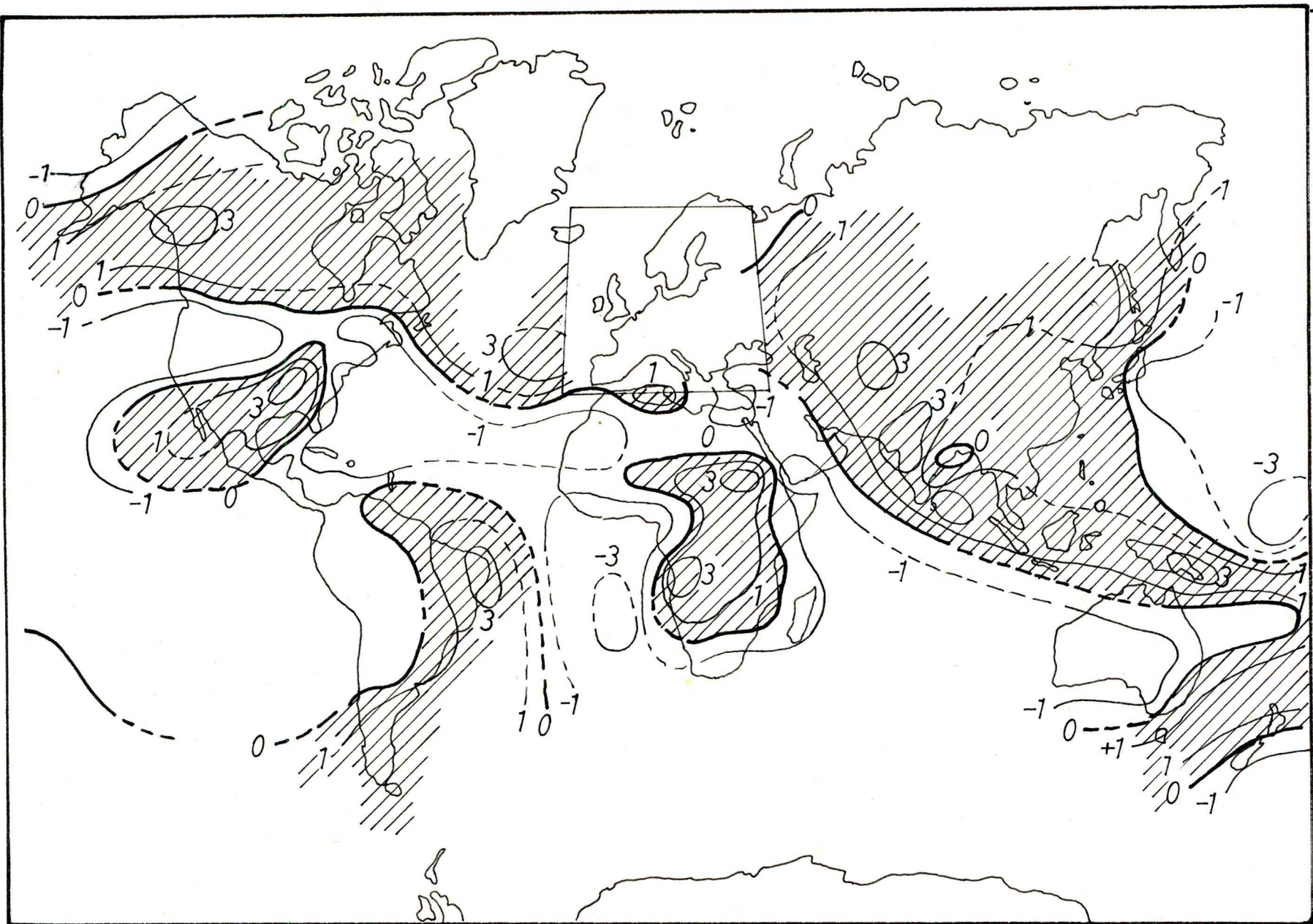
A lineáris trendszámítás során a Függelékben található II. táblázatban foglalt trendértékekhez jutottunk az 1891-1970 időszakra vonatkozóan.

A csapadékátlagok arányában kifejezett trendértékeket aztán feltérképeztük annak érdekében, hogy képet kapjunk azok területi eloszlásáról, s hogy meghatározzuk a pozitív

illetve negatív trenddel jellemzett területek megoszlását. A különböző előjelu változással jellemzett régiók elválasztása után meghúztuk az 1 és 3, illetve -1 és -3 ezrelékes csapadékváltozás görbéit. /28.-29. ábra/ Az így kapott "trendtérkép" arról tájékoztat bennünket, hogy a pozitív trendű állomások száma a több, a pozitív trendű terület a nagyobb. Ez a különbség ugyan nem nagy, 52 esetben adódott negatív, 64 esetben pozitív trend. Ez a 64 állomás Európa északi és nyugati részén, Észak-Amerika északi és déli vidékein, Ázsia területének döntő többségében, a dél-amerikai kontinens keleti felében, Afrika déli kétharmadában és Ausztrália délkeleti partvidékén végighúzódva jelöli ki a csapadéknövekedés övezeteit. Ezen az egységesnek tűnő területen belül foltszerűen helyezkednek el azok a vidékek, ahol viszonylag nagyobb arányú változás állapítható meg. A negatív trendű területekre hasonló megállapítás tehető. Európára nézve arra a következtetésre jutottunk, hogy az északi felében enyhe csapadéknövekedés, déli, délkeleti felében enyhe csökkenés tapasztalható, s ez az eredmény szintén megegyezik az irodalomban található adatokkal. [5.]

Kiszámítottuk az összes állomás trendértékeinek átlagából adódó "világátlagot" is. Értéke az 1891-1970 időintervallumban 0,44 mm/év, s ez a Föld átlagos 1000 mm/év csapadékát tekintve 0,44 ezrelék, ami szintén azt igazolja, hogy a pozitív irányú csapadékváltozás, azaz csapadéknövekedés határozható meg a teljes 80 évre vonatkozóan, bár ez a növekedés gyakorlatilag elhanyagolhatóan kicsiny. Az e-

