

COMUNE
DI
SANTA MARIA CAPUA VETERE
(Provincia di Caserta)

Piano Urbanistico Comunale
Adeguamento dello Studio Geologico

Allegato G9

Misure Sismiche H.V.S.R -2023
eseguite dal dr. Geol. A. D'Errico

Novembre 2023



Via G. Garibaldi, 16 - CASAGIOVE (CE)

Tel. & Fax 0823/1702550

E-Mail: ggisas@libero.it

Cell. 339/7271088

COMUNE DI SANTA MARIA CAPUA VETERE

Provincia di CASERTA

**Indagine geofisica mediante l'esecuzione di
n. 10 misure sismiche H.V.S.R. per l'aggiornamento
dello studio geologico relativo al
Piano Urbanistico Comunale**

Committente:

Dott. Geol. Giuseppe Antonio Diplomatico

RELAZIONE GEOFISICA

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Antonio D'Errico

G.G.I. s.a.s.

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Antonio D'Errico

Casagiove, ottobre 2023

La misura HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una tecnica sismica passiva a stazione singola (originariamente proposta da Y. Nakamura), finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito a partire dalla registrazione delle vibrazioni in un suo punto. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche senza terremoti ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola. La tecnica dei rapporti spettrali è totalmente non invasiva, molto rapida e si può applicare ovunque; non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimento di cavi né di energizzazione esterna diversa dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

In sintesi la suddetta tecnica prevede:

- ✓ l'acquisizione delle vibrazioni attraverso una terna ortogonale di sensori velocimetrici (geofoni) per un tempo sufficientemente lungo (tipicamente alcuni minuti);
- ✓ la trasformazione dei segnali nel dominio delle frequenze per ciascuna delle tre componenti (X, Y e Z);
- ✓ il calcolo del rapporto tra gli spettri di potenza delle componenti orizzontali (H) e quello della componente verticale (V);
- ✓ l'individuazione della frequenza di vibrazione f_0 in corrispondenza della quale il suddetto rapporto presenta un picco significativo.

Il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e quelle verticali (V), da cui H/V (o HVSR), mette in luce la *frequenza di risonanza di un terreno*.

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica. La frequenza fondamentale di risonanza f del terreno dipende dallo spessore H del terreno stesso e dalla velocità media V delle onde che lo attraversano. Dunque, conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità media delle onde S e viceversa conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore dello strato di copertura.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la frequenza di risonanza e lo spessore dello strato soffice; questa relazione è regolata dall'equazione seguente:

$$f = V_s / 4H$$

dove V_s è la velocità media delle onde S dello strato di copertura (sedimento), ed H è lo spessore dello strato di copertura. Emerge quindi che la tecnica H/V può fornire indicazioni di carattere stratigrafico: nota la V_s delle coperture si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e viceversa.

A tal proposito sono stati prodotti degli abachi preliminari per:

1. Stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati;
2. Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto.

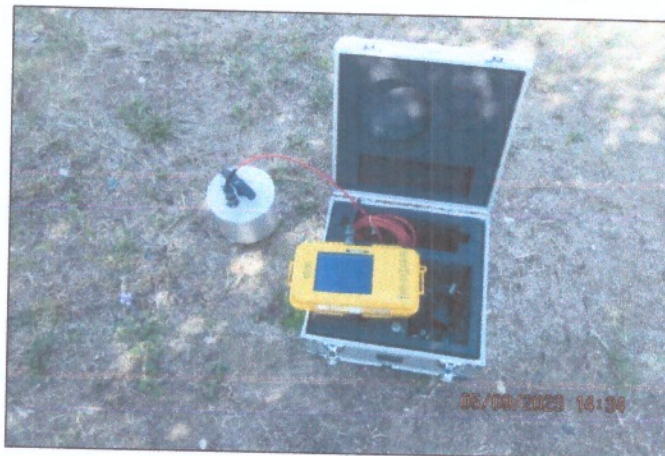
Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti con il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive.

La *frequenza caratteristica di risonanza di sito* rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare determinate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare l'effetto di "doppia risonanza" che è estremamente pericoloso per la stabilità delle stesse.

