

Procjena koda-Q faktora koda Q-metodom

HELENA LATEČKI, GF-104

Geofizički odsjek, PMF, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb

02. lipnja 2018.

Sažetak

Analizom 37 potresa na temelju modela jednostrukog raspršenja unatrag, procijenjen je koda-Q faktor za seizmološku postaju Ston. Obrada podataka izvedena je za šest središnjih frekvencija (1.5, 3, 6, 9, 12 i 18 Hz) i dva prozora duljine 25 s (jedan s početkom kode i drugi s početkom 10 s nakon početka kode). Za oblik ovisnosti faktora dobrote kode o frekvenciji korišten je izraz $Q_c = Q_0 f^n$. Uočeno je kako Q_c raste s povećanjem centralne frekvencije, te ovisi o prozoru kode koji se analizira. U pravilu, rezultati dobiveni za drugi prozor veći su od vrijednosti dobivenih za prvi prozor. Primijećeno je kako iznos faktora Q_0 raste s pomicanjem početka prozora kode koji se analizira, dok se vrijednost koeficijenta n smanjuje. Dobiveni rezultati potom su kvalitativno uspoređeni s rezultatima drugih autora. Zaključeno je da nema kolizije između izračunatih vrijednosti i prijašnjih istraživanja. Sva odstupanja istih mogu se pripisati činjenici da je pri obradi podataka korišten manji uzorak i drugačija metoda.

I. UVOD

Za analizu građe i fizikalnih svojstava sredstva i izvora te procjenu amplitude valova (samim time indirektno i seizmičkog hazarda), potrebno je poznavati atenuaciju seizmičkih valova. Atenuacija je pad amplitude koji se događa kada val prolazi realnim sredstvom. Općenito, pad amplitude valova posljedica je refleksije i transmisije na granicama različitih sredstava, geometrijskog rasprostiranja ili višestrukosti putanje valova, dok je seizmička atenuacija posljedica unutarnje neelastičnosti sredstva (intrinzična atenuacija) i pojave raspršenja (atenuacija zbog raspršenja). Raspršenje je elastički proces redistribucije energije vala refleksijom, refrakcijom i konverzijom na heterogenostima u sredstvu. Intrinzična atenuacija posljedica je uzastopne konvezijske potencijalne elastične i kinetičke energije valova u toplinu zbog trenja, termodinamičkih procesa ili viskoznosti. Atenuacija se opisuje faktorom dobrote Q :

$$\frac{1}{Q} = -\frac{\Delta E}{2\pi E'}$$

pri čemu se Q definira gubitkom energije ΔE unutar jedne oscilacije. E predstavlja najveću energiju deformacije u volumenu sredstva. Faktor dobrote općenito je funkcija frekvencije valova f , dubine h i gustoće materijala ρ : $Q = Q(f, h, \rho)$. Pri određivanju atenuacije, tj. Q -faktora, najčešće se koristi tzv. koda-Q metoda. Metoda se temelji na modelu jednostrukog raspršenja unatrag koji su predložili Aki i Chouet (1975), a pomoću nje se određuje faktor dobrote koda-valova Q_c . Koda-valovi lokalnih potresa (Δ do 100 km) dokaz su raspršenja seizmičkih valova, a predstavljaju "rep" seizmograma u kojem amplitude trnu gotovo pravilno eksponencijalno u vremenu. Na temelju obilježja koda-valova, Aki i Chouet (1975) odbacuju pretpostavku da su uzročnici njihova nastanka rasprostiranje sporih površinskih valova ili valova generiranih naknadnim potresima, te prihvaćaju model raspršenja unatrag. Jedan od specifičnih oblika tog modela jest model jednostrukog raspršenja unatrag. Prema njemu su koda-valovi nekoherentni valovi nastali superpozicijom ponajviše prostornih S-valova raspršenih na heterogenostima. Pritom se pretpostavlja da su heterogenosti nasumično i jednoliko raspoređene u homogenom poluprostoru, te koincidencija izvora i prijemnika.

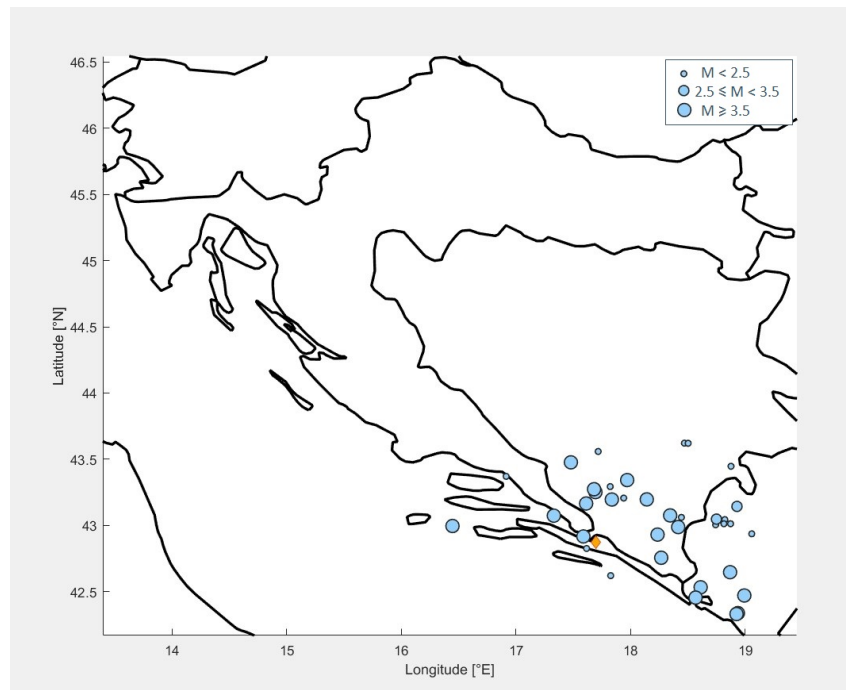
Pošto je raspršenje po ovome modelu relativno slab proces, provodi se i tzv. Bornova aproksimacija - zanemaruju se gubici energije primarnih valova i od višestrukog raspršenja. Faktor dobrote određen na ovaj način odražava ukupnu prosječnu atenuaciju cjelokupnog volumena sredstva kroz koje su se valovi rasprostirali:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_i} + \frac{1}{Q_{sc}}.$$

