Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) te projektne vrijednosti maksimalnog potresa prema Eurokodu 8

Šimunić, Patrick Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:506425

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) te projektne vrijednosti maksimalnog potresa prema Eurokodu 8

Šimunić, Patrick Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:506425

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-05**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

PATRICK JOSIP ŠIMUNIĆ

VIŠEKANALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA (MASW) TE PROJEKTNE VRIJEDNOSTI MAKSIMALNOG POTRESA PREMA EUROKODU 8

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

VIŠEKANALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA (MASW) TE PROJEKTNE VRIJEDNOSTI MAKSIMALNOG POTRESA PREMA EUROKODU 8

KANDIDAT:
PATRICK JOSIP ŠIMUNIĆ

MENTOR:
Izv.prof.dr.sc. STJEPAN STRELEC

NEPOSREDNI VOITELJ:
Doc.dr.sc. MARIO GAZDEK

VARAŽDIN, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

„Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) te projektne vrijednosti maksimalnog potresa prema Eurokodu 8„

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Izv.prof.dr.sc. Stjepana Streleca te Doc.dr.sc. Maria Gazdeka.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 07.09.2017.

Šimunić Patrick Josip

[redacted]

(Vlastoručni potpis)

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Vrste seizmičkih valova 2
2.1 Longitudinalni i transverzalni valovi 3
2.2 Površinski valovi 4
3. Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) 5
3.1 Vrste MASW metode 8
3.2. Izvor seizmičkog vala 9
3.3 Geofoni i geometrija snimanja 10
3.4 Disperzijska krivulja 13
3.5 Inverzija površinskih valova 16
4. Eurokod 8 19
4.1. Područje zanimanja dodatka EN 1998 – 1 Eurokoda 8 20
4.2 Osnovni kriteriji 21
4.3 Klasifikacija tla prema Eurokodu 8 24
5. Zaključak 25
6. Literatura 26
7. Prilozi 27
7.1 Popis slika 27
7.2 Popis tablica 28

Sažetak

Patrick Josip Šimunić, Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) te projektne vrijednosti maksimalnog potresa prema Eurokodu 8

Da bismo mogli projektirati i izgraditi građevine, a da na njih ne utječu potresne aktivnosti, potrebno je provesti seizmička istraživanja tla određene lokacije, napraviti klasifikaciju tla i odrediti projektne vrijednosti maksimalnog potresa kako je to propisano u Eurokodu 8. Da bismo to mogli odrediti potrebno je izmjeriti brzine posmičnih valova na zadanoj lokaciji preko koje možemo klasificirati tlo. Te brzine je moguće snimiti i ostalim geofizičkim metodama no zbog jednostavnijeg pristupa problemu MASW metoda je najuporabnija.

Ključne riječi: *Višekanalna analiza površinskih valova; Eurokod 8; potresi; širenje seizmičkih valova;*

Summary

Patrick Josip Simunich, Multichannel analysis of surface waves (MASW) and the design values of maximum earthquake by Eurocode 8

In order to design and construct buildings without affecting earthquake activity, it is necessary to conduct seismic research of specific locations, to make the soil classification and to determine the project values of the maximum earthquake as required by Eurocode 8. In order to determine the need to measure the speed shear waves at a given location through which we can classify the soil. This speed can be recorded with other geophysical methods, not because of the simplest approach to the problem the MASW method is most reliant on.

Key words*: Multichannel analysis of surface waves; Eurocode 8; earthquakes; spreading of seismic waves;*

1. Uvod

Višekanalna analiza površinskih valova (*dalje u tekstu MASW metoda, engl. Multichannel Analysis of Surface Waves*) je jedna od novijih metoda procjene krutosti tla i izračuna brzine širenja posmičnih valova koje dobijemo tako da smo prvotno proveli analizu površinskih valova [1].

Uz brzinu S valova, posmičnu brzinu koju dobijemo analizom površinskih valova se podosta veže europski standard za klasifikaciju tla zvan Eurokod 8: „Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija“ te vrijedi za proračun i konstrukciju zgrada i građevinskih radova u potresnim područjima. Prema tom se Eurokodu određuje klasifikacija tla u sedam tipova stratigrafskim profilom i s tri parametra: srednjom brzinom posmičnih valova na gornjih 30 metara tla ($V_{s,30}$), brojem udaraca standardnog penetracijskog pokusa (N_{spt}) i nedreniranom posmičnom čvrstoćom (c_u) [1][2].

2. Vrste seizmičkih valova

Što su to uopće seizmički valovi i kako oni nastaju?

Seizmički ili potresni valovi su prostorni, progresivni i elastični (longitudinalni i transverzalni) valovi koji se iz samog hipocentra[1] istodobno šire na sve strane. To je naša interpretacija, odnosno prihvaćeni model kojim opisujemo složenost pojava prijenosa mehaničkog naprezanja (i/ili deformacije) kroz vrlo složeni, strukturirani i najčešće heterogeni medij kao što je tlo, odnosno stijena. Možemo ih promatrati i analizirati kao seizmičke valove u neograničenoj homogenoj sredini (P i S-valovi) te kao valove koji se nalaze u blizini same granice elastičnog poluprostora (površinski valovi; Loveovi valovi (slika 2) i Rayleighevi (slika 3)) [1].

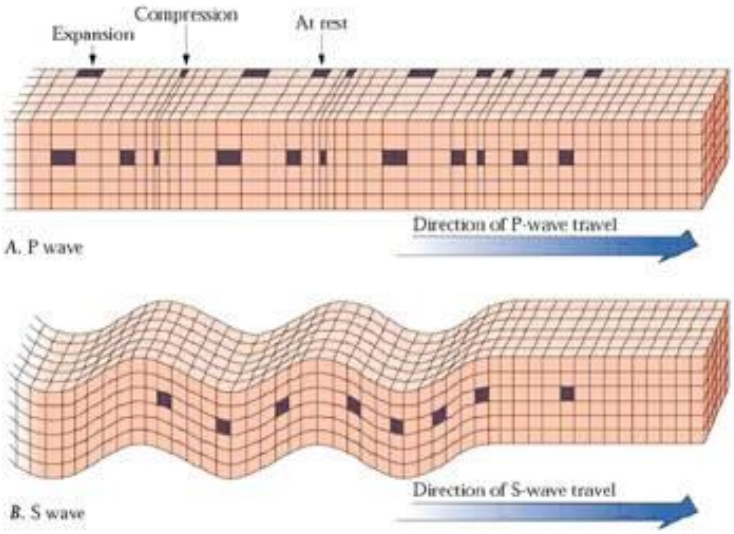
Nastanak i širenje seizmičkih valova tumači se teorijom elastičnosti. Seizmičke valove se smatra harmonijskim, pa se stoga uzimaju kao sume osnovne frekvencije i viših harmonika.

Djelovanjem vanjskih sila koje homogeno, elastično i izotropno tijelo može pretrpjeti za posljedicu imamo javljanje više vrsta deformacija. One su deformacija volumena i/ili oblika [1].

[1] Hipocentar – žarište potresa na nekoj dubini zemljine unutrašnjosti

2.1 Longitudinalni i transverzalni valovi

P – valovi (longitudinalni) se najbrže šire u nekom mediju te prilikom prolaza se pobuđuju čestice u smjeru širenja samog vala pa tako postoje područja kompresije i dilatacije iliti kompresije (slika 1a). Njihova brzina ovisi o gustoći i elastičnim svojstvima medija kroz koji prolaze, a koje su pak karakterizirane elastičnim konstantama.



