Hozzájárulás az altalaj vizsgálatához a városi talajnyugtalanság alapján

*KARDEVÁN PÉTER**

A dolgozatban azt vizsgáljuk, hogyan lehet a városi talajnyugtalanság-regisztrátumokból kapott gyakoriság-görbék maximumai közül azokat kiválasztani, melyek rezonanciajelenség következtében alakultak ki.

В статье мы изучаем, как можно на основе записываний городских шумов возникшие в результате резонанса максьмумы выбрать.

Die physikalische Bedeutung der Maxima wird näher untersucht, die auf den bei der Verkehrsunruhemessungen gewonnenen empirischen Periodenhäuftigkeitskurven zu beobachten sind. Es wird eine Methode gegeben, mit deren Hilfe diejenige Maxima, die wegen einer Resonanzerscheinung aufgetreten sind, selektiert werden können.

1. Bevezetés

Az altalaj dinamikai tulajdonságait általában szeizmikus módszerekkel lehet eredményesen kutatni. Ennek a kutatási módszernek a segítségével megállapíthatjuk az altalaj egyes rétegeinek vastagságát, sűrűségét, az egyes rétegekben terjedő longitudinális és transzverzális hullámok terjedési sebességét. Ezeknek az adatoknak a felhasználásával levezethetjük az altalajban terjedő különböző rugalmas hullámtípusok és rezgések tulajdonságait, melyek egyben az altalajra jellemző dinamikai jellegzetességeket is magukba foglalják.

Az utóbbi másfél évtizedben azonban intenzív kutatás folyik azzal a céllal, hogy az altalaj dinamikai tulajdonságait a városi talajnyugtalanság segítségével határozhassák meg. Ennek oka az, hogy a módszer a gyakorlatban igen egyszerűen és gyorsan kivitelezhető méréseket igényel csupán, és így lényegesen olcsóbb is.

Már régóta megfigyelt tény, hogy sok esetben egyes altalajok bizonyos periódusú rezgések amplitúdóját megnövelik. Ezeknek az ún. rezonanciahelyeknek a meghatározása a városi talajnyugtalanság alapján sokszor nehézségekbe ütközik. Alapvető probléma annak megállapítása, hogy a periódus-gyakoriság-görbéken megfigyelhető maximumok közül melyek azok, melyek a rétegezettség következtében fellépő rezonanciajelenség hatására alakulnak ki. A városi talajnyugtalanságban előforduló és gyakorlati szempontból érdekes periódusok hozzávetőlegesen az *50 – 1 Hz*-es frekvencia tartományba esnek. Ezeknek a rezgéseknek a segítéségével az altalaj legfelső *20 – 30 m*-es összlete kutatható. Ha a felszínen ennél vastagabb homogénnek tekinthető réteg helyezkedik el, a fent említett frekvenciasávban nem várható rezonancia. A tapasztalat szerint azonban a talajelmozdulás időbeli függvényének *0*-átmeneti intervallumaiból meghatározott periódus-gyakoriság görbék ebben az esetben is rendelkeznek maximumokkal. A dolgozatban megmutatjuk, hogy a talajelmozdulás időbeli függvényének lokális szélsőértékei alapján meghatározott

* MTA GGKI Bp., XI. Meredek u. 18.

gyakoriságeloszlások segítségével a várakozásnak megfelelő eredményeket kapunk és így lehetőség van azoknak a gyakoriságmaximumoknak a kiszűrésére, melyek nem a rezonanciajelenség következtében alakultak ki.

2. *Konfidencia-intervallum számítása exponenciális eloszlás esetén*

A korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy a városi talajnyugtalanság-regisztrátumok kiértékelése során nyert, a talajelmozdulás időbeli függvényének lokális szélsőértékei alapján számított periódusok gyakoriság görbéi az exponenciális eloszlással bizonyos esetekben igen jól közelíthetők, míg a rezonanciahelyek megkeresésében alkalmazhatók az ún. redukált görbék [1], melyeket a gyakoriságértékek és az elméleti valószínűség értékek hányadosának kiszámításával kaphatunk. A statisztikus ingadozás következtében azonban a redukált görbék minden esetben rendelkeznek maximumokkal. Vizsgálataink pontosabbá tétele érdekében be kell vezetnünk egy konfidencia-paramétert, melynek segítségével megállapíthatjuk, hogy a gyakoriság-értékeknek az elméleti valószínűség-értékektől való eltérése csupán a statisztikus ingadozás következménye-e, vagy más fizikai okok is szerepet játszanak. Vizsgálatainkat két olyan területen regisztrált talajnyugtalanság-felvételeken végeztük, ahol nem vártunk rezonanciát.