Q_i se odnosi na intrinzičnu atenuaciju, a Q_{sc} na atenuaciju zbog raspršenja. Razdvajanje ova dva mehanizma može dati informacije o svojstvima i strukturi sredstva, ali u praksi se oni ne razlučuju. Koda-Q metodom najčešće se analiziraju visokofrekventni prostorni valovi, tj. S-koda frekvencija $f = 1 - 30$ Hz. Na taj način omogućuje se opažanje heterogenosti dimenzija 0.1 – 10 km u litosferi. Usprkos svoje jednostavnosti, model jednostrukog raspršenja unatrag još uvijek je jedan od najčešće korištenih modela pri razmatranju koda-Q faktora, pa je zato i ovdje korišten kao osnova za analizu atenuacije koda-valova okolnog područja seizmološke postaje Ston.

II. SEIZMIČKA AKTIVNOST PROMATRANOG PODRUČJA I PODATCI

Teritorij Hrvatske nalazi se u širem području konvergentne granice između Afričke i Euroazijske ploče. Obalno područje karakterizirano je interakcijom istočnih Alpa, Dinarida i Jadranske mikroploče. Uslijed djelovanja Afričke ploče, Jadranska mikroploča sudara se s Europskom na sjeveru (Alpe) i podvlači pod Dinaride na sjeveroistoku. Pojas najveće seizmičke aktivnosti obalnog dijela prostire se od Dinare prema Imotskom i dolini Neretve (Ston, Dubrovnik), te još dalje prema Crnoj Gori, uključujući i područje Metković-Stolac. Svi potresi događaju se u gornjoj kori (Dasović i sur. 2013).



Slika 1. Lokacije potresa korištenih u analizi. Epicentri potresa naznačeni su plavim kružićima, a postaja Ston označena je narančastim dijamantom.

Epicentri potresa koji su korišteni u analizi prikazani su na Slici 1. Promatrano je 37 potresa nastalih u periodu između siječnja 2014. i svibnja 2015. godine za postaju Ston ($42.8716^\circ N$, $17.6999^\circ E$). Seizmološka postaja opremljena je širokopojasnim digitalnim seizmografom koji bilježi tri komponente brzine (Z, N-S i E-W), a svi korišteni seizmogrami zapisani su s vremenskim intervalom uzorkovanja od $dt = 0.02$ (frekvencijom od 50 Hz). Promatrani potresi su uglavnom slabi, s magnitudama u intervalu $[2.03, 4.01]$, a najjači događaj momentne magnitude $M_W = 4.01$ zabilježen je 28. veljače 2015. godine u 8 h i 24 min u blizini Varoša (sjeveroistočno od Mostara, BiH). Dubine žarišta razmatranih događaja su u intervalu $[0.1, 18.4]$ km, a epicentralne udaljenosti su u intervalu $[9, 118]$ km. Dakle, svi promatrani potresi su lokalni, plitki potresi sa žarištem u Zemljinoj kori.

III. METODA RADA

Uz pretpostavku jednostrukog raspršenja unatrag, amplitude pojasno-filtriranih koda-valova, sa središnjom frekvencijom f , mogu se prikazati kao:

$$A(f, t) = S(f) \cdot t^{-\alpha} \cdot e^{-\frac{\pi f}{Q_c(f)} t},$$

pri čemu je $S(f)$ funkcija izvora (koja se smatra konstantnom za uski pojas filtriranja), t proteklo vrijeme koje se mjeri od vremena nastanka potresa, a α faktor geometrijskog rasprostiranja koji za prostorne valove iznosi $\alpha = 1$, a za površinske $\alpha = 0.5$. Q_c je faktor dobrote koda-valova, a eksponencijalni član je zapravo propagacijski član koji uključuje atenuaciju. Pomnoži li se ovaj izraz s t i potom logaritmirajmo, dobije se:

$$\ln[A(f, t) \cdot t] = \ln[S(f)] - \frac{\pi f}{Q_c(f)} t. \quad (1)$$

Faktor dobrote koda-valova Q_c može se odrediti iz nagiba pravca b dobivenog primjenom linearne regresije na izraz (1):

$$(1) \implies y = a + bx$$

$$Q_c(f) = -\frac{\pi f}{b}. \quad (2)$$

Na temelju mnogih istraživanja, ustanovljeno je da veličina Q_c s frekvencijom f raste eksponencijalno i to na sljedeći način:

$$Q_c(f) = Q_0 \left[\frac{f}{f_0} \right]^n. \quad (3)$$

Ovdje $Q_0 = Q_c(f = f_0 = 1 \text{ Hz})$ opisuje strupanj heterogenosti sredstva, a eksponent n se može povezati sa stupnjem tektonske aktivnosti i poprimati vrijednosti između $\langle 0, 1.2 \rangle$. Dakle, izraz (3) može se zapisati kao:

$$Q_c(f) = Q_0 f^n,$$

a daljnjim logaritmiranjem se dobije:

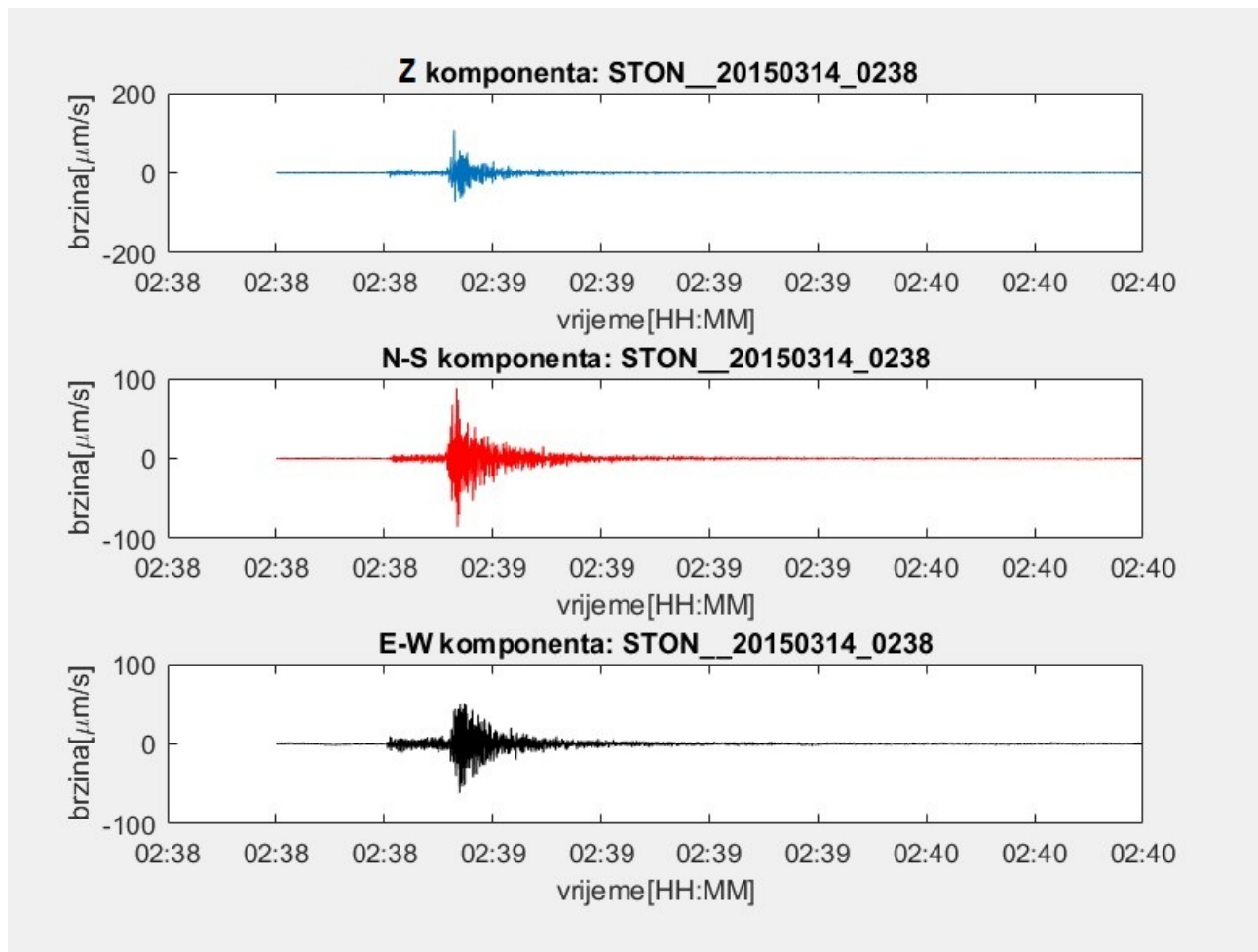
$$\ln[Q_c(f)] = \ln[Q_0] + n \cdot \ln(f). \quad (4)$$

Na parove $(f, Q_c(f))$ također se može primijeniti linearna regresija kako bi se odredili Q_0 i n :

$$(4) \Rightarrow y = a_0 + b_0 x$$

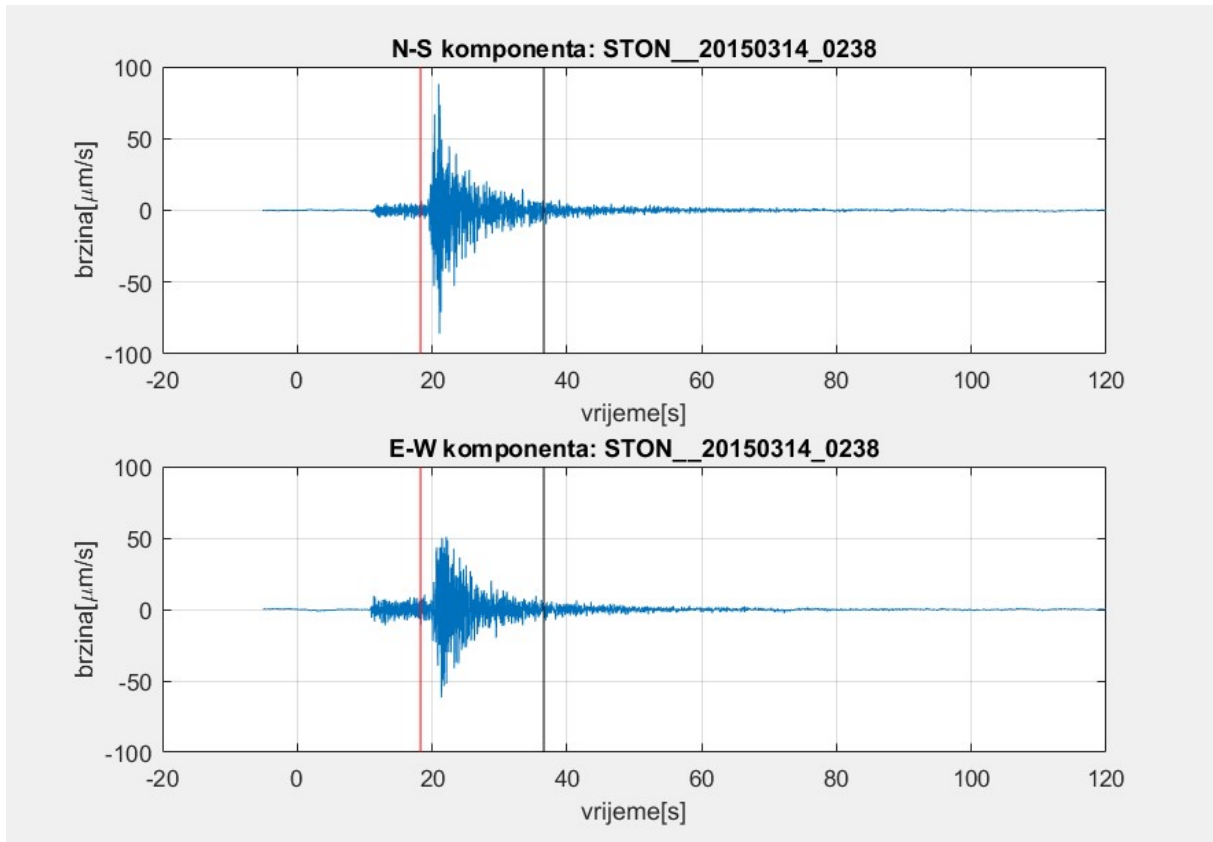
$$Q_0 = \exp[a_0], \quad n = b_0. \quad (5)$$