Slika 1 a) Longitudinalni ili P val; b) Transverzalni ili S val

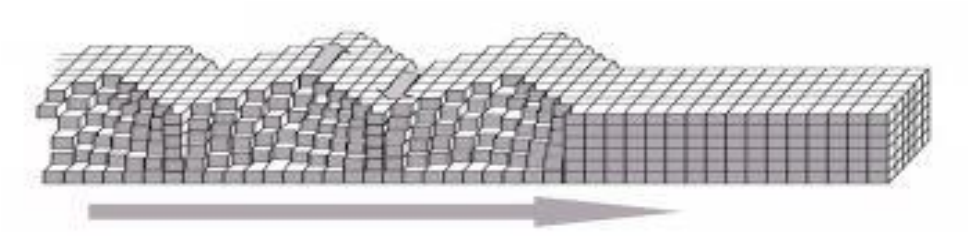
Kod S – valova (transverzalni) čestice sredstva pri prolazu prilikom samog njegovog prolaza titraju okomito na smjer rasprostiranja vala kao što to možemo vidjeti na slici 1b.

2.2 Površinski valovi

Površinski valovi se šire duž Zemljine površine. Njihove amplitude mogu biti jako velike, ali su malih brzina te im je kao takvima energija velika. Karakterizirani su velikim valnim duljinama i malim frekvencijama. Oni se nazivaju Rayleighevi i Loveovi valovi.

2.2.1 Loveovi valovi

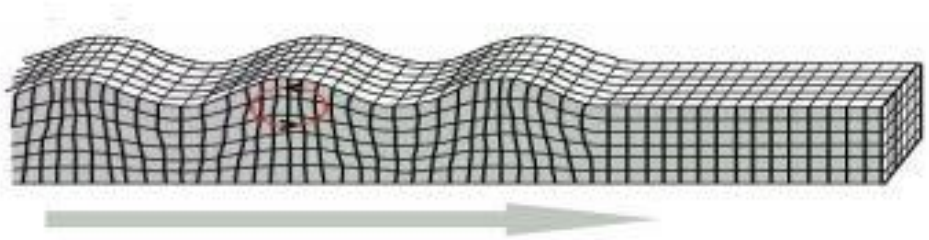
Loveovi valovi javljaju se pri površini kao transverzalni valovi. U trenucima kada medij manje brzine prekriva medij u kojem elastični valovi imaju veće brzine, javljaju se ti valovi. Brzina rasprostiranja im ovisi od duljini vala. Na slici je prikazan izgledan Loveovog vala.



Slika 2 Loveov val [1]

2.2.2 Rayleighevi valovi

Rayleighevi valovi predstavljaju kombinaciju P i S – valova tako da se čestice gibaju po elipsi kao što možemo vidjeti na slici, a također je smjer gibanja vala u pozitivnom smjeru x-osi. Oni su uglavnom sporiji nego što su to Loveovi.



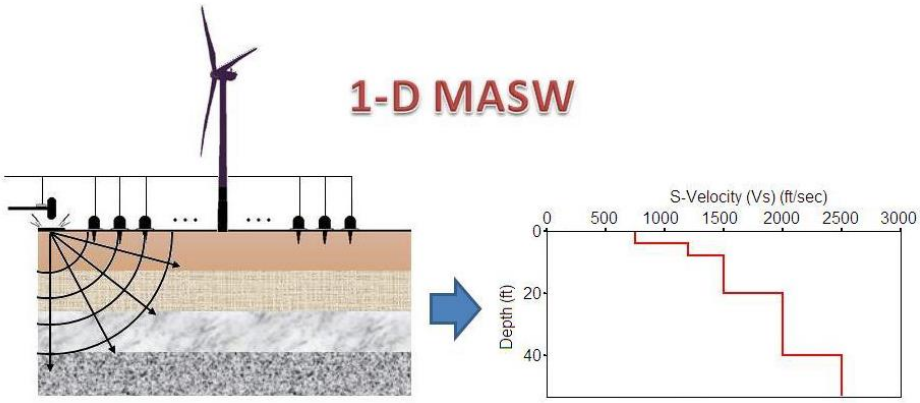
Slika 3 Rayleighev val [1]

3. Višekanalna analiza površinskih valova (MASW)

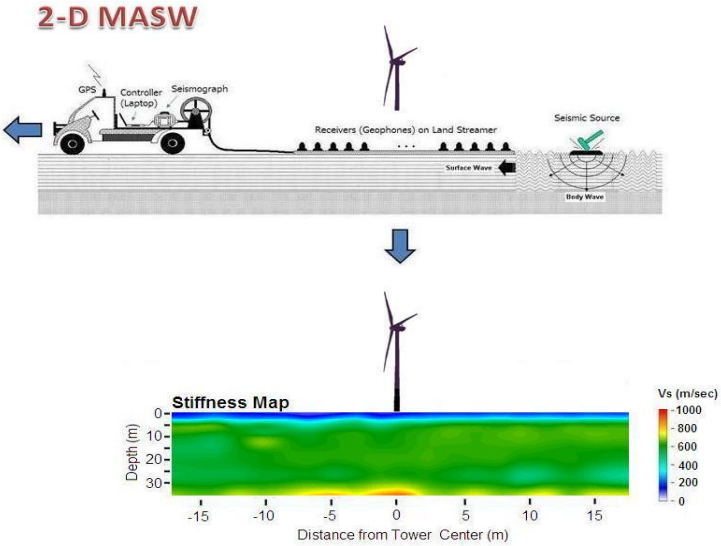
Višekanalna analiza površinskih valova (*dalje u tekstu MASW metoda, engl. Multichannel Analysis of Surface Waves*), nastala kasnih devedesetih, danas je jedna od najrasprostranjenijih metoda ekvivalentna Spektralnoj analizi površinskih valova (*dalje u tekstu SASW metoda, engl. Spectral Analysis of Surface Waves*). Točnije, MASW metoda je razvijena na tada već petnaestak godina korištenoj SASW metodi analize površinskih valova samo što SASW metoda prilikom prikupljanja podataka na terenu koristi samo dva prijamnika i čekić za pobudu, dok je MASW metoda preuzela princip načina rada od seizmičke refleksije i refrakcije koristeći tako veći broj prijamnika – 24 ili više, rijetko samo 12.

Ponajviše se MASW metoda koristi za procjenu krutosti tla gdje je izmjerena brzina posmičnih valova V_s jedan od elastičnih parametara te je usko vezana uz Youngov modul E i modul smicanja μ. Ovisno o problematici, odnosno namjeni istraživanja, MASW metoda se može koristiti u tri sljedeća oblika:

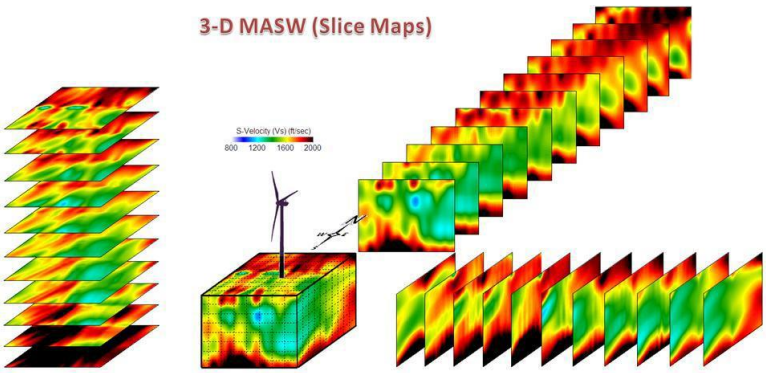
- 1D ili sondiranje (Slika 1.)
- 2D ili tomografija (Slika 2.) te
- 3D ili stvaranje modela (Slika 3.)