28. ábra. Az 1891-1970 időszakra vonatkozó trendértékek



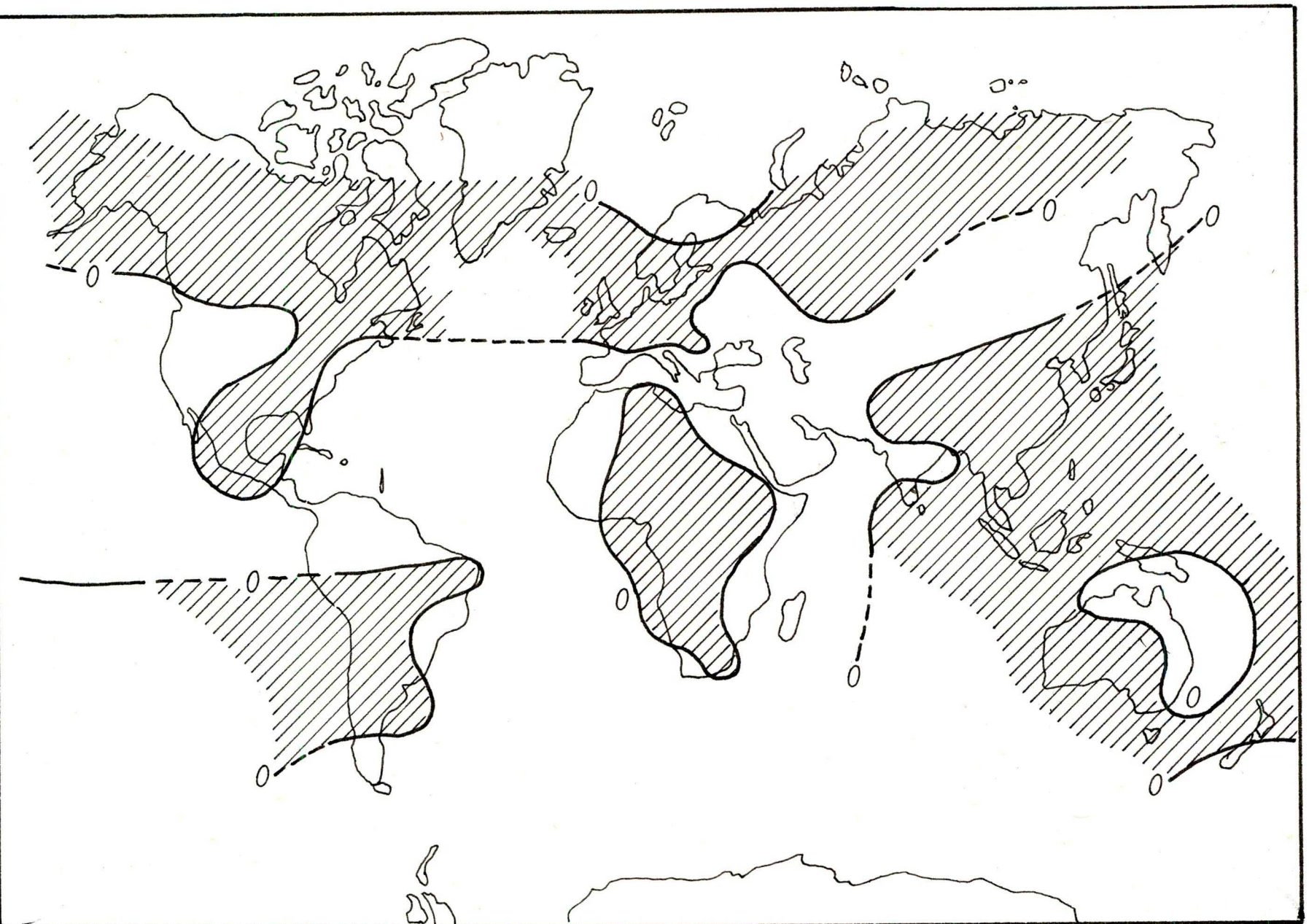


29. ábra. Az 1891-1970 időszakra vonatkozó trendértékek
Európában

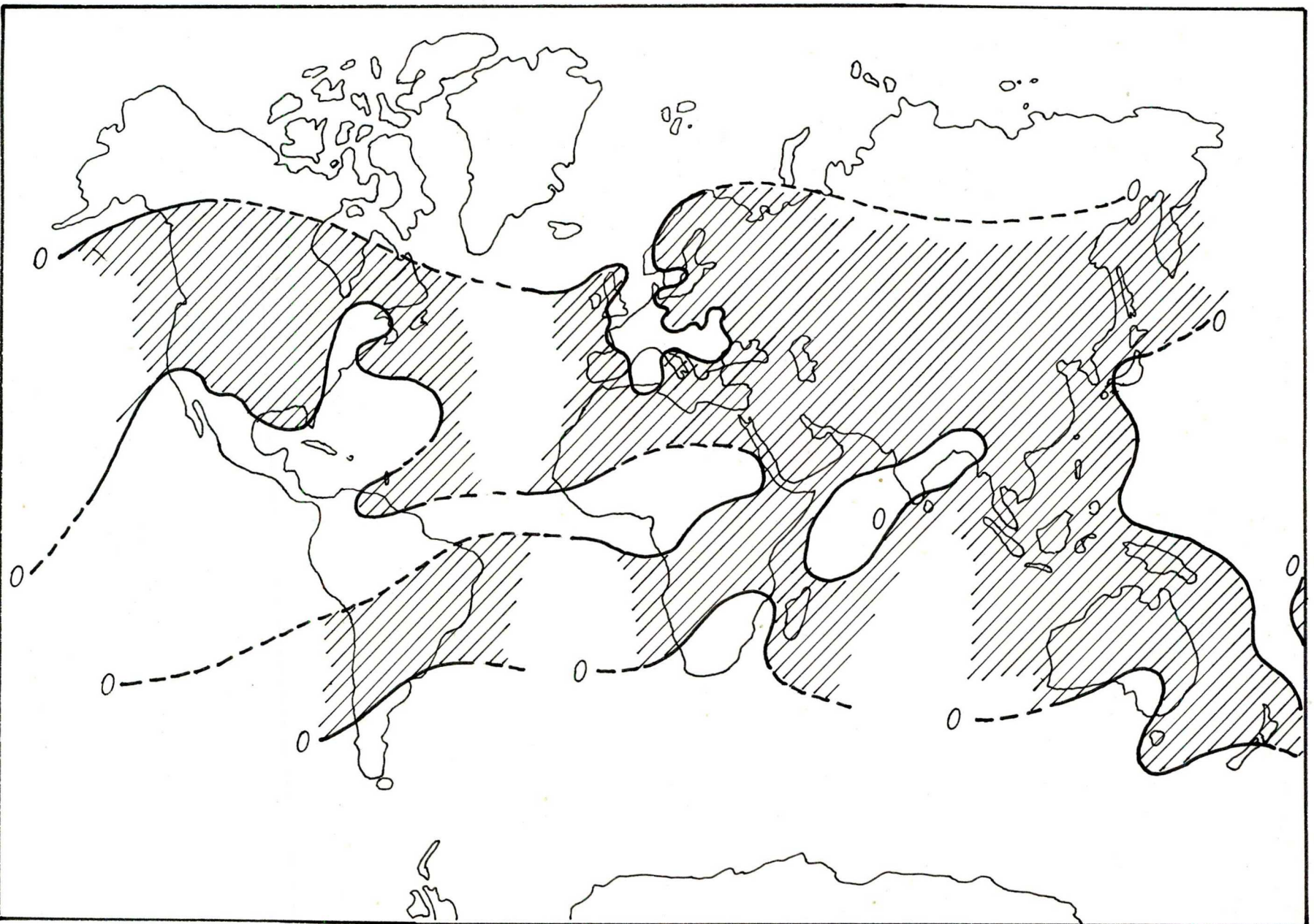
gyes állomásokat külön-külön megnézve is azt tapasztaltuk, hogy igen kicsiny a változás mértéke, hisz 10,2 ezreléknél nagyobb arányú növekedés és -5,8 ezreléknél nagyobb arányú csökkenés sehol sem volt felfedezhető.

Trendanalízisünk második részeként, miután megvizsgáltuk a teljes 1891-1970 közötti időszak trendértékeinek területi változásait, azt is elemezni kívántuk, hogy időben hogyan változnak az egyes trendértékek nagyság és előjel szempontjából. Két részre bontva a teljes idősort megvizsgáltuk, hogy tapasztalható-e növekedés vagy csökkenés a második 40 év trendértékeiben az első 40 év értékeihez képest. Ha ugyanis kimutatható lenne egyértelmű növekedés vagy csökkenés, akkor ez azt jelentené, hogy 1931-1970 közötti időszak csapadékának alakulását befolyásolta a nagyipar világméretű elterjedése, az iparosodottság mértékének növekedése s ezzel párhuzamosan, ennek hatásaként a fokozott környezetszennyezés.