Mint ismeretes, annak valószínűségét, hogy N számú méréssorozatban egy bizonyos τ_k esemény K-szor következzék be, a Bernoulli-eloszlás adja meg. Annak valószínűségét, hogy egy ilyen méréssorozatból kapott K érték a

$$K-\beta\sigma < K < \overline{K}+\beta\sigma \tag{1}$$

intervallumba esik, ahol

$$\overline{K} = Np_k\,, \quad \sigma = \sqrt{Np_k(1-p_k)}\,, \tag{2}$$

p_k a τ_k esemény bekövetkezési valószínűsége és
$\beta = 1, 2, 3\ldots$, a

$$P_N(\beta) = E(\beta/\sqrt{2})$$

függvény adja meg [2],
ahol

$$E(\beta/\sqrt{2}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\beta/\sqrt{2}} e^{-z^2}\,dz\,.$$

A konfidencia-paraméter

$$\varepsilon(\beta) = 1-E(\beta/\sqrt{2})\,.$$

A $\beta = 2$ értéket választva, $\varepsilon(2) = 0{,}04553$.

Az adott megbízhatósági szinten azt állíthatjuk, hogy annak valószínűsége, hogy egy adott esetben olyan K értéket kapunk, mely az (1) becslésnek ellentmond, *0,04553*. Más szóval *0,95447* a valószínűsége annak, hogy egy konkrét esetben a kapott K gyakoriságérték az elméleti érték körüli *2-szeres* szóráson belül esik.

Ezzel a megbízhatósági-paraméter-értékkel vizsgáltunk meg két különböző területen kapott gyakoriságeloszlásokat.

Esetünkben a τ_k események akkor következnek be, amikor valamely kimért t_k periódus érték a

$$\left((2k-1)^{\tau/2},\ (2k+1)^{\tau/2}\right) \quad k = 1, 2, \ldots n$$

intervallumba esik. Ennek valószínűsége p_k, a következő: [3]

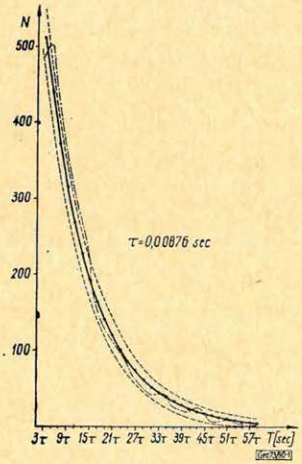
$$p_k = 2e^{-\alpha t_k^*} e^{\alpha \tau/2} sh\,(\alpha\,\tau/2) \tag{3}$$

ahol α az átlagperiódus reciproka.

N értékét figyelembe véve, mely esetünkben az óbudai mérésnél *1872*, a sashegyi mérésnél *2290 volt*, (2) és (3) segítségével kiszámíthatjuk az elméleti darabszámokat, ill. a *2-szeres* szórásnak megfelelő konfidencia-intervallumokat.

3. A mérési eredmények diszkussziója

Az *1. ábrán* az óbudai mérések eredményeit láthatjuk. Az eredményvonallal a lokális szélsőértékek alapján számított periódusok gyakoriság értékeit kötöttük össze. A kihúzott vonal az elméleti valószínűség-eloszlás, míg a szaggatott vonalak a *0,04553* konfidencia-paraméterek értékének megfelelő sávot jelölik ki. A jelölések a *2. ábrán* is ugyanezek.