Slika 4 prikaz 1D analize dobivene MASW metodom [3]



Slika 5 prikaz 2D analize dobivene MASW metodom [3]



Slika 6 prikaz 3D analize dobivene MASW metodom [3]

Prva zabilježena upotreba višekanalnog pristupa u analizi površinskih valova bila je izvedena prikupljanjem podataka s 24 kanala, pomoću kojih su napravili disperzijsku analizu da bi dobili brzinu posmičnih valova (V_s) po dubini. Taj se pristup i danas najviše koristi kao model za analizu površinskih valova (1D MASW) [1].

Proces generiranja profila brzina posmičnih valova se sastoji od tri glavna koraka kako slijedi:

- Prikupljaju se podaci površinskih valova na terenu
- Obrađuju se podaci da bismo dobili disperzijsku krivulju (dijagram odnosa frekvencije i fazne brzine)
- Inverzija ili izračun brzine širenja posmičnih valova iz Rayleighevih valova.

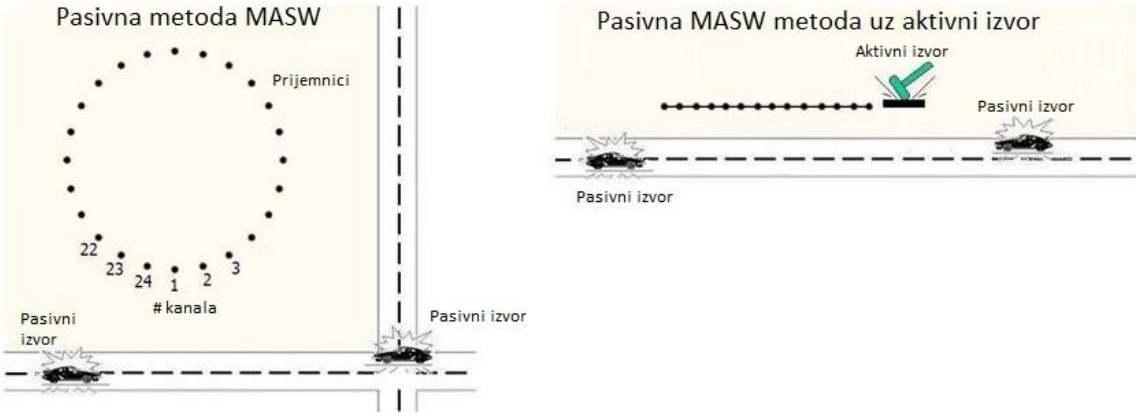
S približavanjem granici polubeskonačnog prostora *P* i *S* valovi se transformiraju u površinske valove. Kada se za oponašanje izvora seizmičkih valova na površini koriste vertikalni izvori poput čekića ili pada utega (*drop-weight*), nastaju površinski Rayleighevi *(R)* valovi koji u najvećoj mjeri preuzimaju seizmičku energiju izvora *(R valovi: 67%; S valovi: 26%; P valovi: 7%)* [1].

3.1 Vrste MASW metode

U ovisnosti kako su površinski valovi generirani, imamo dvije vrste metode kojima raspolažemo:

- Aktivna metoda čiji je izvor udaranjem čekića po metalnoj ili gumenoj ploči ili slobodnim padom utega

- Pasivna metoda gdje na samo mjerenje utječe i neizbježan izvor površinskih valova kao što je promet itd.



Slika 7 Na slici je prikazan raspored elektroda za pasivne MASW metode [4]

Najvažnije svojstvo površinskih iliti Rayleighevih valova jest njihova disperzija. To u pravilu znači da se valovi koji su nižih frekvencija i većih valnih duljina šire dublje u medij od onih koji imaju veće frekvencije, a valne duljine su im manje. U ovakvom slučaju imamo faznu brzinu koja se manifestira kao brzina širenja vala kod pojedine frekvencije. A krivulja koja je prikazana kao ovisnost fazne brzine u ovisnosti o frekvenciji naziva se disperzijska krivulja ili krivulja fazne brzine (slika 12). [1][2].

3.2. Izvor seizmičkog vala

Najveća dubina istraživanja (Z_{max}) ovisi o najvećoj valnoj duljini generiranih površinskih valova (λ_{max}). Relacija između ova dva parametra je sljedeća:

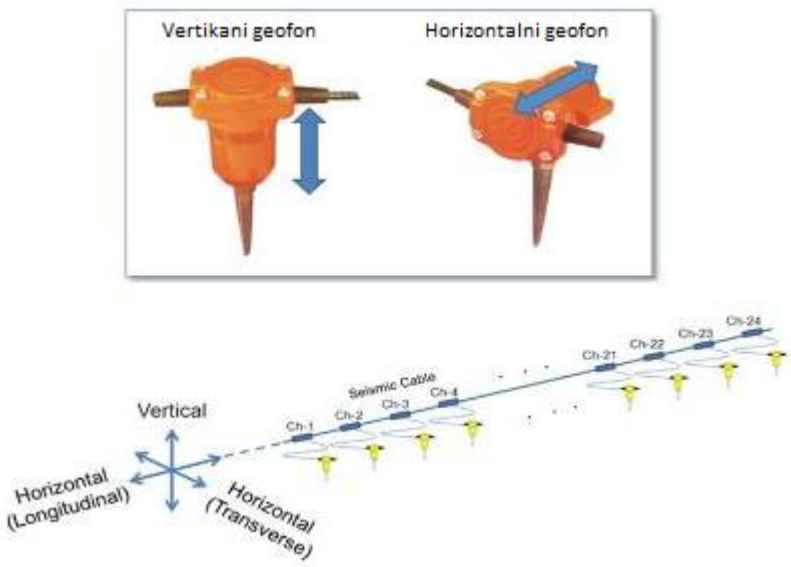
$$Z_{max} \approx 0{,}5\lambda_{max} \ \ (m) \qquad (3.2.1)$$

Najveća valna duljina ovisi o udarnoj snazi seizmičkog izvora. Kod aktivne metode to je čekić, dok kod pasivne metode to može biti prijelaz automobila preko neravnine na cesti. Što je udarna snaga izvora veća, postižu se veće valne duljine, a s time se povećava i maksimalna moguća dubina istraživanja. Ako su za istraživanje potrebne niže frekvencije (veće valne duljine) kao izvor seizmičkog vala može se koristiti padajući uteg (*drop-weight)*. On ima veću snagu od čekića, ali je ujedno i skuplji i potrebno je organizirati pristup na teren pošto se najčešće nalazi u sklopu nekog teretnog vozila. Preporučljivo je stekiranje podataka sa više udaraca da bi se smanjio utjecaj smetnji, pogotovo ako se radi u urbanom području. Optimalni broj stekiranja će se odrediti iz seizmičke snimke i to kada se više ne vidi promjena u odnosu signal – smetnja (engl. signal-to-noise ratio – S/N). Najčešće se koristi 3 do 5 stekiranja. Taj broj bi se trebao povećati ako se radi o području na koje utječe buka tj. urbanom području ili ako se povećava duljina geofonskog rasporeda. [1][2][3]