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto
2<H/V<3 Basso Contrasto

Per l'acquisizione di dati HVSR è stato utilizzato il sismografo **Vibralog** della M.A.E., con risoluzione 24 bit e 3 canali e a cui si collega un sensore da superficie costituito da un unico contenitore con integrati una terna di geofoni con una frequenza di 2Hz. La suddetta terna è composta da due geofoni orizzontali perpendicolari tra loro ed uno verticale che hanno la stessa risposta/sensibilità in termini di ampiezza.



Di seguito sono riassunte le Specifiche tecniche del sismografo **Vibralog**:

- ❖ Geofoni con frequenza da 2 Hz
- ❖ Componente verticale n.1
- ❖ Componenti orizzontali n.2
- ❖ Sfasamento delle componenti orizzontali: 90 gradi
- ❖ Frequenza naturale: 2 – 0,75 Hz

- ❖ Resistenza della bobina a 25°C +/- 5%: 380 Ω
- ❖ Sensibilità tensione a 3810 Ohm +/- 10%: 2V/ in /sec
- ❖ Massa +/- 5%: 23 g
- ❖ Messa in piano per mezzo di piedini con ghiera di regolazione e bolla di livello
- ❖ Contenitore: alluminio
- ❖ Dimensioni: diametro 140 mm, altezza 100 mm
- ❖ Peso: 4 Kg

Durante l'esecuzione della prova il sensore è stato orientato verso in nord geografico per una convenzione di campagna ed in modo da valutare eventuali direzionalità del segnale; è stato messo in bolla per garantirne l'equilibrio durante la fase di acquisizione ed impedire qualsiasi eventuale vibrazione e/o movimento che avrebbe potuto inficiare la registrazione.

L'accoppiamento sensore-terreno è garantito dall'infissione di particolari ed appositi "piedini" che ne assicurano la stabilità; inoltre il cavo di collegamento tra sensore e la centralina di registrazione è stato "fissato" in modo da evitare che potesse subire movimenti e/o sollecitazioni anche lievi dovuti all'effetto del vento e/o di vibrazioni artificiali provenienti dalle zone circostanti.

La registrazione ha avuto durata di 30 minuti, per garantire la rilevazione di un numero significativo di sorgenti ed ottenere una misura affidabile e rappresentativa.

Il file registrato è composto da tre tracce di cui la prima viene attribuita al sensore della componente verticale (Z), mentre la seconda e la terza rispettivamente alla componente orizzontale orientata ad Est (X) e a quella orientata a Nord (Y).

A partire dalle suddette tracce sismiche si procede con l'individuazione di un numero sufficiente di finestre temporali che risultino quanto più rappresentative dell'analisi HVSR.

I criteri principali per la selezione di tali finestre sono due:

- ✓ la durata, che deve essere tale da garantire che in ognuna di esse siano presenti almeno dieci periodi della frequenza di picco f_0 (primo criterio di affidabilità secondo SESAME);
- ✓ l'assenza al loro interno di eventi transitori (condizioni del suolo, vento, pioggia, macchine, etc.), dovuti a sorgenti locali.

In condizioni normali le 3 componenti spettrali hanno ampiezze simili, mentre alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma ad "occhio"; le componenti orizzontali devono viaggiare quasi sempre parallelamente, mentre quella verticale si distacca da queste ultime solo in corrispondenza dei picchi.

Il risultato dell'interpretazione e dell'elaborazione della registrazione è un valore di frequenza f_0 di picco associata a dei criteri di affidabilità; più precisamente il progetto SESAME ha stabilito una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V: si tratta di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare per le quali sono necessarie ulteriori indagini.

CRITERI DI AFFIDABILITÀ DI SESAME

<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f' = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f') < A_0/2$ • f'' = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f'') < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve; $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