Cijeli postupak analize izveden je u programskom jeziku *MATLAB*. Primjer originalnog trokomponentnog (Z, N-S, E-W) seizmograma brzine prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Primjer originalnog seizmograma potresa koji se dogodio 14.03.2015. u 2 h i 38 min.

Kako bi se provelo pojasno filtriranje seizmograma, naprije je uklonjen linearni trend i srednjak. Apsolutno vrijeme svedeno je na hipocentralno vrijeme, tj. vrijeme računato od nastanka potresa (Slika 3).

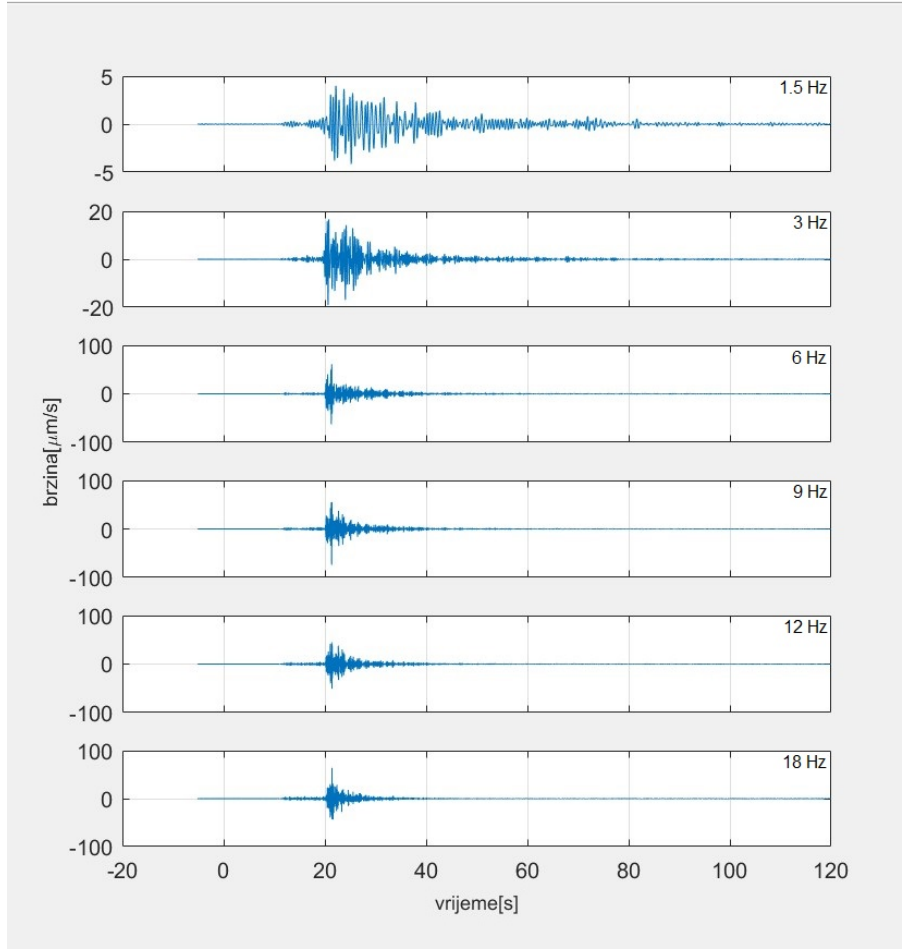


Slika 3. Primjer seizmograma potresa koji se dogodio 14.03.2015. u 2 h i 38 min s uklonjenim linearnim trendom i srednjakom. Crvene linije prikazuju početak, a crne linije dvostruko vrijeme od početka S-faze. Prikazane su samo N-S i E-W komponente jer su jedino one korištene u daljnjoj analizi.

Dobiveni seizmogrami potom su filtrirani Butterworthovim filtrom četvrtog reda (u tu svrhu korištene su funkcije *butter* i *filter*). Pri filtriranju se smiju koristiti samo frekvencije manje od Nyquistove $f_N = (2 \cdot dt)^{-1}$, tj. frekvencije upola manje od frekvencije uzorkovanja digitalnog seizmografa ($f_{uz} = 1/dt$) kako bi se izbjegao *aliasing* (preklapanje spektara). Korišten je niz uskih frekvencijskih pojaseva s graničnim frekvencijama $f \pm \Delta f$ pri čemu je f središnja frekvencija, a $\Delta f = \frac{2}{3}f$ (Tablica 1). Primjer filtriranog seizmograma za različite središnje frekvencije prikazan je na Slici 4.

Tablica 1. Tablica s frekvencijama korištenim pri filtriranju: f_d je donja granica, f_g gornja granica, a f središnja frekvencija pojasno-propusnog filtra.

f_d [Hz]	1	2	4	6	8	12
f [Hz]	1.5	3	6	9	12	18
f_g [Hz]	2	4	8	12	16	24



Slika 4. Pojasno-propusno filtrirana N-S komponenta seizmograma potresa koji se dogodio 14.03.2015. u 2 h i 38 min za različite središnje frekvencije.