1. ábra. Periódusgyakoriság-görbe és elméleti valószínűségeloszlás lokális szélsőértékekből számított periódus alapján az óbudai talajnyugtalanság-mérésekre vonatkozólag. Eredmény vonal: gyakoriság-görbe; kihúzott vonal; elméleti valószínűség eloszlás; szaggatott vonalak a kétszeres szórásnak megfelelő konfidencia sávot jelölik ki.

Рис. 1. Кривая повторяемости периодов и теоретическое распределение вероятностей по периодам, вычисленным по локальным предельным величинам при изучении микросейсмв гор. Обуда.

Штрихпунктир – кривая повторяемости;

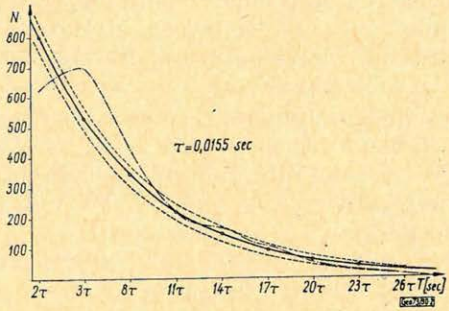
Сплоная линия – теоретическое распределение вероятностей;

Пунктирной линией выделена зона конфиденции, соответствующей двойному разбросу

Abb. 1. Periodenfrequenz-Kurve und theoretische Wahrscheinlichkeitsverteilung auf Grund von einer aus lokalen Extremen errechneten Periode für die Bodenunruhe-Messungen von Óbuda
Strichpunktierte Linie: Frequenzkurve
Ausgezogene Linie: theoretische Wahrscheinlichkeitsverteilung; Gestrichelte Linien: geben den der doppelten Streuung entsprechenden Konfidenzstreifen an

Az 1. ábrán láthatjuk, hogy az empirikus gyakoriság értékek a *0,13 – 0,51 sec* intervallumban mindenütt a kétszeres szórásnak megfelelő sávban helyezkednek el. Tehát a gyakoriság értékek nem mondanak ellent annak a feltételezésnek, hogy a periódusok ebben a sávban exponenciális eloszlást követnek. Ugyanerre a következtetésre juthatunk a 2. ábrán látható eredmények vizsgálatakor is, melyek a sashegyi méréssorozatra vonatkoznak. Itt a *0,25 – 0,4* sec-os intervallumban a gyakoriság értékek ingadozásai statisztikus ingadozásoknak tekinthetők. Ez megfelel a várakozásnak, mert Sashegyen is oly vastag-

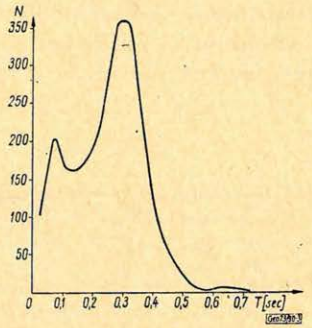
ságú homogén dolomit összlet található a mérési pont alatt, hogy a fenti periódus-tartományban nem várható a gyakoriság értékek rezonancia-jelenség következtében való lényeges eltérése az elméleti valószínűség értékektől. Itt



2. ábra. Periódusgyakoriság-görbe és elméleti valószínűség-eloszlás lokális szélsőértékekből számított periódusok alapján a sashegyi talajnyugtalanság-mérésekre vonatkozólag. Jelölések azonosak az 1. ábra jelöléseivel

Рис. 2. Кривая повторяемости периодов и теоретическое распределение вероятностей по периодам, вычисленным по локальным предельным величинам при изучении микросейсм в районе Шашхедь. Условные обозначения аналогичны рис. 1.

Abb. 2. Periodenfrequenzkurve und theoretische Wahrscheinlichkeitsverteilung auf Grund von aus lokalen Extremen errechneten Perioden für die Bodenunruhemessungen von Sashegy. Bezeichungen wie bei Fig. 1.