Ennek érdekében kiszámítottuk az 1891-1930 és 1931-1970 közé eső első illetve második időszak trendértékeit, s hasonlóan mint az 1891-1970 közötti idősor esetében ezeket az adatokat is kifejezzük az átlag ezrelékében, s az adatokat térképre vittük. A 30. ábra mutatja az 1891-1930 közötti időszak eltérő előjelű trendértékeinek területei megoszlását, a 31. ábra pedig az 1931-1970 közötti időszakét. Meghatároztuk a két 40 éves időszakra vonatkozó "világátlagokat" és a legnagyobb abszolútértékű trendeket is. Azt is megállapítottuk, hány esetben volt negatív illetve



30. ábra. Az 1891-1930 közötti időszakra vonatkozó különböző
előjeleű trendek területei. /sraffozott ter. = + trend/



31. ábra. Az 1931-1970 közti időszakra vonatkozó különböző
előjelű trendek területei /sraffozott ter. = + trend/

pozitív a trend előjele. Az eredmények az I. táblázatban találhatók.

I. táblázat

A csapadéktrendek jellemzői

Időszak	- trd. száma	+ trd. száma	világ- átl.	1.nagyobb növekedés	1.nagyobb csökkenés
1891-1930	53	63	0,02 ‰	22,3 ‰	-13,9 ‰
1931-1970	48	68	0,10 ‰	17,0 ‰	-10,4 ‰
1891-1970	52	64	0,44 ‰	10,2 ‰	-5,8 ‰

A második időintervallum trendadatai között több a pozitív előjeldű, s az un. világátlag is nagyobb. Ez azt bizonyítaná, hogy minimális értékkel ugyan, de nőtt a csapadék mennyisége a második időszakban az elsőhöz viszonyítva. Nem ennyire meggyőző azonban az eredmény ha részletesebben, állomásonként hasonlítjuk össze a trendértékeket. Az előjelek szempontjából elemezve a változást azt kapjuk, hogy 54 alkalommal megegyező a trend előjele a két időszakban /20 esetben negatív volt és negatív maradt, 34 esetben pozitív volt és az is maradt/, 62 alkalommal pedig megváltozott az előjele /34 állomásnál negatívból pozitív, 28-nál pozitívból negatív lett/. Kevés tehát azoknak az állomásoknak a száma, ahol az előjel pozitívvá vált /29,3%/, s alig több mint azoknak az eseteknek a száma, ahol viszont negatívvá vált az előjel /24,1%/. Az előjelváltozás négy-

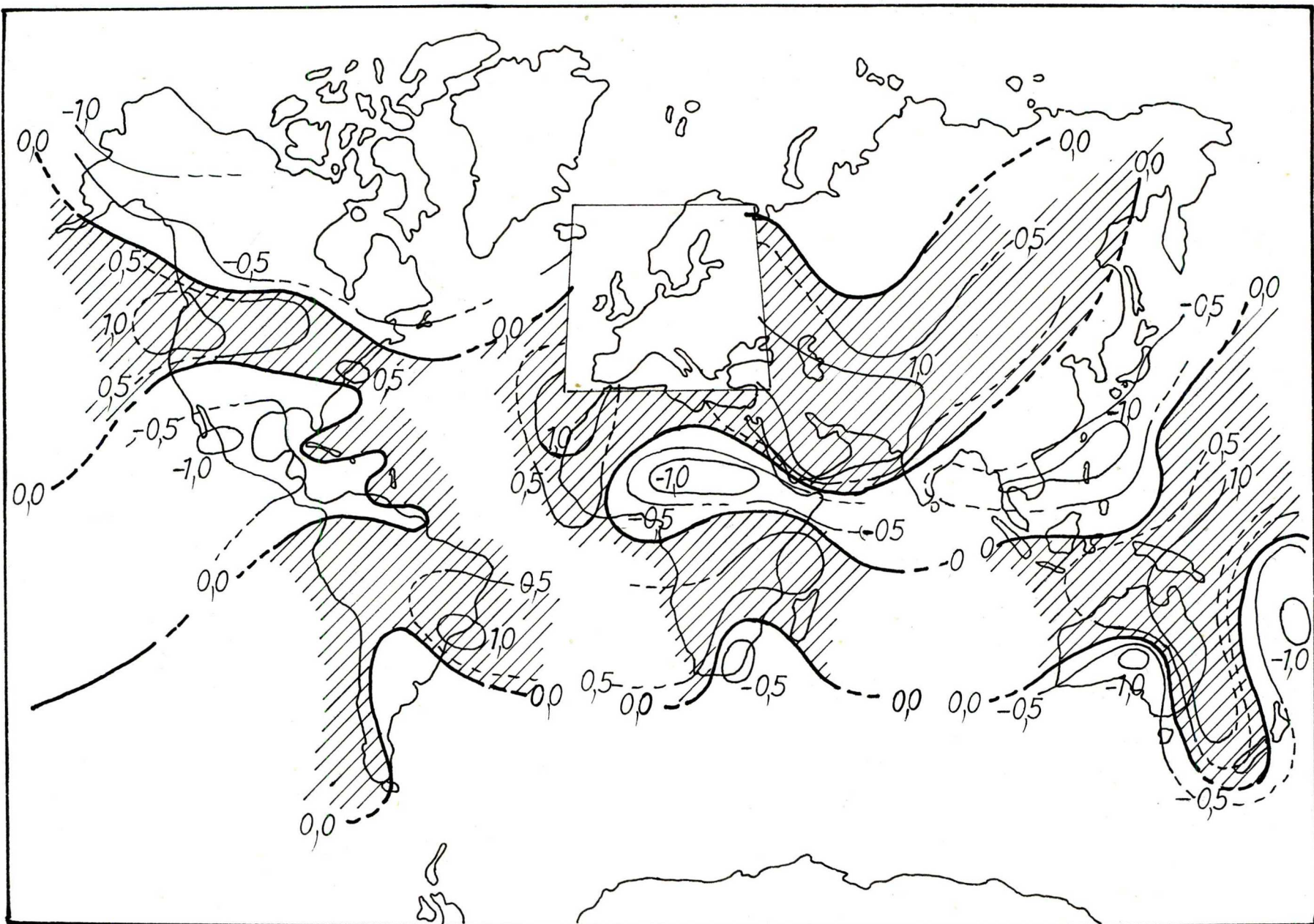
féle lehetséges fajtája $+ \rightarrow -$, $+ \rightarrow +$, $- \rightarrow -$, $- \rightarrow +$ / nem mutat nagy szórást, közel azonos a számuk, területi megoszlásuk pedig rapszódikus.