Nakon filtriranja seizmograma, izračunata je ovojnica pomoću Hilbertova transformata. Hilbertov transformat pojasno-filtriranog signala $v_N(f, t)$ je:

$$H[v_N(f, t)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{v}_N(\omega, f) e^{-i\omega(t + |\frac{\pi}{2\omega}|)} d\omega.$$

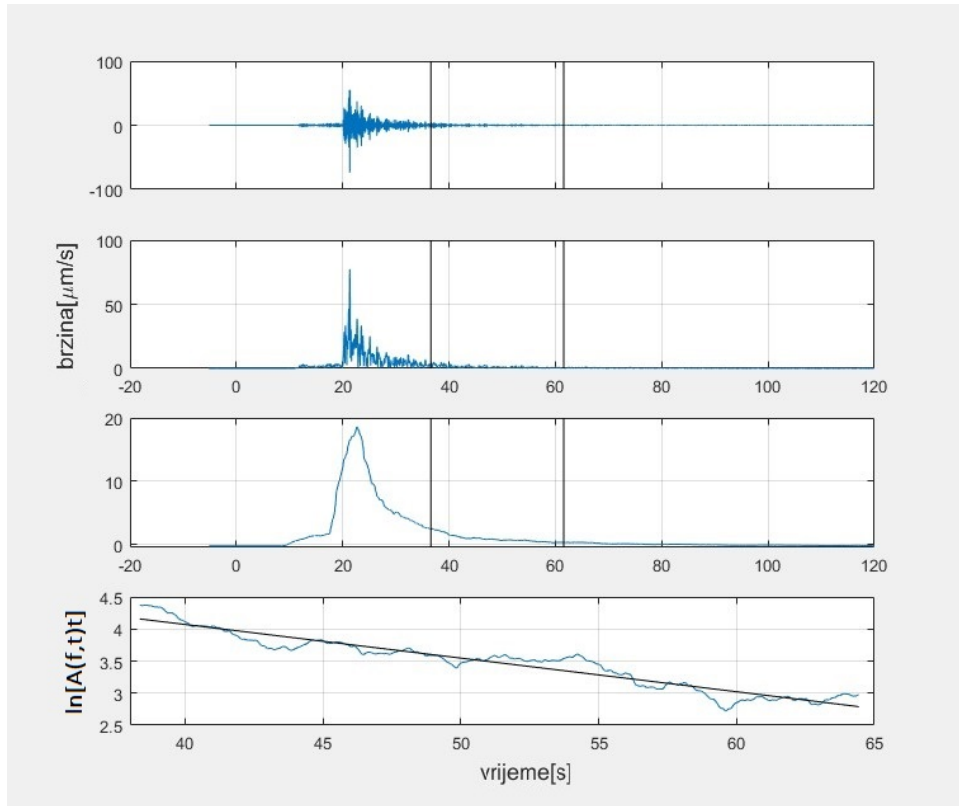
Između signala i njegovog Hilbertovog transformata postoji razlika u fazi $\pm \frac{\pi}{2}$, a sama ovojnica zapravo je tangencijalna krivulja na nizove amplitudnih šiljaka i može se prikazati kao:

$$A(f, t) = \sqrt{|v_N(f, t)|^2 + |H[v_N(f, t)]|^2}.$$

U tu svrhu korištena je funkcija *hilbert*, točnije, kako ona u sebi već sadrži $v_N(f, t)$, korištena je samo njezina apsolutna vrijednost. Dobivena ovojnica potom je još izgladnena korištenjem funkcije *smooth* uz klizni srednjak koji odgovara $5/dt$ broju podataka, te je uklonjen nemir oduzimanjem razine istog od ovojnice cijelog signala. Razina mikroseizmičkog nemira određena je iz dijela seizmograma koji prethodi nailasku P-valova kao srednja vrijednost ovojnice za vremenski prozor duljine od 5 s. Vrijeme nailaska P-valova određeno je pomoću izraza:

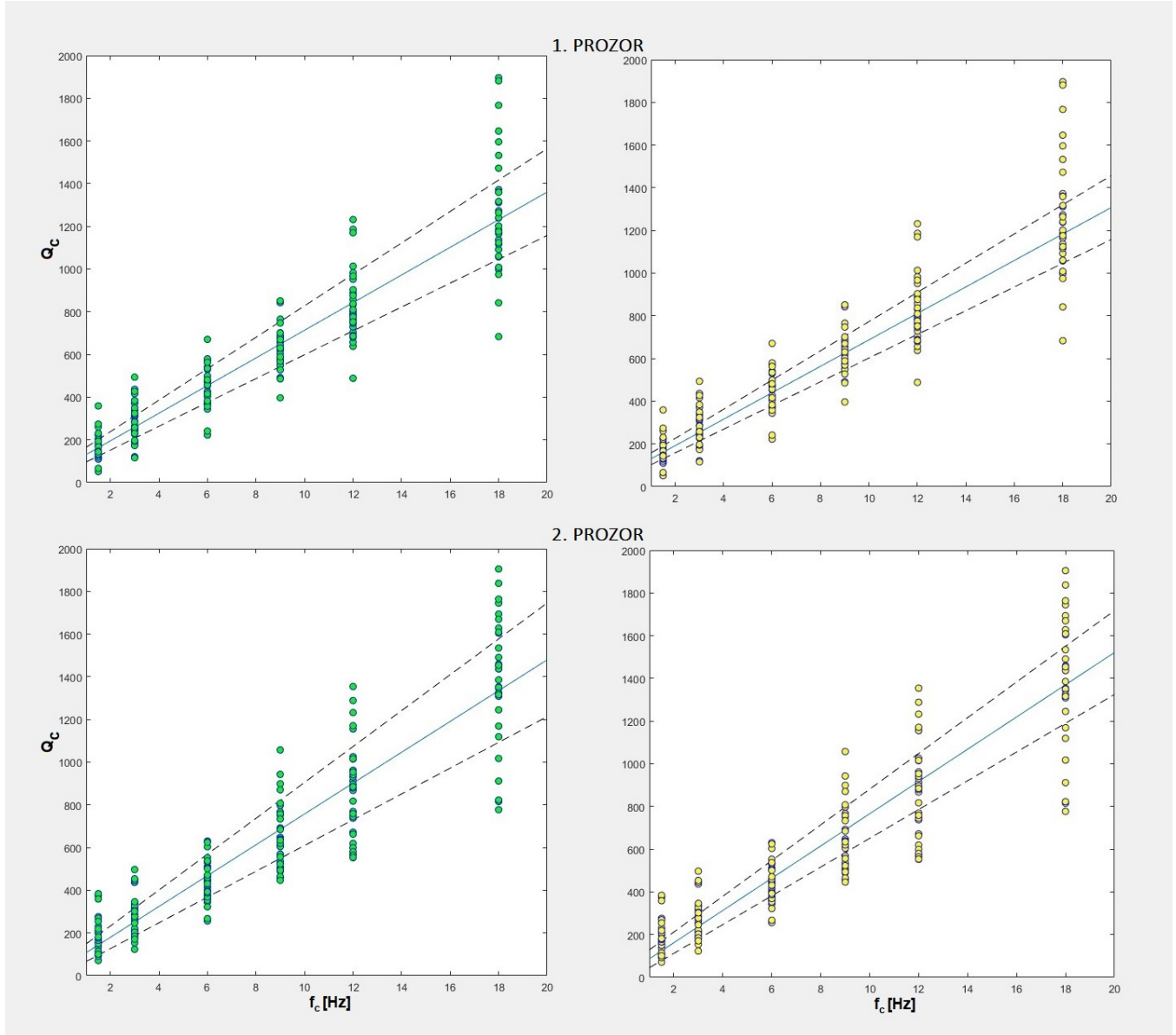
$$t_P = \frac{r}{v_P},$$

pri čemu je r hipocentralna udaljenost izračunata pomoću poznatih epicentralnih udaljenosti i dubina žarišta ($r = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$). v_P je brzina longitudinalnih valova ($v_P = \sqrt{3}v_S$; izraz vrijedi za Poissonov omjer $\sigma = 0.25$; pretpostavljena brzina S-valova iznosi $v_S = 3.5$ km/s). Nemir je uklonjen samo u slučaju kada je omjer signala i šuma $SNR \geq 2$, pri čemu je za vrijednost signala uzeta srednja vrijednost posljednjih 5 s promatranog prozora kode. Iz brojnih istraživanja uočeno je da vrijednost $Q_c(f)$ ovisi o dijelu kode koji se analizira. Kako bi se promotrla ta ovisnost, napravljena je analiza vremenskog prozora širine 25 s koji počinje s početkom kode i prozora koji počinje 10 s nakon početka kode. Za vrijeme početka kode uzeto je dvostruko vrijeme putovanja izravnog S-vala $2 \cdot t_S = 2 \cdot \frac{r}{v_S}$. Zatim je po izrazu (1) logaritmiran umnožak izglađene ovojnice i hipocentralnog vremena za promatrani prozor i pripadnu komponentu (N-S i E-W). Od dva dobivena niza $\ln[A_{N-S}(f, t) \cdot t]$ i $\ln[A_{E-W}(f, t) \cdot t]$ stvoren je jedinstveni skup (niz) na koji je primjenjena linearna regresija (MNK) kako bi se pomoću izraza (2) odredili faktori Q_c za svaki potres. Primjer postupka od provedbe Hilbertovog transformata do primjene MNK na logaritam umnoška ovojnice i hipocentralnog vremena prvog prozora nalazi se na Slici 5.



Slika 5. Primjer za potres koji se dogodio 14.03.2015. u 2 h i 38 min. Prvi graf prikazuje pojasno-filtriranu N-S komponentu sa središnjom frekvencijom od 9 Hz. Drugi graf predstavlja apsolutnu vrijednost Hilbertova transformata N-S komponente. Treći graf predstavlja izglađenu ovojnicu N-S komponente s uklonjenim nemirom. Četvrti graf prikazuje logaritam umnoška izglađene ovojnice s pripadnim MNK-pravcom u jedinstvenom skupu. Crni pravci na prva tri grafa prikazuju početak i kraj analiziranog prozora.

Za zadane središnje frekvencije, određene su medijalne vrijednosti faktora Q_c kako bi se uklonile stršeće vrijednosti (tzv. *outlieri*). Stršećim vrijednostima smatraju se one za koje je Q_c šest puta veći od svoje medijane vrijednosti. Za daljnje poboljšanje kakvoće skupa podataka, uklonjene su i vrijednosti koje se nalaze izvan interkvartilnog raspona $[q_1 - 1.5 \cdot iqr, q_3 + 1.5 \cdot iqr]$ (q_1 predstavlja donji kvartil, q_3 gornji kvartil, a iqr interkvartilni raspon). Potom su za svaki prozor izračunate srednje (Q_{cs}) i medijalne (Q_{cm}) vrijednosti koda-faktora te njihove standardne pogreške (Slika 6).



Slika 6. Q_c faktori za različite središnje frekvencije prikazani su obojanim kružićima. Na grafovima sa zelenim kružićima, plavi pravci predstavljaju srednje vrijednosti, a isprekidane linije njihove standardne pogreške ($\pm \sigma_s$). Na grafovima sa žutim kružićima, plavi pravci predstavljaju medijalne vrijednosti, a isprekidane linije pripadne nepouzdanosti ($\pm \sigma_m$).

Pomoću izraza (4), odnosno (5), za oba prozora izračunate su vrijednosti faktora Q_0 i koeficijenta n . Linearna regresija napravljena je za parove (Q_{cs}, f) i (Q_{cm}, f) . Odstupanja vrijednosti Q_0 i n određene su pomoću izraza:

$$\sigma_{b_0} = \sigma_n = \sqrt{\frac{1}{6} \left(\frac{\overline{y^2} - \bar{y}^2}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} - \bar{n}^2 \right)},$$

$$\sigma_{a_0} = \sigma_n \sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2},$$

$$\sigma_{Q_0} = \sigma_{a_0} \cdot e^{a_0},$$

pri čemu:

$$x = \sum_{i=1}^6 f_i, \quad x^2 = \sum_{i=1}^6 f_i^2,$$

$$y = \sum_{i=1}^6 \ln(Q_{cs,cm_i}), \quad y^2 = \sum_{i=1}^6 [\ln(Q_{cs,cm_i})]^2.$$

IV. REZULTATI

Srednje vrijednosti faktora Q_c s pripadnim standardnim pogreškama za oba prozora nalaze se u Tablici 2, a medijalne vrijednosti s pripadnim nepouzdanostima za oba prozora nalaze se u Tablici 3.