3. ábra. Periódusgyakoriság-görbe *0*-átmeneti intervallumokból számított periódusértékek alapján a sashegyi talajnyugtalanság-mérésekre vonatkozólag

Рис. 3. Кривая повторяемости периодов по величинам периодов, вычисленным по *0*-переходным интервалам при изучении микросейсм в районе Шашхедь

Abb. 3. Periodenfrequenzkurve auf Grund von aus *Zero*-Durchgängen errechneten Periodenwerten für die Bodenunruhemessungen von Sashegy

természetesen szignifikáns eltéréseknek azokat tekintjük, melyek a *0,04553* konfidencia-paraméter-értékhez tartozó konfidencia intervallumon kívül esnek. A kis periódusok tartományában megfigyelhető szisztematikus eltéréseket a megfigyelési ponthoz közel eső pontforrások egyedi hatása okozhatja.

A sashegyi méréssorozatot kiértékeltük úgy is, hogy az empirikus gyakoriság-görbét oly periódus-értékek alapján határoztuk meg, melyeket a talajelmozdulás időbeli függvénye 0-átmeneti intervallumainak kétszereseként definiáltuk. Az így kapott gyakoriság görbe a *3. ábrán* látható. Itt éppen abban a periódus-tartományban, ahol az előzőekben ismertetett gyakoriság-görbék a legjobban illeszkednek az elméleti eloszláshoz, éles maximumot találhatunk *kb. 0,3 sec*-nál.

Az elmondottak szerint ez a gyakoriság-maximum nem alakulhatott ki a rezonancia-jelenség következtében, egyszerűen a városi zaj domináns frekvenciáját jelenti az adott mérési helyen.

4. Végkövetkeztetések

A tapasztalat szerint az altalaj bizonyos periódusú rezgések amplitúdóját esetenként megnövelheti. Az, hogy mely periódusok amplitúdója növekszik meg és milyen mértékben, szoros összefüggésben van az altalaj legfelső réteg-

összletének rétegvastagságaival és az egyes rétegek szeizmikus keménységének egymáshoz való viszonyával. A hullámok természetétől függetlenül feltételezhetjük, hogy az amplitúdók növekedés-mértéke a réteghatárokon a felszínre visszaverődött energiamennyiség nagyságának függvénye, mely a rétegek szeizmikus keménységeinek egymáshoz való viszonyától függ. A megnövekedett amplitúdójú rezgés periódusa a rétegvastagság függvénye. A városi talajnyugtalanság, mint természetes rezgésforrás lehetőséget ad az altalaj dinamikai tulajdonságaianak tanulmányozására. A városi talajnyugtalanság rezgéseinek periódusai a működő elemi pontforrások felszíni sűrűségétől függő viszonylag nem túlságosan széles intervallumba esnek. Ez azt jelenti, hogy az altalaj dinamikai tulajdonságait csak bizonyos H mélységig vizsgálhatjuk a városi talajnyugtalanság segítségével. Ha a felszínen H-nál vastagabb homogén réteg található, a várható rezonanciahely kívül esik azon az intervallumon, melynek vizsgálatát a városi talajnyugtalanság lehetővé teszi. Ezeken a helyeken a lokális szélsőértékekből számított periódus-gyakoriság görbék exponenciális eloszlással közelíthetők. A gyakoriság értékek ingadozásai az elméleti érték körül statisztikus ingadozásnak tekinthetők ezekben az esetekben. Ez a tény teljes összhangban van az altalaj említett várható tulajdonságával és a zajforrás sajátosságával. A 0-átmeneti intervallumokból számított gyakoriság görbék ilyen esetekben is mutatnak maximumot. Ez a gyakoriságmaximum a zajforrásra jellemző és nincs köze a vizsgálataink tárgyát képező rezonanciahelyekhez.

IRODALOM

[1] *Kardeván, P.:* 1970. Az exponenciális eloszlás alkalmazása az altalaj rezonancia-frekvenci ának megkeresésére. Magyar Geofizika XII. évf. 2 – 3. sz.

[2] *Jánossy, L.:* 1968. Mérési eredmények kiértékelésének elmélete és gyakorlata. Akadémiai Kiadó.

[3] *Kardeván, P.:* 1973. Az exponenciális valószínűség-eloszlás illesztése empirikus gyakorisággörbékhez. Magyar Geofizika. (sajtó alatt).