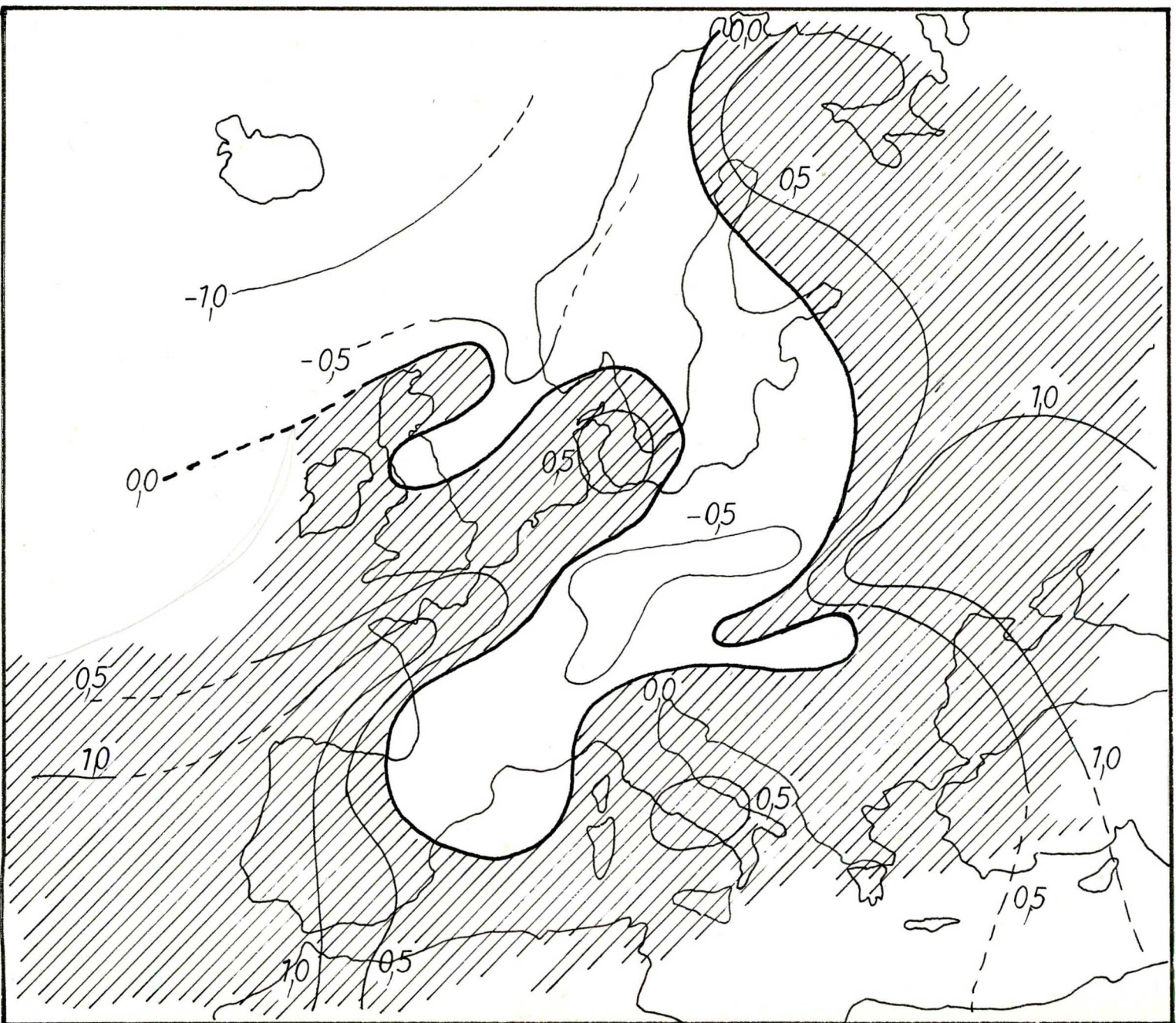
Összehasonlítottuk az két időszak trendértékeit aszerint is, hogy a trendérték nagyságát tekintve milyen különbség van az adatpárok között, azaz nagyobb lett-e a trend értéke, vagy kisebb. Térképre vittük a trendnövekedés illetve csökkenés területeit is /32.-33. ábra/. Az állapítható meg, hogy 62 esetben nőtt, 54 esetben csökkent a második 40 év trendértéke az első 40 év értékeihez képest. A legnagyobb növekedés 1,91 ezrelék, a legnagyobb csökkenés -2,11 ezrelék volt. A trendértékek növekedésének és csökkenésének területei földrajzilag jól elkülönülnek. Észak-Amerika középső részén, Északkelet-Afrikában, Ázsia középső vidékein, Dél-Amerikában, Afrikában és Ausztráliában kb. a D sz. 0-20 fok közötti vidéken végighúzódva találjuk a trendnövekedés területeit, Európában pedig Közép- és Észak-Európa kisebb területeit kivéve szinte mindenütt jellemző.

Trendvizsgálataink eredményeit összefoglalva az állapítható meg, hogy mind a teljes 1891-1970 közötti időintervallumra, mindpedig az ennek felbontásából adódó két időszakra nézve Földünk egészére enyhe csapadéknövekedés mutatható ki. Ez a növekedés azonban annyira kicsi, hogy gyakorlati szempontból elhanyagolható, s Földünk csapadékrendszere az elmúlt nyolc évtized során változatlannak tekinthető.



32. ábra. A trendnövekedés illetve csökkenés területei





33. ábra. A trendnövekedés illetve csökkenés területei Európában

A CSAPADÉKVÁLTOZÁS ÉS KÖRNYEZET- SZENNYEZÉS KÖZTI KAPCSOLAT VIZSGÁLATA

Napjainkban egyre gyakrabban merül fel e kérdés: befolyásolja-e éghajlati környezetünket az utóbbi évszázadban hatványozottan fokozódó emberi tevékenység. Lehet-e ez a befolyás olyan intenzív, hogy a klíma jellegét - esetleg károsan - megváltoztatja. E problémakör egy részére korlátozódva választ adhat a hosszú csapadéksorok trendjének elemzése, ami természetesen csak egy komponens alakulását vizsgálja az éghajlat számos összetevője közül.

Trendelemzésünk során már adódott az eredmény, hogy a Föld csapadékrendszere gyakorlatilag változatlanak tekinthető, ugyanis a kimutatott enyhe csapadéknövekedés elhanyagolható. Érdekes kérdés azonban, hogy ennek a valóban lényegtelenül kicsiny, de határozottan kimutatható csapadéknövekedésnek van-e, illetve mi lehet az indítóoka. Kapcsolatba hozható-e a környezet szennyeződésével?

Dolgozatunk harmadik fejezetében erre a kérdésre próbálunk választ adni.

A légköri szennyeződés ismert hatásai

A légkör fizikai jellemzői közül egyik legtágabb határok között változó mennyiség a levegő egységnyi térfoga-

tában levő szilárd vagy cseppfolyós aeroszol részecskék száma. Eredetük lehet természetes - pl. talajpor, vulkáni hamu, kozmikus por, növényi eredetű stb. - illetve mesterséges /főleg ipari szennyeződés, égéstermék, ipari termék stb./. Ezek az anyagok szünet nélkül belejutnak a levegőbe s ott eloszlának, felhigulnak. A koncentráció foka egy egyensúlyra törekvő folyamat állapotától függ: a szennyeződés és öntisztulás arányától. A felhalmozódással szemben hat ugyanis a szennyezőanyagok kimosódása a felhő és csapadék-elemek által, illetve a súlyosabb részecskék leülepedése és a felszíni akadályokon való kirakódása révén. A szennyeződés és az időjárási elemek szüntelen kölcsönhatásban vannak, a szél, a légtömegtípusok, légrétegződés, relatív nedvesség stb. befolyásolják a szennyeződés mértékét adott területen, és viszont. Az ember tehát befolyásolja a légkör állapotát, amennyiben állandóan és fokozódó mértékben szennyezi. Feltételezhető, hogy a természetes szennyeződés mértéke az utóbbi száz évben nem változott, a légszennyeződés fokozódása tehát mesterséges, antropogén szennyeződés rováására írható.

A légszennyeződés hatása kettősnek feltételezhető, s máig sem egyértelműen tisztázott. Jogos a feltételezés, hogy a szennyeződés, növelve a kondenzációs magvak mennyiségét egy adott térségben, stabilizálná a felhőt. Elméleti meghatározások alapján ugyanis a sok, apró cseppekből álló felhőből - a cseppek kis mérete miatt - nem hull olyan könnyen csapadék, mint a kevesebb számú, de nagyobb

méretű cseppekből álló felhőből. Ebben az értelemben a felhőalkotó magvacskák számának növekedése az esőképződés csökkenéséhez vezet. Hogy a légkörben milyen értékig terjed ez a gátló hatás, ismeretlen. A szennyezőrészecskék egy másik lehetséges hatása ellentétes értelmű: ha nagyméretű, oldódó részecskék kerülnek a felhőbe, akkor a csapadék növekedése következhet be.

Összegezve: jelenlegi ismereteink alapján nem tudjuk még kiszámítani, hogy a felhőtakaró és csapadékmennyiség milyen mértékben változott és változik most a szennyeződés világméretű növekedése következtében. [8.]

A város hatása az éghajlati elemekre viszont mérésekkel igazolt. [8.]