Tablica 2. Vrijednosti $Q_{cs}(f) \pm \sigma_s$ za oba prozora i središnje frekvencije.

	$Q_{cs} \pm \sigma_s$					
f [Hz]	1.5	3	6	9	12	18
1. prozor	164 ± 49	284 ± 69	447 ± 73	628 ± 76	826 ± 119	1251 ± 208
2. prozor	185 ± 62	279 ± 72	436 ± 74	641 ± 122	850 ± 187	1394 ± 246

Tablica 3. Vrijednosti $Q_{cm}(f) \pm \sigma_m$ za oba prozora i središnje frekvencije.

	$Q_{cm} \pm \sigma_m$					
f [Hz]	1.5	3	6	9	12	18
1. prozor	143 ± 30	274 ± 50	453 ± 71	623 ± 57	791 ± 86	1193 ± 151
2. prozor	174 ± 50	268 ± 59	431 ± 63	620 ± 113	874 ± 147	1436 ± 173

Budući da je korišten relativno malen uzorak (37 potresa), raspršenost podataka, tj. nepouzdanost σ , nešto je veća od očekivane. Nadalje, može se uočiti da je za procjenu Q_c faktora bolje koristiti medijan nego srednju vrijednost jer $\sigma_m < \sigma_s$, tj. medijan, kao robusna mjera najvjerojatnije vrijednosti, daje dobru procjenu i za podatke koji ne slijede normalnu razdiobu. Dobivene vrijednosti Q_c faktora za područje oko seizmološke postaje Ston općenito rastu s povećanjem centralne frekvencije kao što je i očekivano prema izrazu (3). Takva ovisnost uobičajno se objašnjava raspodjelom raspršivača različitih veličina u Zemljinoj unutrašnjosti ili npr. u kontekstu geometrijske atenuacije u kombinaciji s frekventno nezavisnim intrinzičnim Q_i -faktorom (Dasović i sur., 2012). Dobivene

vrijednosti faktora Q_c ovise i o prozoru kode koji je analiziran, pa je pri kvantitativnoj usporedbi s drugim istraživanjima potrebno biti na oprezu. Konkretno, može se uočiti da u slučaju analize drugog prozora, za većinu frekvencija (osim kada $f = 3$ i 6 Hz), Q_c poprima veće vrijednosti. Odstupanja za $f = 3$ i 6 Hz najvjerojatnije su posljedica činjenice da je korišten relativno malen uzorak podataka. Općenito, svojstvo da Q_c ovisi o prozoru kode koji se analizira, nije u skladu s teorijom Akija i Choueta (1975) te još uvijek nema konzistentne teorije koja bi to objasnila. Većina autora (npr. Dainty i Toksöz, 1981) se slaže s objašnjenjem kako je povećanje iznosa faktora Q_c s vremenom zapravo odraz povećanja iznosa Q_c s dubinom, jer valovi koji zahvaćaju veće dubine nailaze na seizmološku postaju kasnije. Homogenost sredstva u dubljim dijelovima kore veća je od homogenosti u pličim dijelovima - dakle, raspršenje na većim dubinama manje je izraženo, a samim tim manje je izražena i frekvencijska ovisnost faktora Q_c (Dasović, 2009). Rezultati dobiveni promatranjem svojstva ovisnosti faktora Q_c o frekvenciji f (vrijednosti Q_0 i n) prikazani su u Tablicama 4 i 5.

Tablica 4. Vrijednosti mjere homogenosti $Q_0 \pm \sigma_{Q_0}$.

	$Q_0 \pm \sigma_{Q_0}$	
MNK za:	Q_{cs}	Q_{cm}
1. prozor	115 ± 2	104 ± 2
2. prozor	121 ± 5	111 ± 5

Tablica 5. Vrijednosti mjere za frekvencijsku ovisnost $n \pm \sigma_n$.

	$n \pm \sigma_n$	
MNK za:	Q_{cs}	Q_{cm}
1. prozor	0.80 ± 0.03	0.83 ± 0.02
2. prozor	0.79 ± 0.05	0.83 ± 0.05

Q_0 i n pokazuju ovisnost o prozoru kode koji se analizira. Može se uočiti da se Q_0 povećava, a n smanjuje pomicanjem početka promatranog prozora kada se za obradu podataka koriste srednje vrijednosti faktora Q_c . Vrijednost od n , u slučaju obrade medijana faktora Q_c , jednaka je za oba prozora što je najvjerojatnije posljedica činjenice da je pri analizi korišten relativno maleni uzorak podataka. Simetričnost između rasta/pada veličina Q_0 i n posljedica je odabira referentne frekvencije u izrazu (3): $f_0 = 1$ Hz. Za drugačiji odabir referentne frekvencije, Q_0 bi se povećavao i smanjivao zajedno s vrijednošću n . Nadalje, ovisnost Q_0 i n o prozoru kode koji se analizira uočena je u mnogim istraživanjima diljem svijeta. Najčešće se objašnjava ovisnošću intrinzičnog faktora Q_i o dubini i raspodjele heterogenosti u sredstvu, ovisnošću seizmičkih brzina o dubini, višestrukim raspršenjem ili kombinacijom svega navedenog (Dasović i sur. 2012).

V. DISKUSIJA

Jedan od nedostataka ove metode je činjenica da je zbog korištenja različitih širina vremenskih prozora, centralnih frekvencija i širina pojasa pri filtriranju seizmograma, podatke dobivene za različite dijelove svijeta od drugačijih autora, teško kvantitativno uspoređivati. Unatoč tome, dobiveni podatci se mogu kvalitativno usporediti.