3.3 Geofoni i geometrija snimanja

U MASW metodi se koriste samo vertikalni geofoni. Preporučuje se korištenje geofona s niskom frekvencijom (npr. 4,5 Hz). Osim klasičnog postavljanja geofona danas se i sve češće koriste *land streamer*-i kojima je moguće brzo prikupljanje podataka. Najčešće se koristi raspored od 24 geofona na razmaku od 1, 2 ili 3 metra. [3]

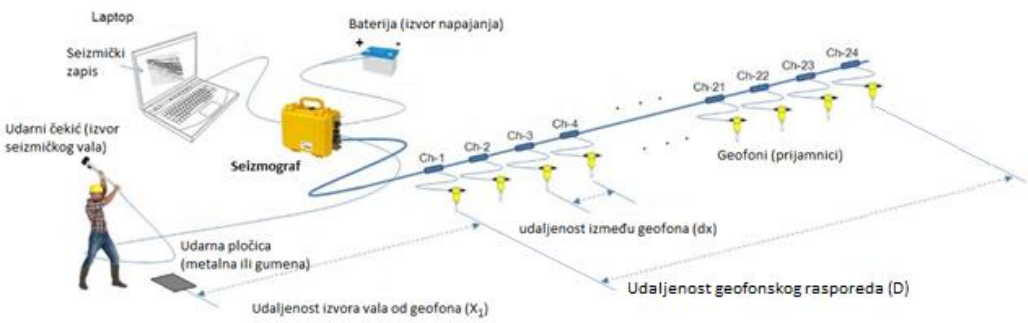
Slika 8 Vertikalni geofon niske frekvencije (4,5 Hz) [3]



Slika 9 Vertikalni i horizontalni geofon te smjerovi širenja sezmičkog vala

Duljina geofonskog rasporeda (D) direktno utječe na najveću valnu duljinu (λ_{max}) koju je moguće analizirati, a s time i najveću dubinu istraživanja (Z_{max}) i ona bi trebala biti najmanje jednaka ili veća od najveće željene dubine istraživanja (Z_{max}):

$$D = mZ_{max} \quad (1 \leq m \leq 3)\ (m) \qquad (3.3.1)$$

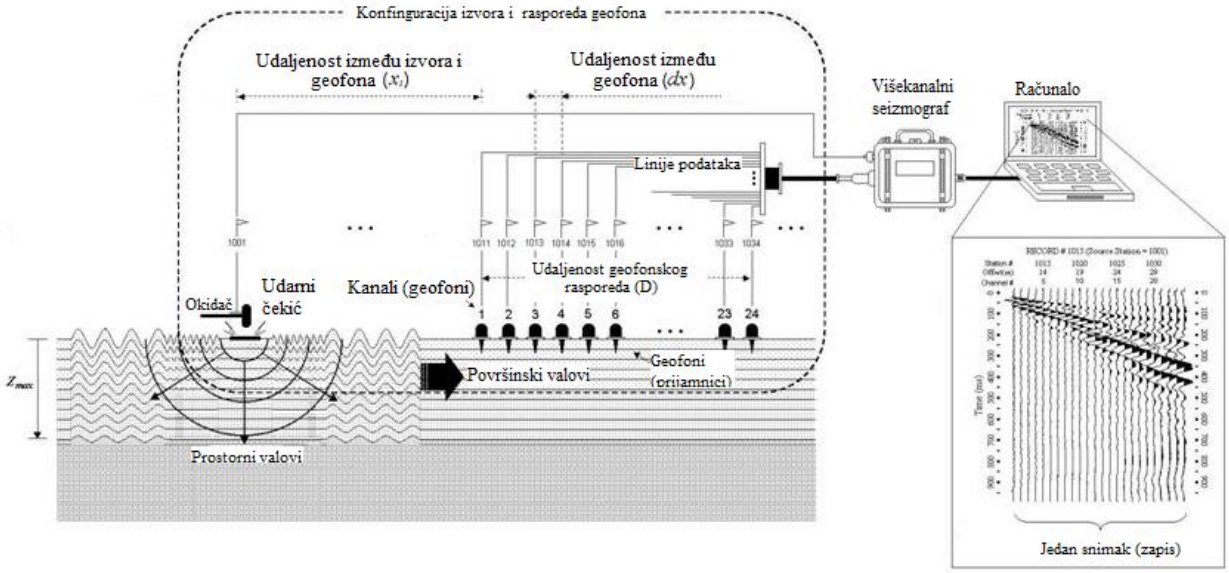


Slika 10 Oprema i raspored geofona

Kako duljina geofonskog rasporeda (D) utječe na najveću dubinu istraživanja (Z_{max}), tako i razmak između dva susjedna geofona (dx) utječe na najmanju valnu duljinu (λ_{min}) a s time i na najmanju dubinu istraživanja (Z_{min}):

$$Z_{min} = kdx \quad (0{,}3 \leq k \leq 1)\ (m) \qquad (3.3.2)$$

Glavni faktor koji u praksi utječe na (λ_{max}) je izvor seizmičkog vala. Duljina geofonskog rasporeda u kojemu se mogu iskoristiti površinski valovi se kreće od 50 – 100 m. Ako je ta duljina veća, površinski valovi generirani s većinom aktivnih izvora postaju prigušeni s okolnim smetnjama na samome kraju geofonskog rasporeda. Slabi nisko frekventni valovi često postoje iako i nisu vidljivi na snimci zbog smetnje okoline. Oni pomažu u analizi niskih frekvencija disperzijske krivulje povećavajući maksimalnu dubinu istraživanja (Z_{max}). [1][2][3]



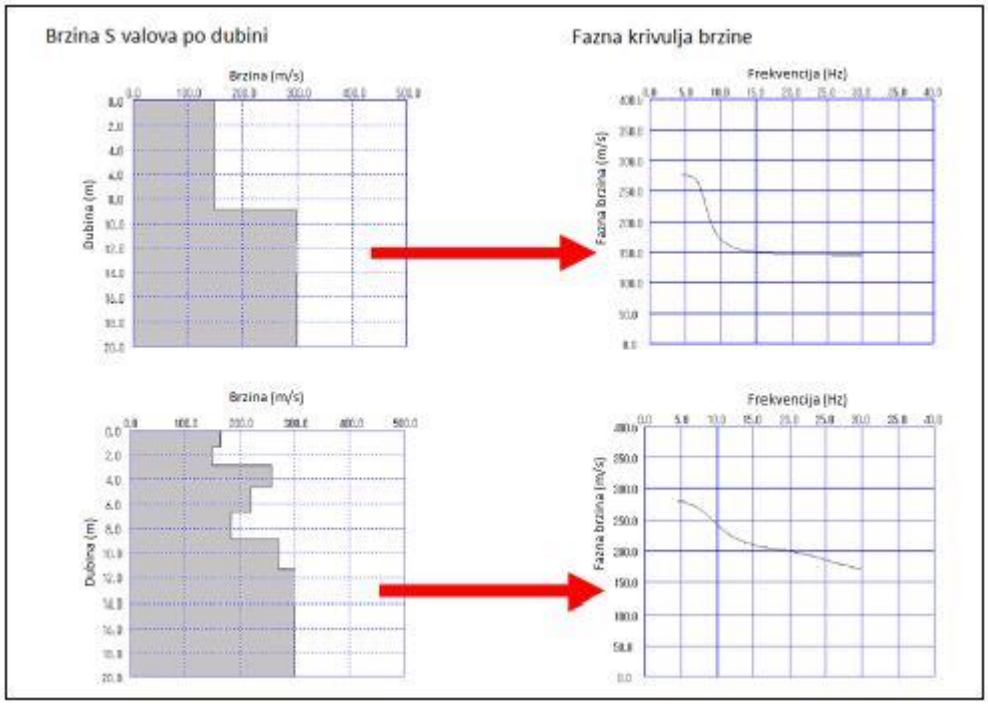
Slika 11 Prikaz načina prikupljanja podataka

3.4 Disperzijska krivulja

Disperzijska krivulja je dijagram podataka frekvencija i faznih brzina. Određivanje točne disperzijske krivulje najvažniji je dio analize jer iz nje proizlazi profil širenja posmičnih valova.