Éghajlati elemek	Összehasonlítás a vidéki környezettel
<u>1. szennyeződés</u>	
- kondenzációs magvak és részecskék	10-szer több
- légnemű szennyezőanyagok	5-25-ször több
<u>2. felhőzöttség</u>	5-10 %-kal több
<u>3. csapadék</u>	
- egészében	5-10 %-kal több
- 5 mm-nél kisebb csapadékú napok száma	10 %-kal több
- havazás	5 %-kal több

Indokolt hát feltételeznünk, hogy a csapadék alakulását mindenképpen befolyásolja valahogy a légszennyeződés.

Az elemzésben felhasznált adatok

Hogy a növekvő szennyeződés hatásának időbeli alakulását is figyelemmel tudjuk kísérni, nem csak a teljes idősorra határoztuk meg a trendek értékét, hanem kiszámítottuk az ún. "csúsztatott trendeket" is. Ez azt jelenti, hogy 1891-től kezdődően 3 évenként csökkentettük az idősor hosszát, azaz 1891, 1894, 1897, ... stb évekkal kezdődő időszakok trendértékeit számítottuk ki, összesen 21 különböző hosszúságú sorra, így a legrövidebb sor 1954 évvel kezdődött. A csúsztatott trendek értékeit a megfelelő adatsorok átlagának %-ben adtuk meg. Mindez azért történt, hogy ha az ugrásszerűen növekedő iparosodás, a gépkocsi-park gyors növekedése és a forgalom megtöbbszöröződése a légszennyeződés gyors növekedését idézte elő, ami pedig a csapadék nagyobb arányú változását okozta, akkor ez a jelenség a különböző hosszúságú időszakok trendértékeinek fokozottabb megváltozásában tükröződhet.

Vizsgálatunk következő lépéseként kellett keresnünk egy olyan mutatót, mely a szennyeződés mértékére utal. Ilyen mutatónak választottuk az egyes állomások azaz városok népességének számát. Nem tételezhető fel ugyan, hogy a városok népességszáma és a szennyezettség mértéke között egyenes arányosság áll fenn, de a nagy népességtömörülés maga is oka a szennyeződésnek /fűtés, kipufogó gázok/ és a népesebb városok rendszerint ipari centrumok is egyben, másrészt az ipari centrumok népességtömörítő hatásúak. Mivel a lineáris kapcsolat nem tételezhető fel, a városok né-



pességszáma mellett a népességszám logaritmusát és a népességszám négyzetgyökét is meghatároztuk, s felhasználtuk a szennyeződés mértékének mutatójául. Ha ugyanis pl. a városok nagyságrendjétől függ a szennyezettség, akkor a népességszám logaritmusa a megfelelő mutató.

A népességadatok az 1970 körüli évekre vonatkoztak. Nem azt vizsgáltuk tehát, hogy hogyan változott párhuzamosan a városok nagysága és a csapadék mennyisége, hanem hogy a mai városnagyság milyen kapcsolatban van a csapadékváltozással.

A kapcsolat meghatározásának módszere

A csapadékváltozást jelző csúsztatott trendek és a szennyeződés mértékét mutató népességszám adatok közötti kapcsolat szorosságának vizsgálatára a korrelációs számítást vettük segítségül.

A korrelációs számítás lényege az, hogy ha x és y két valószínűségi változó és a rájuk vonatkozó észlelésből álló n elemű mintákat $x_1, x_2, \dots, x_n$ -nel, illetve $y_1, y_2, \dots, y_n$ -nel jelöljük, akkor az x és y közötti kapcsolat szorosságát mérő r_{xy} /tapasztalati/ korrelációs együtthatót az

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

képlet értelmezi, melyben $\bar{x}$ és $\bar{y}$ az x_i illetve y_i elemek átlagát jelöli.

Az r_{xy} korrelációs együttható értéke -1 és 1 között változ-

hat. Az $r_{xy}=0$ esetben x és y korrelálatlanok, $r_{xy}=1$ esetén pedig x és y között lineáris kapcsolat áll fenn. Ha r_{xy} pozitív akkor pozitív, ha negatív, akkor negatív korrelációval van dolgunk.

Ha meg akarunk győződni arról, hogy a kapott korreláció megbízhatónak tekinthető-e, azaz véletlenszerű vagy reális összefüggésből adódott-e, különböző szignifikanciaszintekre kidolgozott küszöbszám táblázatok állnak rendelkezésünkre. Ezekből leolvashatók a korrelációs együtthatók küszöbszámai 5 illetve 1 %-os szignifikanciaszintekre vonatkozóan. [9.]

A korrelációs számítás előtt tehát minden egyes állomásra vonatkozóan 21 - különböző hosszúságú idősorhoz tartozó - trendérték és népességszám háromféle értéke állt rendelkezésünkre. Ezek után különbözőképpen csoportosítottuk az állomásokat, tekintettel arra, hogy eredményt várni főleg az egyes területekre vonatkozó vizsgálatoktól lehet, mivel a szennyezés helyi hatásnak, nem pedig globális méretű jelenségnek tekinthető.

Az említetteket Európa példáján bemutatva: Európa kontinensén 35 db állomás található:

Trendkezdeti évek	Trendértékek				
	1.	2.	3.	...	35.
	állomásra				
1.	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$		$x_{1,35}$
2.	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	$x_{2,3}$		$x_{2,35}$
⋮					
21.	$x_{21,1}$	$x_{21,2}$	$x_{21,3}$		$x_{21,35}$

Lakosság száma	1.	2.	3.	...	35.
	állomásokra				
1. 10 ezer fő	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$	$y_{1,3}$		$y_{1,35}$
2. log/lakos sz./	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$	$y_{2,3}$		$y_{2,35}$
3. lakos sz.	$y_{3,1}$	$y_{3,2}$	$y_{3,3}$		$y_{3,35}$

Korrelációértékek

Kezdőév	1.	2.	3.	...	21.
lakos sz.					
10 ezer fő	$r_{1,1}$	$r_{1,2}$	$r_{1,3}$		$r_{1,21}$
log/lakos sz./	$r_{2,1}$	$r_{2,2}$	$r_{2,3}$		$r_{2,21}$
lakos sz.	$r_{3,1}$	$r_{3,2}$	$r_{3,3}$		$r_{3,21}$

Ezen adatokból kiszámítottuk az 1. kezdőévhez tartozó trendértékek sora és a népességszám sora közötti korreláció

nagyságát, az 1. kezdőévhez tartozó trendértékek sora és a népességszám logaritmusának sora közötti, valamint az 1. kezdőévhez tartozó trendértékek és a népességszám négyzetgyökének sora közötti korreláció nagyságát. Folytatva az eljárást rendre meghatároztuk a 2., 3., stb. kezdőévekhez tartozó trendérték sorok és a népességadat sorok közötti korreláció mértékét is. Így egy kiválasztott területre $21 \times 3 = 63$ korrelációs együtthatót kaptunk, azaz 3 olyan korrelációérték sort, mely 21 tagot tartalmaz. / A népességszámhoz tartozó összes, a népességszám logaritmusához tartozó összes és a népességszám négyzetgyökéhez tartozó összes korrelációs érték, a kezdőéveknek megfelelő időrendi sorba rendezve./

Egy ilyen csoportosítást neveztünk a vizsgálat során egy esetnek.