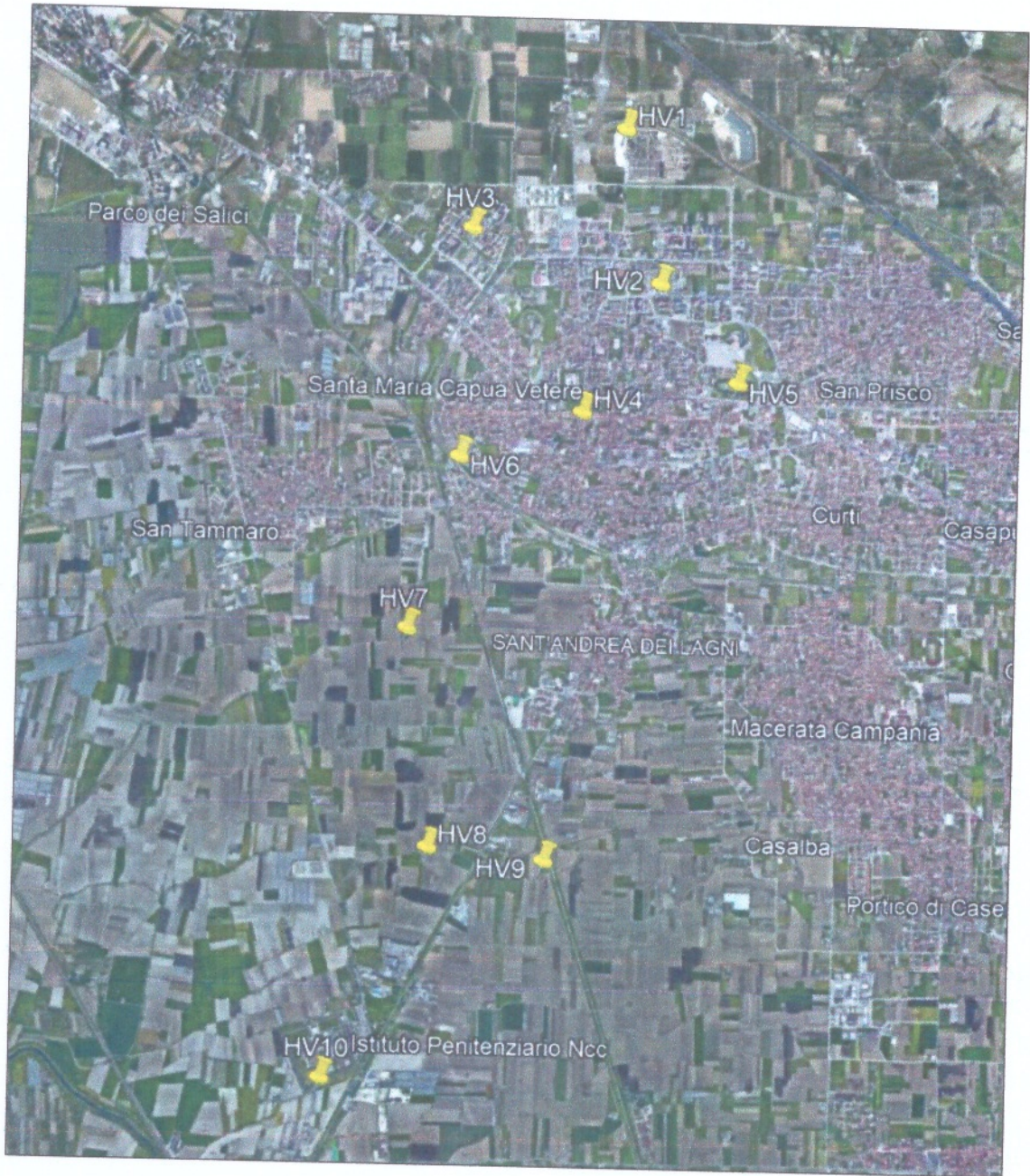
Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Dall'elaborazione dei dati (con i software *winMasw 3C 6.0* e *Geopsy*) sono stati ricavati i seguenti valori di frequenza fondamentale (f_0):

PROVA	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (HZ)
HV-1	Cimitero	6,6
HV-2	Via Vittorio Emanuele II	5,8
HV-3	Via Giotto	0,9
HV-4	Largo Torre di Sant'Erasmus	6,4
HV-5	SS. 7 Via Caserta	0,9
HV-6	Via Generale Giosuè Ritucci	1,0
HV-7	Via San Secondino	13,0
HV-8	Via Cardamone	14,3
HV-9	Via Piro	14,0
HV-10	Trav. Via Napoli SS. 7 bis	8,7

Di seguito, si restituiscono i rapporti tecnici generati dalle elaborazioni delle prove, nei quali sono riportati le tracce e lo spettro di frequenza delle tre componenti ed infine il grafico della curva H/V; si riporta inoltre, l'ubicazione di tutte le misure su stralcio tratto da Google Earth e, per ognuna delle prove, la relativa documentazione fotografica.