E. Giampiccolo i sur. objavili su svoj rad 2004. godine, a istraživanje se odnosilo na područje

Jugoistočne Sicilije. Promatrana je ovisnost faktora Q_c , tj. Q_0 i n o proteklom vremenu pri čemu su korišteni vremenski prozori širine 15 – 50 s i korakom od 5 s za 150 lokalnih potresa iz razdoblja od 1994 do 2001. Prikazana je ovisnost faktora Q_c i Q_0 o proteklom vremenu i uočeno je kako frekvencijska ovisnost n u svim slučajevima ima isti iznos $n = 0.90$, dok se njegova nepouzdanost smanjuje sa širinom vremenskog prozora (s 0.06 na 0.03). Q_0 faktor poprima vrijednosti u rasponu od 56 do 94. Usporede li se te vrijednosti s dobivenim vrijednostima za postaju Ston, može se zaključiti da su područja vrlo slične tektonske aktivnosti i seizmičnosti.

I. Dasović i sur. objavili su rad 2012. godine na temu atenuacije koda-valova za kontaktnu zonu između Dinarida i Jadranske mikroploče. Frekvencijski ovisan koda-Q faktor oblika $Q_c = Q_0 f^n$ procijenjen je na temelju analize 709 lokalnih potresa za sedam središnjih frekvencija, te za 21 sukcesivni prozor kode duljine 30 s. Uočeno je kako vrijednosti Q_0 za centralna vremena analiziranih prozora t_L od 20 – 50 s rastu od 68 – 353, dok za t_L od 90 – 100 s, Q_0 poprima vrijednosti između 158 – 373. Vrijednosti koeficijenta n variraju između 0.46 – 0.89. Također, uočeno je da se prilikom rasta vrijednosti Q_0 iznos od n smanjuje i vice versa, te da se Q_0 i n stabiliziraju za t_L veći od 50 – 80 s. Dakle, zaključci i rezultati dobiveni na temelju analize 37 potresa za postaju Ston, u skladu su s ovim radom.

Nepouzdanosti dobivene u ovoj analizi relativno su velike u odnosu na one dobivene kod drugih autora. Najvjerojatnije je tome razlog da je pri obradi korišten značajno manji uzorak podataka. Osim očite velike razlike u količini analiziranih podataka, ostala odstupanja mogu imati više različitih uzročnika: drugačija obrada podataka (npr. Giampiccolo i sur. pri računu ovojnice kode koriste RMS metodu, Dasović i sur. koriste sve tri komponente seizmograma za račun Q_c , u izgladivanju koriste drugačiji klizni srednjak i razinu mikroseizmičkog nemira itd.), detaljnija analiza ovisnosti faktora Q_c o vremenskim prozorima kode (u ovome radu promotrena su samo dva prozora), područje na koje se odnosi istraživanje je drugačije (kao što je u slučaju rada Giampiccola i sur.) i sl. Bez obzira na to, može se reći da dobiveni rezultati nisu u koliziji, već prate trend drugih opsežnijih istraživanja.

VI. ZAKLJUČAK

Pri procjeni koda-Q faktora za seizmološku postaju Ston, korišten je model jednostrukog raspršenja unatrag koji su predložili Aki i Chouet 1975. Analiza je provedena na 37 potresa za šest središnjih frekvencija i dva prozora duljine 25 s: jedan s početkom kode i drugi s početkom 10 s nakon početka kode. Pri razmatranju frekvencijske ovisnosti faktora dobrote kode pretpostavljeno je da vrijedi $Q_c = Q_0 f^n$, te je uočeno da isti raste s povećanjem centralne frekvencije. Također, zapaženo je da Q_c ovisi i o prozoru kode koji se analizira, odnosno rezultati dobiveni za drugi prozor u pravilu su veći od onih za prvi prozor. Nadalje, primijećeno je kako Q_0 također raste s pomicanjem početka prozora kode koji se analizira, dok se vrijednost koeficijenta n smanjuje. Usporedbom dobivenih rezultata s drugim istraživanjima zaključeno je da se relativno dobro slažu, a sva odstupanja mogu se pripisati činjenici da je pri obradi primijenjena drugačija metoda te da je korišten značajno manji uzorak podataka.

LITERATURA

Aki, K., Chouet B. 1975. Origin of Coda Waves: Source, Attenuation, and Scattering Effects, članak, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653416/mod_resource/content/1/Aki_and_Chouet-JGR_1975.pdf (03. lipnja 2018.)

Dasović, I., 2009. Analiza koda-valova na području Stona i širem području otoka Hvara, diplomski rad, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653517/mod_resource/content/1/Iva_Dasovic_-2009-diplomski.pdf (03. lipnja 2018.)

Dasović, I., Herak, M., Herak, D. 2012. Attenuation of coda waves in the contact zone between the Dinarides and the Adriatic Microplate, članak, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653417/mod_resource/content/1/Dasovic_et_al-SGEG2012.pdf (03. lipnja 2018.)

Dasović, I., Herak M., Herak D. 2013. Coda-Q and its lapse time dependence analysis in the interaction zone of the Dinarides, the Alps and the Pannonian basin, članak, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653420/mod_resource/content/1/Dasovi%C4%87_et_al-JPCE_2013.pdf (03. lipnja 2018.)

Dasović, I., Koda-Q metoda, skripta i prezentacija za predavanja, pristupljeno na internetskim stranicama:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653414/mod_resource/content/1/Upute%20za%20Prvu%20doma%C4%87u%20zada%C4%87u%20-%20rukopis%20-%202017-2018.pdf (03. lipnja 2018.)
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653410/mod_resource/content/2/Koda-Q%20metoda%202017-2018.pdf (03. lipnja 2018.)

Giampiccolo, E., Gresta, S., Rascona, F. 2004. Intinsic and scattering attenuation from observed seismic codas in Southeastern Sicily (Italy), članak, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1653423/mod_resource/content/1/Giampiccolo_et_al-PEPI_2004.pdf (03. lipnja 2018.)

Herak, D., Koda valovi lokalnih potresa i osnove teorije raspršenja elastičkih valova u nehomogenom sredstvu, skripta za predavanja, pristupljeno na internetskoj stranici:
https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1641975/mod_resource/content/2/Skripta-Koda_valovi-DH.pdf (03. lipnja 2018.)