Különbözőképpen csoportosítva az állomásokat és különböző eseteket létrehozva a területkijelölés típusai a következők voltak:

A típus: - kontinensenként csoportosítva az állomásokat /valamennyi együtt, egy kontinens, két kontinens együtt/

B típus: - a negatív trendű állomások szerint /negatív a trend a teljes 1891-1970 időszakra; valamennyi együtt, kontinensenként csoportosítva a negatív trendű állomásokat/

C típus: - pozitív trendű állomások szerint / a

teljes 1891-1970 időszakra pozitív;
valamennyi együtt, kontinensenként/

D típus: - szélességi körök szerint csoportosítva / É-i sz. 30 foktól északra, É-i sz. 30 fok és D-i sz. 30 fok között, D-i sz. 30 foktól délre; az előbbi területeken a negatív és a pozitív trendek szerint/

Igy összesen 93 eset adódott.

A korrelációszámítás eredményei

A korrelációszámításból eredő összes korrelációs értékből csak azokat az együttthatókat vettük figyelembe, melyek nagyobbak voltak mint az 5%-os szignifikanciaszint küszöbszámai, azaz a realitásuk valószínűsége nagyobb mint 95 %.

A megkülönböztetett 93 esetből 59 olyan eset fordult elő, ahol egyáltalán nem találtunk reális korrelációs együttthatót. Ez a szembetűnő eredmény arra int bennünket, hogy csak óvatos következtetéseket vonjunk le, hisz meglehetősen kevés azoknak az eseteknek a száma, ahol értékelhető együtttható van. /36,6%/ Ezen esetek közül egyesekben várható volt ez az eredmény, mert egymástól független és távol álló területeket vontunk össze a számításban /Európa és Ausztrália pl./, más esetekben azonban váratlan volt /pl. Európa pozitív trendű állomásai/.

A viszonylag kevés számú reális korrelációs együttthatót tovább elemeztük. A könnyebb érthetőség és áttekinthe-

tőség érdekében táblázatba foglaltuk különböző szempontok szerint az értékelhető együttthatók számát. II. táblázat.

A táblázatban a következő adatokat foglaltuk össze: Az első összefüggő oszlopban a trendszámítás kezdőéveit jelöltük. A táblázat többi részét öt egységbe tagoltuk. Az első egységben a kontinensek szerinti csoportosításnak / A / megfelelő reális korrelációs együttthatók száma van feltüntetve, az egyes kezdőéveknek és a lakosságszámból képzett mutatóknak megfelelően. /Tehát pl. a kontinensek szerinti csoportosításban a 19. kezdeti évhez tartozó trendértékek és a lakosság 10 ezer főben megadott száma közötti kapcsolat szorosságát jelző korrelációs együtttható 5 alkalommal fordult elő 95 %-nál nagyobb valószínűséggel. / Ha 99 %-os valószínűséggel is előfordult reális korrelációs együtttható, azt a következőképp jelöltük: 6/1, ahol 6 a 95 %-os valószínűségű együttthatók, 1 a 99 %-os valószínűségű együttthatók száma.

A második egységben a negatív trendek / B /, a harmadikban a pozitív trendek / C /, a negyedikben pedig a szélességi körök szerinti csoportosításból / D / származó együttthatók száma található. Végül az ötödik egységben összesítettük a korrelációs együttthatók számát aszerint, hogy mennyi reális együtttható található a népességszám, a népességszám logaritmus és négyzetgyöke és a megfelelő kezdőévek trendértékei között.

A táblázatban foglaltak szerint legtöbb reális korrelációs együtttható a negatív trendek szerinti csoportosítás-