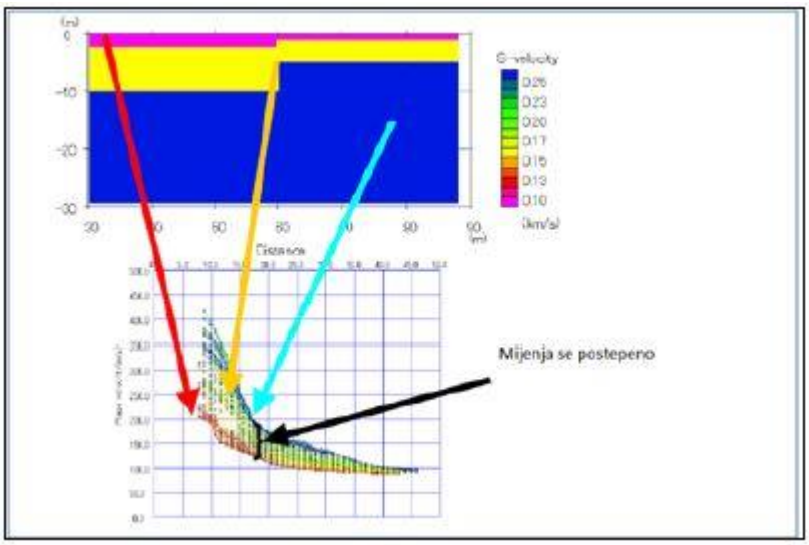
Karakteristike disperzijske krivulje:

- Disperzijska krivulja mora biti glatka zakrivljena linija



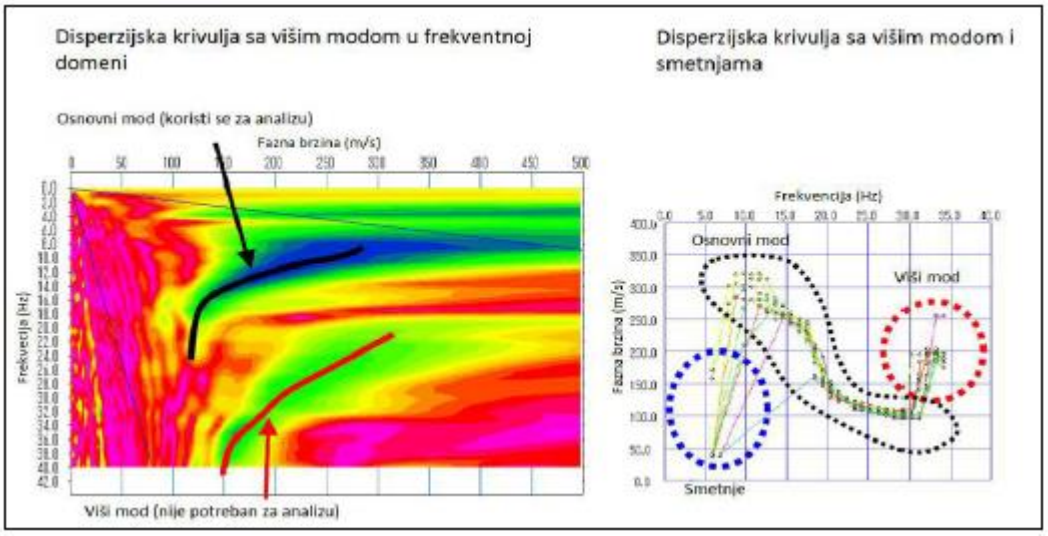
Slika 12 Primjer glatkih disperzijskih krivulja [3]

- Disperzijska krivulja prikazuje prosječnu brzinu modela ispod mreže geofona



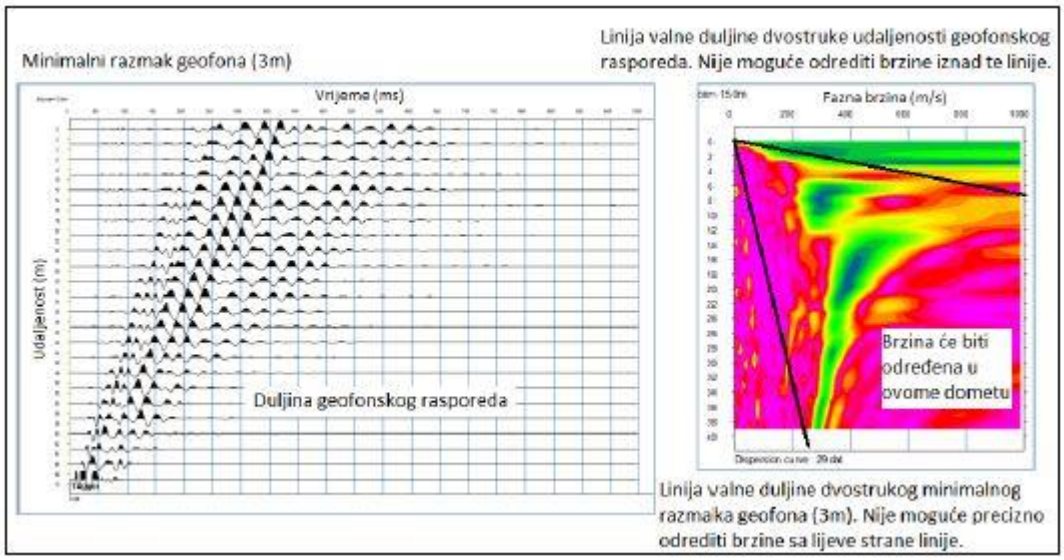
Slika 13 Postepeno mijenjanje disperzijske krivulje [3]

- Disperzijska krivulja može sadržavati više modova, ali se oni ne koriste za analizu



Slika 14 Disperzijska krivulja s višim modovima [3]