ALLEGATO N°1
ELABORATI HVSR
2023



HV-1

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-01.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 25.4
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.6

Peak HVSR value: 1.8

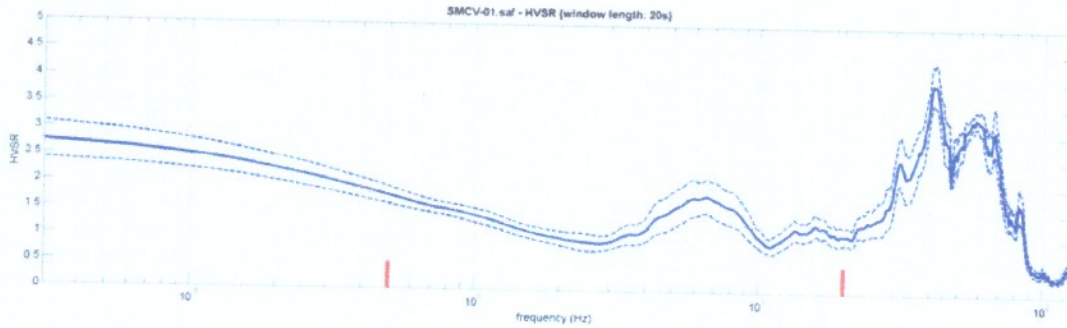
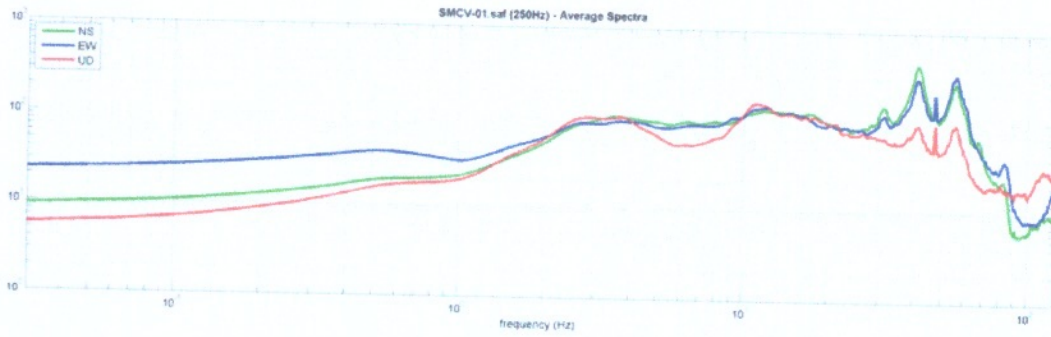
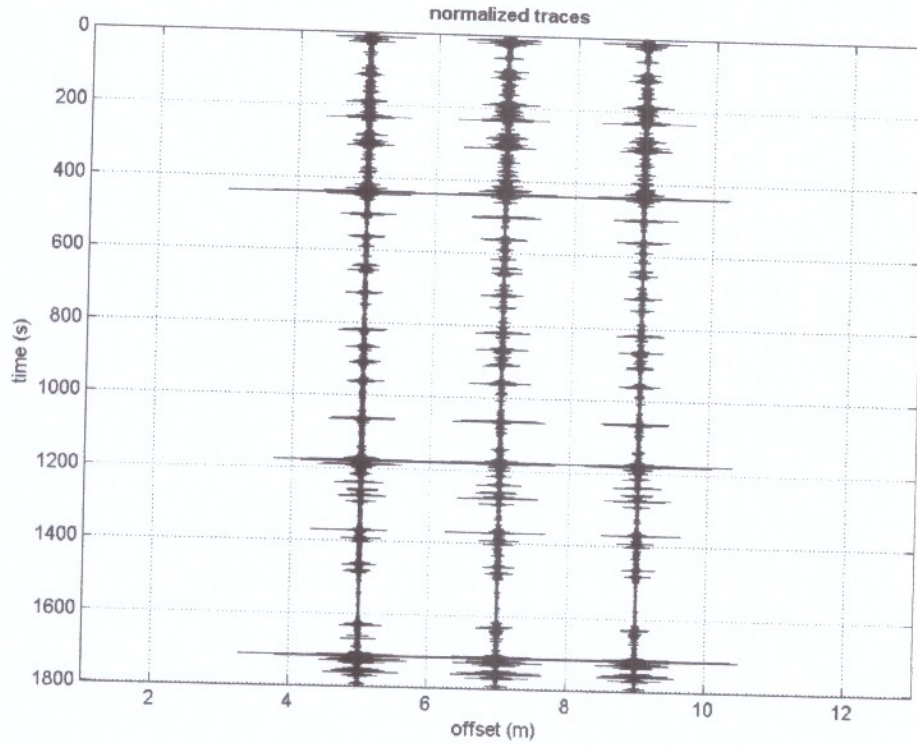
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $6.6 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $20004 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.9Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 10.7Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.8 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)]$: $4.668 > 0.331$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.317 < 1.58$ (OK)