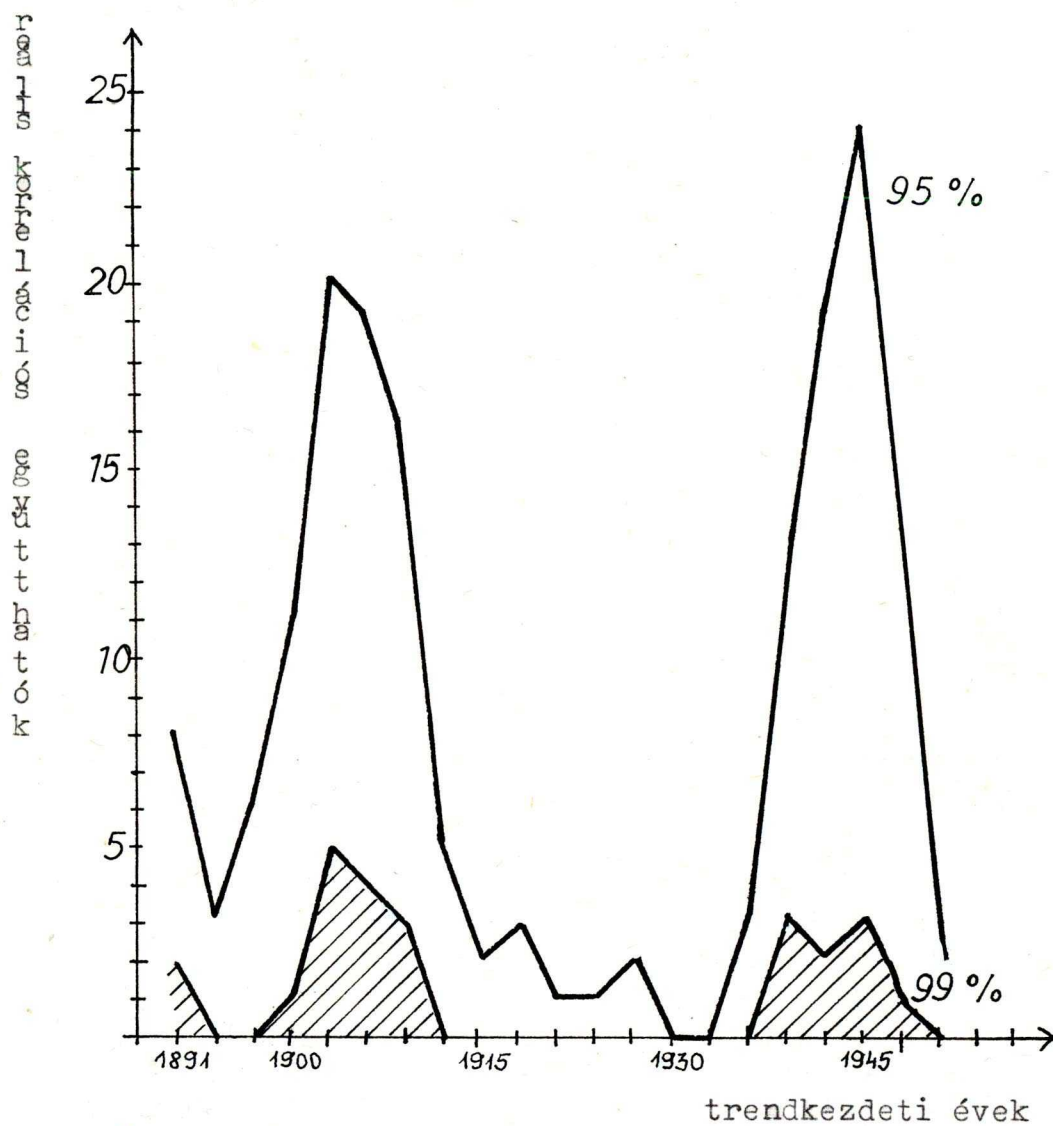


A reális korrelációs együtthatók összefoglaló táblázata

II. táblázat

Kez- dőév	A				B				C				D				A+B+C+D			
	Népességszám			Össz.	Népességszám			Össz.	Népességszám			Össz.	Népességszám			Össz.	Népességszám			Össz.
	fő	log	√		fő	log	√		fő	log	√		fő	log	√		fő	log	√	
1					1/1		1	2		4/1	1	5		1		1	1/1	5/1	2	8/2
2					1			1		2		2					1	2		3
3			1	1	1		1	2		3		3					1	3	2	6
4			1	1	2	2	2	6		2/1		2		1	1	2	2	5/1	4	11/1
5			1	1	3	6/1	3/2	12		2/1	3	5		1/1	1	2	3	9/3	8/2	20/5
6	1	1	2	4	3	3/1	3/1	9		2/1	1	3	1	1/1	1	3	5	7/3	7/1	19/4
7	1		2	3	3/1	2	3/1	8		2/1	1	3		1	1	2	4/1	5/1	7/1	16/3
8					1	2	1	4		1		1					1	3	1	5
9					1		1	2									1		1	2
10					1	1	1	3									1	1	1	3
11						1		1										1		1
12							1	1											1	1
13						1	1	2										1	1	2
14																				
15																				
16						1	2	3										1	2	3
17		1		1	2	3/2	4/1	9					1	1	1	3	3	5/2	5/1	13/3
18	1	1	2	4		3	1	4	4/2	1	4	9	1		1	2	6/2	5	8	19/2
19	5	1	3	9		1/1	1/1	2	5/1	1	4	10	1	1	1	3	11/1	4/1	9/1	24/3
20					1	1	1	3	7/1		4	11					8/1	1	5	14/1
21									1		1	2					1		1	2
Össz.	8	4	12	24	20/2	27/5	27/6	74/13	17/4	20/5	19	56/9	4	7/2	7	18/2	49/6	58/12	65/6	172/24

A 95 és 99 %-os valószínűségű korrelációs együtthatók száma



34. ábra

ből adódott, s a lakosságszám négyzetgyökéhez kapcsolódott a legtöbb elfogadható érték. Igaz azonban, hogy meglehetősen szerény ez az elsőbbség mindkét esetben.

Lényegesebb számunkra, s a feltett kérdésre adhatja meg a választ, hogy melyik trendkezdeti évhez tartozik a legtöbb elfogadható érték. A táblázat végén található összesítő oszlopból és az ebből rajzolt 34. ábrából is leolvasható, hogy két időponthoz kapcsolódva emelkedik meg a korrelációs együttthatók száma: az 5.-6. és a 18.-19. kezdőévekhez kapcsolódóan. Ez a tényleges kezdőéveket tekintve azt jelenti, hogy az 1903-1906-ban és 1942-1945-ben kezdődő idősorok trendértékei esetében fordul elő több szoros korreláció a népességszámmal. Ez az eredmény jelenthetné, hogy valóban befolyásolja a csapadék mennyiségét a század elején és a 40-es években fokozódó iparosodás és motorizáció, de az összes korrelációs értékhez viszonyított alacsony szám miatt csak fenntartással fogadhatjuk el ezt az eredményt.

A környezetszennyezés és csapadékváltozás közötti kapcsolat szorosságára vonatkozó vizsgálatunk végső eredményei tehát nem zárták ki továbbra sem a kapcsolat létezését, de a csapadékváltozás magyarázataként sem fogadhatók el a reális korrelációk alacsony száma miatt.

I R O D A L O M

- [1.] World Weather Records
U. S. Department of Commerce Enviromental Science
Services Administration, Washington
- [2.] Demographic Yearbook 1972.
United Nations, Department of Economic and Social
Affairs Statistical Office, New-York, 1973.
- [3.] Linkes Meteorologische Taschenbuch II. Band
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Porting K.-G.
Leipzig, 1953.
- [4.] Dr. Péczely György - Csomor Mihály: Magyarország nyári
csapadékának periódicitásai
MTA X. Osztályának Közleményei 6/1-4. 1973. pp 31-36.
- [5.] A. Koflanovits Erika: A csapadékmennyiség változékonyságának elemzése Közép-Európában
Az Országos Meteorológiai Szolgálat Kisebb Kiadványai
42. szám. Budapest, 1977.
- [6.] Koflanovits Erika: Hosszú csapadéksorok trendjének elemzése Európa területén
Időjárás, 1974. 2. sz. pp 88-96.
- [7.] Dr. Péczely György: Global Distribution of the Variability of Annual Precipitation Totals
Időjárás, 1977. 1. sz. pp 5-11.
- [8.] Inadvertent Climate Modification
Report of the Study of Man's Impact on Climate /SMIC/
The Massachusetts Institute of Technology 1971.

- [9.] Dr. Kindler József: Statistikai elemzés
NIM Ipargazdasági és Üzemtervezési Intézet,
Budapest, 1967.

FÜGGELÉK

I. táblázat

Az állomáshálózat tagjainak koordinátái

Állomás	Sor- szám	Szélesség			Hosszúság		
		égtáj	fok	perc	égtáj	fok	perc
Aberdeen	10	N	57	10	W	02	06
Adelaide	111	S	34	56	E	138	35
Aden	76	N	12	49	E	45	02
Agra	64	N	27	10	E	78	02
Alexandria	58	N	31	12	E	29	53
Alice Springs	105	S	23	38	E	133	37
Apia	101	S	13	48	W	171	46
Auckland	113	S	36	51	E	174	46
Batkurst	73	N	13	29	W	16	40
Berlin	14	N	52	27	E	13	18
Bermuda I.	52	N	32	23	W	64	41
Block Island	28	N	41	10	W	71	35
Bogota	83	N	04	36	W	74	05
Brisbane	106	S	27	28	E	153	02
Budapest	38	N	47	31	E	19	02
Buenos Aires	109	S	34	31	W	58	29
Bukarest	42	N	44	25	E	26	06
Cairo	48	N	37	00	W	89	10
Calgary	7	N	51	02	W	114	02
Cape Town	110	S	33	56	E	18	29

Állomás	Sor- szám	Szélesség			Hosszúság		
		égtáj	fok	perc	égtáj	fok	perc
Caracas	71	N	10	30	W	66	55
Christchurch	115	S	43	32	E	172	37
Colombo	88	N	06	54	E	79	53
Colombus	50	N	40	00	W	82	53
Cordoba	108	S	31	25	W	64	12
Cuttack	68	N	20	48	E	85	56
Darwin	39	S	12	28	E	130	51
Debrecen	33	N	47	33	E	21	37
Des Moines	26	N	41	32	W	93	39
Dodge City	47	N	37	46	W	99	58
Durban	104	S	29	51	E	31	03
Edinburgh	9	N	55	55	W	03	11
Entebbe	87	N	00	05	E	32	29
Eureka	46	N	19	23	W	116	12
Frankfurt	12	N	50	07	E	08	41
Freetown	85	N	08	29	W	13	09
Funchal	54	N	32	37	W	16	54
Georgetown	84	N	06	50	W	58	12
Guam	81	N	13	34	E	144	55
Haparanda	4	N	65	50	E	24	09
Havanna	65	N	23	08	W	82	22
Helsinki	5	N	60	10	E	24	57
Hobart	114	S	42	53	E	147	20
Hongkong	69	N	22	18	E	114	10



Állomás	Sor- szám	Szélesség			Hosszúság		
		égtáj	fok	perc	égtáj	fok	perc
Honolulu	62	N	21	19	W	157	52
Huron	24	N	44	23	W	98	13
Irkutsk	21	N	52	16	E	104	19
Kano	74	N	12	03	E	08	32
Khartoum	75	N	15	37	E	32	33
Koppenhága	13	N	55	38	E	12	40
Königsberg	18	N	54	43	E	20	30
Lagos	86	N	06	27	E	03	24
Leon	64	N	21	07	W	101	41
Lynchburg	51	N	37	20	W	79	12
Lisboa	55	N	38	53	W	09	08
Los Angeles	45	N	33	56	W	118	23
Luanda	91	S	08	51	E	13	14
Lyon	32	N	45	41	E	04	47
Lvov	40	N	49	50	E	24	01
Madras	78	N	13	04	E	80	15
Madrid	29	N	40	24	W	03	41
Mangalore	77	N	12	52	E	74	51
Manila	80	N	14	35	E	120	59
Marseille	31	N	43	18	E	05	23
Mazatlan	63	N	23	12	W	106	25
Milano	34	N	45	28	E	09	11
Montreal	27	N	45	30	W	73	35
Mosonmagyaróvár	37	N	47	53	E	17	16