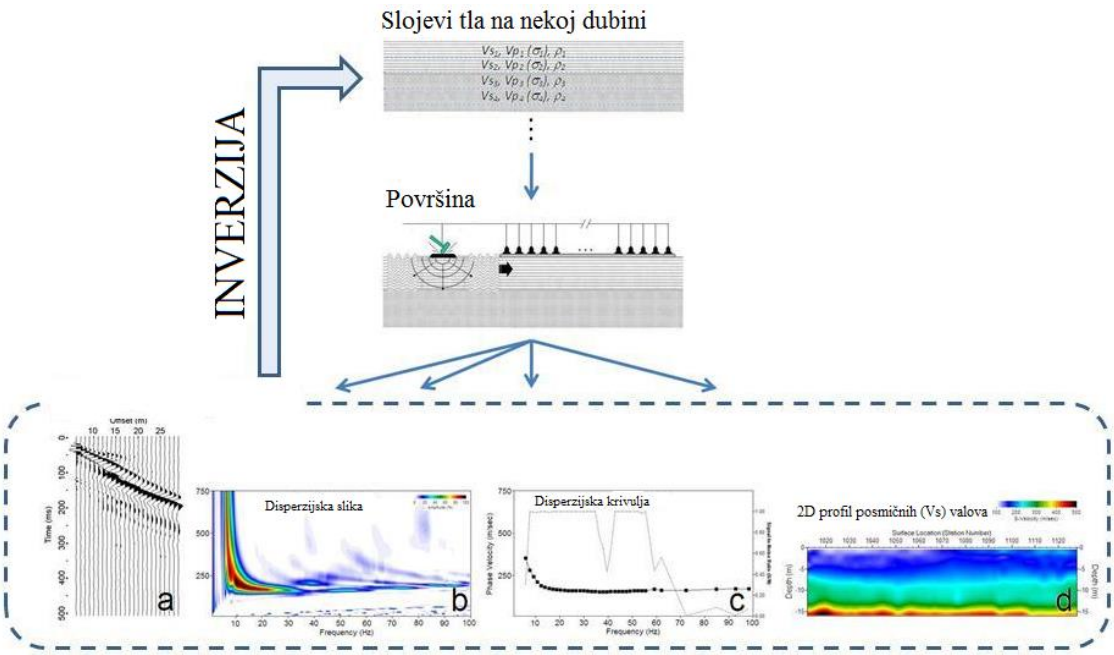
- Domet frekvencija ograničen je najmanjim razmakom između dva geofona i duljinom cijelog geofonskog rasporeda



Slika 15 Ograničenje frekvencija na disperznoj krivulji [3]

3.5 Inverzija površinskih valova

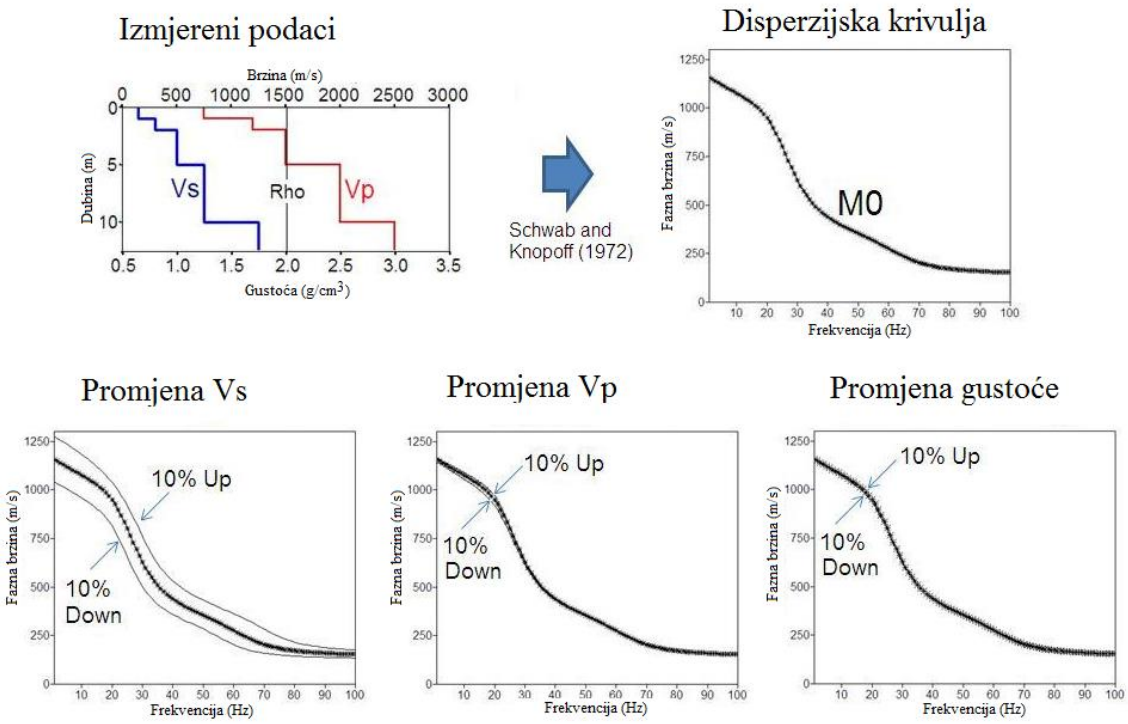
Kada govorimo o inverziji površinskih valova, tada mislimo na procjenu elastičnih svojstava tla iz podataka dobivenih mjerenjem. Pri procjeni se mogu koristiti različiti podaci: valne snimke s terena, disperzijske slike ili disperzijske krivulje, a odabir zavisi od izabrane metode inverzije. [3]



Slika 16 a) Snimka sa terena; b) disperzijska slika; c) disperzijska krivulja; d) 2D Vs profil [9]

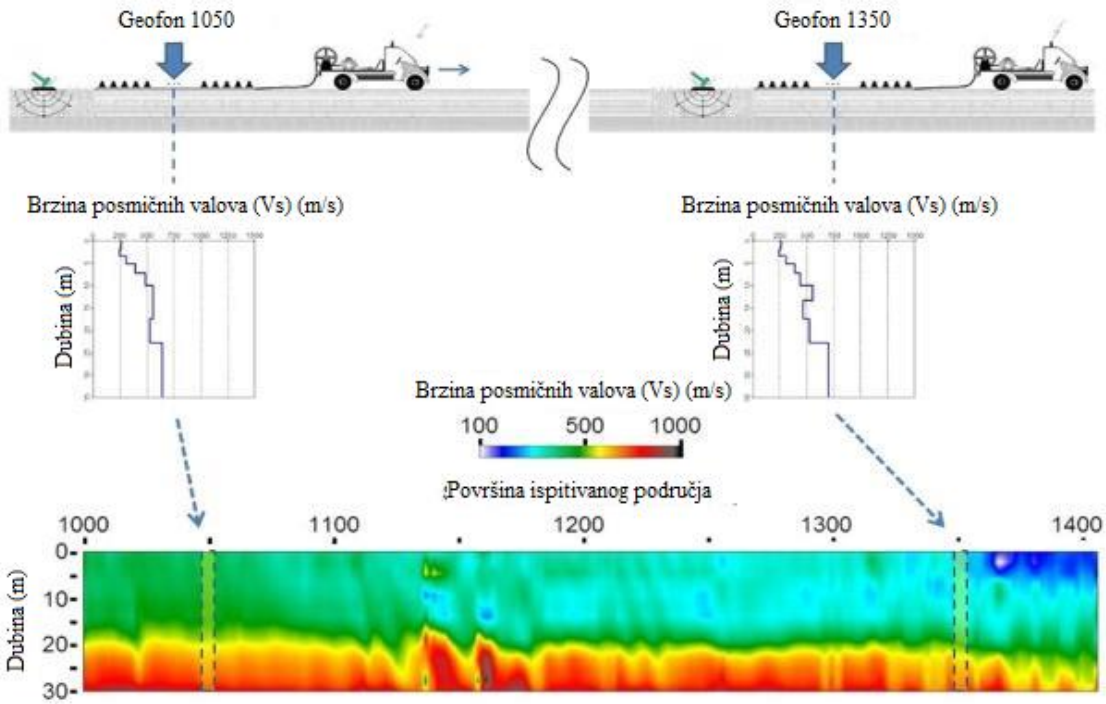
Iz inverzije disperzijske krivulje dobije se prikaz brzine posmičnih valova (Vs) po dubini – 1D profil ili 2D profil. Ovim postupkom može se napraviti profiliranje slojeva tla na temelju elastičnih svojstava tla (krutost tla kod malih deformacija). [3]