HV-2

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-2.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 12.8
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.8

Peak HVSR value: 1.5

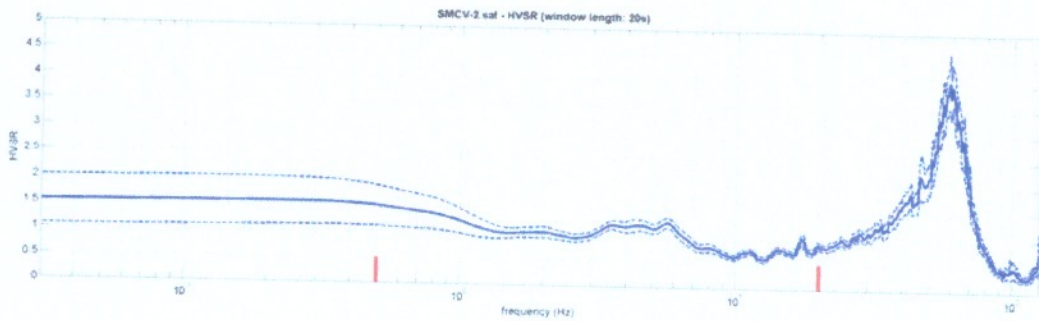
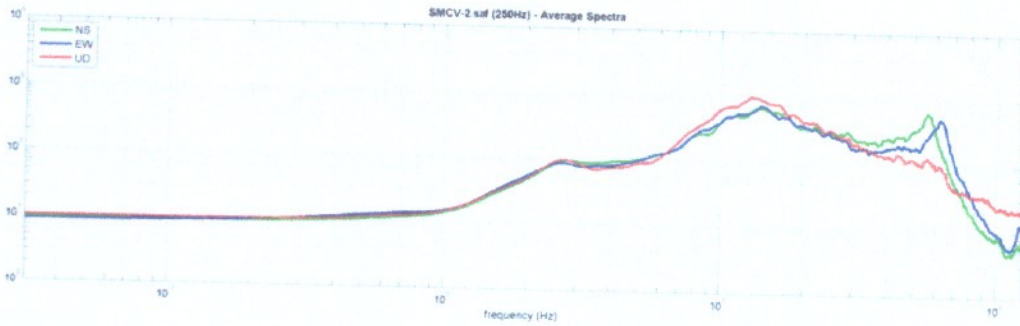
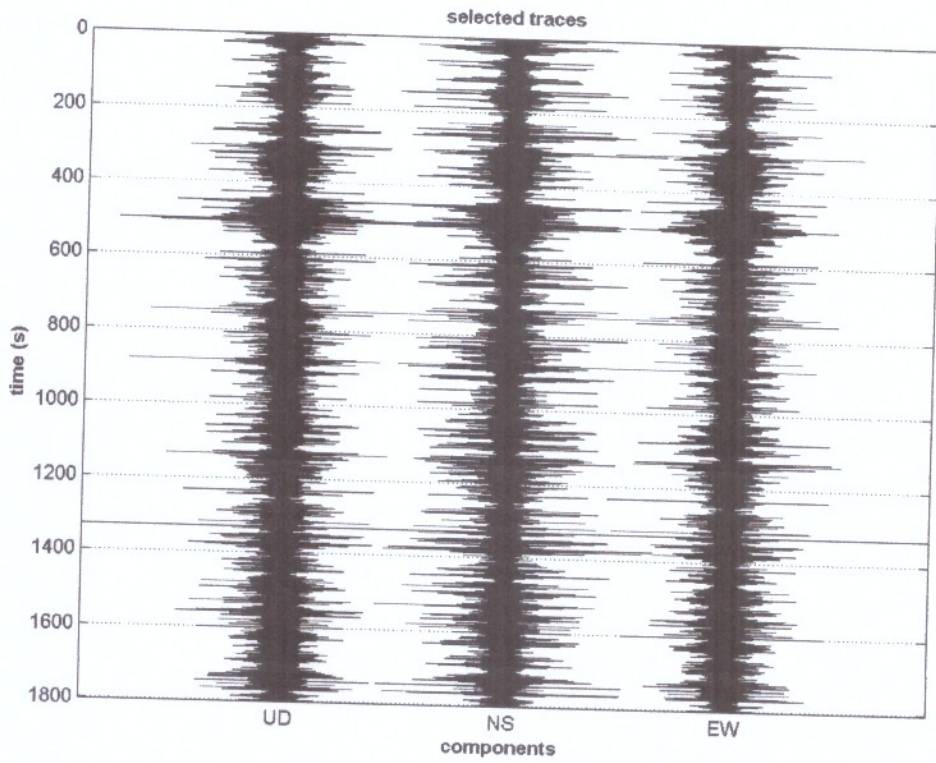
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.5 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $778 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.5 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $3.980 > 0.078$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.397 < 2$ (OK)