Állomás	Sor- szám	Szélesség			Hosszúság		
		égtáj	fok	perc	égtáj	fok	perc
Moszkva	19	N	55	50	E	37	33
Nagasaki	60	N	32	13	E	129	53
Nemuro	44	N	43	20	E	145	35
Nome	1	N	64	30	W	165	24
Ocean I.	95	S	00	52	E	169	36
Oslo	3	N	60	12	E	11	05
Palma de Malorca	56	N	39	33	E	02	42
Paris	30	N	48	48	E	02	09
Pensacola	49	N	30	25	W	87	13
Peshawar	59	N	34	02	E	71	37
Ponta Delgada	53	N	37	44	W	25	40
Port Moresby	94	S	09	29	E	147	09
Port au Prince	70	N	18	34	W	72	22
Port Victoria	93	S	04	37	E	55	27
Prága	15	N	50	06	E	14	17
Punta Arenas	116	S	53	10	W	70	54
Rangoon	79	N	16	47	E	96	13
Rarotonga	102	S	21	12	W	159	49
Recife	90	S	08	04	W	34	53
Rio de Janeiro	103	S	22	54	W	43	10
Róma	35	N	41	54	E	12	29
Salisbury	91	S	17	48	E	31	05
San Jose	82	N	09	56	W	84	08
Santiago	101	S	33	27	W	70	42

Állomás	Sor- szám	Szélesség			Hosszúság		
		égtáj	fok	perc	égtáj	fok	perc
Sibiu	41	N	45	47	E	24	09
Sitka	6	N	57	04	W	135	19
Szt. Ilona	96	S	15	57	W	05	40
Stykkisholm	2	N	65	05	W	22	46
Suva	100	S	18	08	E	178	26
Sydney	112	S	33	52	E	151	13
Szverdlovszk	20	N	56	50	E	60	38
Tananarive	98	S	18	54	E	47	32
Taskent	43	N	41	20	E	69	18
Tatoosh Island	22	N	48	23	W	124	44
Tokyo	61	N	35	41	E	139	45
Trier	33	N	49	45	E	06	38
Trinidad	72	N	10	40	W	61	31
Tunis	57	N	36	48	E	10	10
Uppsala	17	N	59	51	E	17	38
Utrecht	11	N	52	06	E	05	11
Yap	89	N	09	31	E	138	08
Valentia	8	N	51	56	W	10	15
Veraval	66	N	20	54	E	70	22
Walla-Walla	23	N	46	02	W	118	20
Wien	36	N	48	15	E	16	22
Winnipeg	25	N	49	53	W	97	07
Wroclaw	16	N	51	08	E	16	59
Zanzibar	92	S	06	10	S	39	11

II. táblázat

A csapadéksorok trendjének értékei
az adatsor átlagának ‰-ében

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
1.	-1,4	0,6	-1,0
2.	0,4	0,1	-1,1
3.	5,5	0,5	0,4
4.	-0,7	-0,1	0,7
5.	-0,8	0,1	0,1
6.	1,4	0,4	0,2
7.	4,1	0,7	0,2
8.	1,2	0,4	0,3
9.	1,1	0,2	0,3
10.	0,9	0,4	-0,3
11.	1,3	0,1	0,3
12.	1,5	0,1	0,4
13.	3,1	0,6	-0,1
14.	1,2	-0,1	0,5
15.	1,5	0,3	0,1
16.	-0,8	0,3	-0,3
17.	-0,0	0,1	-0,3
18.	0,7	0,3	0,3
19.	0,8	-0,2	0,6
20.	1,1	-0,2	0,1

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
21.	-2,0	-1,1	0,2
22.	-2,1	-0,8	0,3
23.	-1,0	-0,1	0,6
24.	0,0	-0,4	0,2
25.	-0,2	0,0	0,0
26.	-1,3	0,0	-0,5
27.	-0,4	-0,7	0,2
28.	2,3	-0,2	0,5
29.	0,9	0,7	-0,4
30.	-1,4	-0,1	-0,4
31.	2,4	0,7	0,3
32.	1,4	0,4	-0,1
33.	-1,7	-0,5	-0,2
34.	-5,3	-0,4	0,6
35.	1,1	0,3	0,1
36.	-0,5	-0,3	-0,0
37.	-0,5	-0,3	-0,0
38.	-0,0	0,1	-0,3
39.	0,1	0,1	0,1
40.	-0,4	-0,5	0,8
41.	-1,4	-0,4	-0,2

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
42.	0,4	-0,1	0,2
43.	3,3	-0,1	0,4
44.	2,6	0,3	0,2
45.	0,7	-0,1	-0,4
46.	-1,9	-1,4	0,4
47.	-0,4	0,4	0,3
48.	3,3	0,2	0,5
49.	2,7	0,5	0,1
50.	0,4	0,0	0,5
51.	-1,9	-1,0	-0,5
52.	-1,8	-0,3	-0,1
53.	6,5	-0,3	0,8
54.	-2,4	-0,9	0,6
55.	0,5	-1,0	0,9
56.	-2,8	-0,2	-0,2
57.	3,0	0,2	0,4
58.	-2,2	-0,4	0,4
59.	1,7	0,0	1,0
60.	0,5	0,5	0,1
61.	-1,0	0,3	-0,3
62.	-2,7	-0,6	0,4
63.	2,5	0,4	-1,0
64.	0,9	0,4	-0,1
65.	-2,1	-0,4	-0,3
66.	10,2	-0,1	1,1

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
67.	4,0	0,1	0,6
68.	-0,1	-0,0	-0,3
69.	0,3	0,2	0,0
70.	-2,0	-0,1	-0,5
71.	0,9	-0,1	0,3
72.	0,8	-0,6	0,1
73.	-0,1	-0,6	0,1
74.	0,8	0,9	-0,5
75.	3,8	2,2	-0,1
76.	-3,0	-1,4	0,4
77.	1,2	0,2	-0,1
78.	0,1	0,6	-0,2
79.	1,0	0,2	0,1
80.	-0,0	0,1	0,3
81.	0,1	0,7	-0,7
82.	-0,0	-0,1	-0,5
83.	-5,8	-0,5	-0,4
84.	0,6	-0,1	-0,1
85.	-2,6	-0,8	-0,2
86.	-2,2	0,1	-0,1
87.	1,7	0,1	0,2
88.	4,1	0,3	0,2
89.	-0,0	0,0	-0,1
90.	6,5	0,0	0,4
91.	7,8	0,7	1,7

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
92.	0,3	-0,2	0,5
93.	-2,4	-0,1	-0,3
94.	5,7	-0,5	0,9
95.	-3,5	0,3	-0,4
96.	-3,5	-0,4	0,2
97.	0,5	-0,4	-0,1
98.	-0,1	-0,3	0,1
99.	0,5	-0,4	0,4
100.	-0,2	0,8	-0,4
101.	1,6	0,3	0,2
102.	0,2	0,2	-0,1
103.	0,6	-0,4	0,8
104.	-2,1	0,4	-0,4

Város	1891- 1970	1891- 1930	1931- 1970
105.	-2,7	0,5	-0,5
106.	-0,1	-0,9	0,4
107.	-0,0	0,1	0,3
108.	-0,3	0,2	0,1
109.	1,0	0,2	-0,0
110.	-2,2	-0,8	-0,2
111.	-1,5	0,1	-0,6
112.	1,2	-0,4	0,7
113.	2,4	0,8	0,2
114.	1,5	0,3	0,1
115.	-1,0	-0,3	-0,3
116.	1,6	-0,3	-0,3