Izmjerena krivulja najviše je osjetljiva na promjene brzine posmičnih valova (V_s) po dubini dok lateralne promjene često budu prosječne tijekom obrade podataka. Ovaj 1D model brzine posmičnih valova V_s se naziva i uslojeni model tla koji može uključivati podatke o brzini kompresijskih iliti longitudinalnih valova (V_p), također i o brzini posmičnih valova (V_s) i podatke o gustoći (ρ) ili samo podatke o brzini posmičnih valova (V_s) sa fiksiranim ostalim podacima. Uslojeni model tla ne uzima u obzir lateralne promjene kao neki proizvoljni model tla. U stvarnosti neka vrsta lateralne promjene uvijek postoji ali metode površinskih valova pretpostavljaju uslojeni model tla te prikazuju takvu strukturu u jednoj dimenziji (dubini) ispod geofonskog rasporeda, što se i naziva sondiranje. Prilikom višekanalnog prikupljanja podataka ovaj jednodimenzionalni profil se pripisuje sredini geofonskog rasporeda na površini terena. Prikupljanjem većeg broja 1D profila sa različitim koordinatama na površini moguće je konstruirati 2D profil vs koristeći određenu metodu interpolacije (slika 17) i (slika 18). [1][2][3]



Slika 17 Prikaz 1D profiliranja i disperzijske krivulje [9]

Ova metoda inverzije koja se bazira na osnovnome modu (M0) da bi se našao 1D profil brzine posmičnih valova (V_s) je najčešće korištena metoda inverzije u MASW metodi [1][2][3].



Slika 18 2D profiliranje brzine posmičnih valova (Vs) [7]

4. Eurokod 8

Eurokod 8 je europska norma za projektiranje konstrukcija označena oznakom „EN 1998, Eurokod 8: „Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija“ te vrijedi za proračun i konstrukciju zgrada i građevinskih radova u potresnim područjima.

Sami ciljevi seizmičkog proračuna su izričito navedeni u skladu s Eurokodom 8.

Njegova je svrha osigurati da, u slučaju potresa:

- Ljudski životi budu zaštićeni
- Stupanj oštećenja konstrukcije bude ograničen te da
- Važni objekti javne namjene ostaju uporabljivi

Eurokod 8 je sastavljen od 6 dodataka za različite tipove konstrukcija:

- EN 1998 – 1: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade
- EN 1998 – 2: Mostovi
- EN 1998 – 3: Ocjenjivanje i obnova zgrada
- EN 1998 – 4: Silosi, spremnici i cjevovodi
- EN 1998 – 5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja
- EN 1998 – 6: Tornjevi, jarboli i dimnjaci [11].

4.1. Područje zanimanja dodatka EN 1998 – 1 Eurokoda 8

EN 1998 – 1 primjenjuje se proračun zgrada i građevinskih radova u potresnim područjima podijeljen je na 10 odjeljaka:

- odjeljak 1. EN 1998-1 sadrži opseg, normativne reference, pretpostavke, načela i pravila primjene, pojmove i definicije, simbole i jedinice.
- odjeljak 2. EN 1998-1 sadrži osnovne zahtjeve izvedbe i kriterije usklađenosti koji se primjenjuju na zgrade i građevine u seizmičkim područjima
- odjeljak 3. EN 1998-1 daje pravila za prikaz potresnih radnji i njihovu kombinaciju s drugim akcijama. Određene vrste struktura koje se bave normom EN 1998-2 prema EN 1998-6 trebaju nadopunjavati pravila koja su navedena u tim dijelovima
- odjeljak 4. EN 1998-1 sadrži opća opravila proračuna koja su relevantno specifična za zgrade
- Odjeljci 5. do 9 EN 1998-1 sadrže posebna pravila za različite građevinske materijale i elemente, posebno relevantne za zgrade (beton, čelik, kompozitni čelik-beton, drvo i zidarstvo)
- Odjeljak 10. EN 1998 - 1 sadrži opće zahtjeve i druge relevantne aspekte proračuna i sigurnost vezanu uz osnovnu izolaciju građevina i posebno za temeljnu izolaciju zgrada [11].

4.2 Osnovni kriteriji

EN 1998 – 1 se fokusira na dva tipa potresnog proračuna zasnivajući se eksplicitno na sljedeća dva kriterija:

- Kriterij koji umanjuje nastanak kolapsa

Građevina bi trebala biti projektirana i izgrađena da izdrži potresnu aktivnost bez da dođe do lokalne ili globalne pojave kolapsa čime se zadržava njezina cjelovitost i preostali kapacitet nosivosti nakon potresne aktivnosti.

- Ograničenje štete

Građevina bi trebala projektirana i izgrađena da izdrži potresnu aktivnost imajući veću vjerojatnost trajanja nego potresna aktivnost. Bez pojave štete i upotrebe ograničenja koje nam ono donosi, troškovi svih radova će uvelike premašivati troškove same građevine.

Prvi kriterij se odnosi na zaštitu života svih živih bića prilikom usred trajanja potresne aktivnosti kroz prevenciju lokalnog ili globalnog urušavanja građevine koja bi nakon prestanka potresne aktivnosti trebala zadržati svoj integritet i dovoljnu rezidualnu nosivost.

Drugi kriterij se odnosi na smanjenje troškova, tj. Na redukciju ekonomskih gubitaka uslijed potresne aktivnosti.

Potresna opasnost i potrebni parametri za pojedina seizmička područja utvrđuju se na osnovi detaljnijeg seizmičkog zoniranja i mikrozoniranja. Projektni je potres najjači očekivani potres koji može pogoditi objekt za vrijeme njegova amortizacijskog razdoblja [10][11].

Potresna je opasnost izražena akceleracijom tla odnosno, horizontalnim ubrzanjem tla tijekom potresa koje se u prosjeku premašuje jednom u 95, tj. 475 godina. Ono što definira vršno ubrzanje nekog tipa tla s vjerojatnošću premašaja od 10% u 50 godina za razdoblje od 475 godina jest upravo to povratno razdoblje od 95 godina.

Važno je napomenuti na srednje povratno razdoblje koje je zapravo inverzija obrnuto proporcionalno srednjoj (godišnjoj) pojavi potresne aktivnosti (ν) koja prelazi prag ograničenja.

Primjenjujući Poisson-ov model pojavljivanja potresne aktivnosti, srednje povratno razdoblje definirano je:

$$T_R = \frac{1}{\nu} = -\frac{T_L}{\ln(1-P)} \quad [god.] \qquad (4.2.1)\ [11]$$

Gdje je T_L referentno povratno razdoblje, P je vjerojatnost prelaska praga ograničenja.

Potresna područja akceleracije tla $a_g \leq 0{,}05$ g smatraju se područjima male seizmičnosti te stoga Eurokod 8 dopušta primjenu jednostavnijeg postupka proračuna. Za povratno razdoblje od 475 godina je Eurokodom 8 definiran faktor važnosti $\gamma_1 = 1{,}0$. [11]

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}\ ;\ [\frac{m}{s^2}] \qquad (4.2.2)\ [11]$$

Gdje je a_{gR} površinska akceleracija tla izražena u (m s^{-2})

Klase važnosti su tako određene preporučenim vrijednostima faktora važnosti za zgrade što možemo vidjeti u tablici 1:

Tablica 1. Klase važnosti i preporučene vrijednosti faktora važnosti za zgrade [11]

Klasa važnosti	**Zgrade**	**Faktor važnosti γ_I (preporučene vrijednosti)**
I	Zgrade od manje važnosti	0,8
II	Obične zgrade ne pripadaju specifičnoj kategoriji jer su klasificirane za područja male potresne aktivnosti	1,0
III	Zgrade koje trebaju imati seizmičku otpornost u slučaju posljedica koje se javljaju s potresnom aktivnošću jer su od važnosti	1,2
IV	Zgrade koje su od najveće velike važnosti za zaštitu ljudi	1,4

4.3 Klasifikacija tla prema Eurokodu 8

Eurokod 8 klasificira tlo u 7 različitih tipova: A, B, C, D, E, S_1 i S_2 (Tablica 2.). Prema njemu tipovi tla su opisani stratigrafskim profilom i tri parametra: srednjom brzinom posmičnih valova na gornjih 30 metara tla ($V_{s,30}$), brojem udaraca standardnog penetracijskog pokusa (N_{spt}) i nedreniranom posmičnom čvrstoćom (c_u), kao što je već navedeno u uvodu. Brzina posmičnih valova ($V_{s,30}$) je najvažniji parametar [1][2].

Srednja brzina posmičnih valova u gornjih 30 metara se izračuna prema sljedećoj jednadžbi:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \left[\frac{m}{s}\right] \qquad (4.2.3)\ [11]$$

gdje je h_i debljina i-toga sloja i v_i brzina i-toga od N slojeva koji se nalaze u gornjih 30 metara.

Tablica 2. Klasifikacija tla [11]

Tip tla	**Opis stratigrafskog profila**	**$v_{s,30}$ (m/s)**	**N_{spt} (udarci/30 cm)**	**c_u (kPa)**
A	Stijena ili njoj slične geološke formacije, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	>800	-	-
B	Slojevi vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo čvrste gline, debljine najmanje nekoliko desetina metara, karakterizirani stupnjevitim povećanjem mehaničkih svojstava sa dubinom	360 – 800	> 50	> 250
C	Slojevi zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili čvrste gline, debljine od nekoliko desetina do više stotina metara	180 – 360	15 – 50	70 -250
D	Rastresiti do srednje zbijeni nevezani sedimenti (sa ili bez mekanih kohezivnih slojeva) ili predominantno mekano do čvrsto kohezivno tlo	<180	<15	<70
E	Tlo se na površini sastoji od aluvijalnih nanosa sa vrijednosti $v_{s,30}$ prema tipu C ili D i debljinom između 5 i 20 m, ispod kojeg je krući materijal sa $v_{s,30}$ > 800 m/s			
S_1	Tlo sadrži najmanje 10 m debeo sloj mekane gline sa visokim plastičnim indeksom (PI>40) i viskom sadržajem vode	<100 (indikativni pokazatelj)	-	10 -20
S_2	Tlo podložno likvefakciji sa osjetljivim glinama ili bilo koji drugi profil tla koji nije uključen u kategorije A-E ili S_1			

5. Zaključak

Višekanalna analiza površinskih valova je aktivna seizmička metoda kojom se na temelju dobivenih brzina posmičnih valova (V_s) može klasificirati tlo prema Eurokodu 8. Naravno, brzine posmičnih valova (V_s) možemo dobiti raznim seizmičkim metodama. No uz nerazorne metode kao što su seizmička refrakcija, SASW i MASW, imamo i razorne gdje mjerenja provodimo u bušotinama – Cross-Hole, Down-Hole i Up-Hole. One naime nisu financijski isplative, a kako kod MASW metode postoji višekanalni pristup kod kojeg nije potrebno mijenjati raspored geofona, metoda je puno jednostavnija i brža pa se koristi češće od ostalih metoda.

Kako je klasifikacija tla u Eurokodu 8 određena sa tri parametara: srednjom brzinom posmičnih valova na dubini 30 m ($V_{s,30}$), brojem udaraca standardnog penetracijskog pokusa (N_{spt}) i nedreniranom posmičnom čvrstoćom (c_u), vrijednosti srednje brzine posmičnih valova (V_s) dobivene Višekanalnom analizom površinskih valova nam omogućuju klasificirati tlo prema Eurokodu 8.

6. Literatura

[1] Strelec S. Podpovršinski istražni radovi, Interna skripta, Varaždin, veljača 2012.

[2] Jeđud B. Primjena spektralne analize površinskih valova geotehnici, rad za Rektorovu nagradu, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin, Varaždin 2010.

[3] Kostolanović M. Primjena spektralne analize površinskih valova (MASW i SASW) za procjenu krutosti tla, diplomski rad, Sveučilište u zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin 2016.

[4] http://www.masw.com/WhatisMASW.html (17.07.2017.)

[5] http://www.masw.com/PassiveMASW.html (17.07.2017.)

[6] http://www.masw.com/images/ActiveMASW_FieldSetup_.JPG (17.07.2017.)

[7] http://www.masw.com/sitebuilder/images/Vs2D-Profiling-1-620x393.jpg (28.08.2017.)

[8] http://www.masw.com/Product.html (28.08.2017)

[9] http://www.masw.com/InversionAnalysis.html (28.08.2017)

[10] Sigmund V., Bošnjak-Klečina M., Guljaš I., Stanić A. Usporedba primjene hrvatskih propisa i Eurokoda 8, Građevinar, 2000.

[11] Bisch P., Carvalho E., Degee H., Fajfar P., Fardis M., Franchin P., Kreslin M., Pecker A., Pinto P., Plumier A., Somja H., Tsionis G., Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012

7. Prilozi

7.1 Popis slika

Slika 1 a) Longitudinalni ili P val; b) Transverzalni ili S val 3
Slika 2 Loveov val [1] 4
Slika 3 Rayleighev val [1] 4
Slika 4 prikaz 1D analize dobivene MASW metodom [3] 6
Slika 5 prikaz 2D analize dobivene MASW metodom [3] 6
Slika 6 prikaz 3D analize dobivene MASW metodom [3] 6
Slika 7 Na slici je prikazan raspored elektroda za pasivne MASW metode [4] 8
Slika 8 Vertikalni geofon niske frekvencije (4,5 Hz) 10
Slika 9 Vertikalni i horizontalni geofon te smjerovi širenja sezmičkog vala 11
Slika 10 Oprema i raspored geofona 11
Slika 11 Prikaz načina prikupljanja podataka 12
Slika 12 Primjer glatkih disperzijskih krivulja 13
Slika 13 Postepeno mijenjanje disperzijske krivulje 14
Slika 14 Disperzijska krivulja s višim modovima 14
Slika 15 Ograničenje frekvencija na disperznoj krivulji 15
Slika 16 a) Snimka sa terena; b) disperzijska slika; c) disperzijska krivulja; d) 2D Vs profil 16
Slika 17 Prikaz 1D profiliranja i disperzijske krivulje 18
Slika 18 2D profiliranje brzine posmičnih valova (Vs) 18

7.2 Popis tablica

Tablica 1. Klase važnosti i preporučene vrijednosti faktora važnosti za zgrade…..… 23
Tablica 2. Klasifikacija tla…… 24