HV-3

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-03.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 20.6
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.9

Peak HVSR value: 2.1

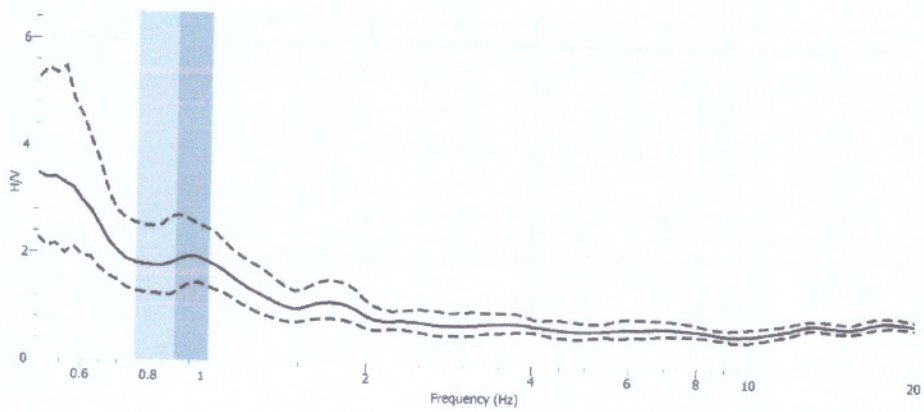
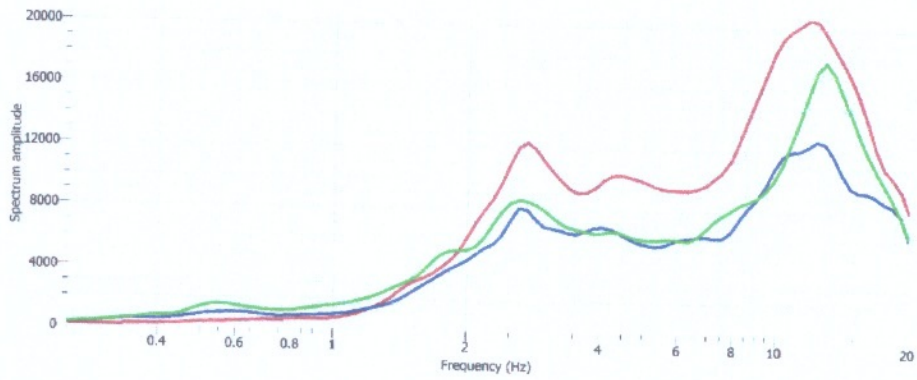
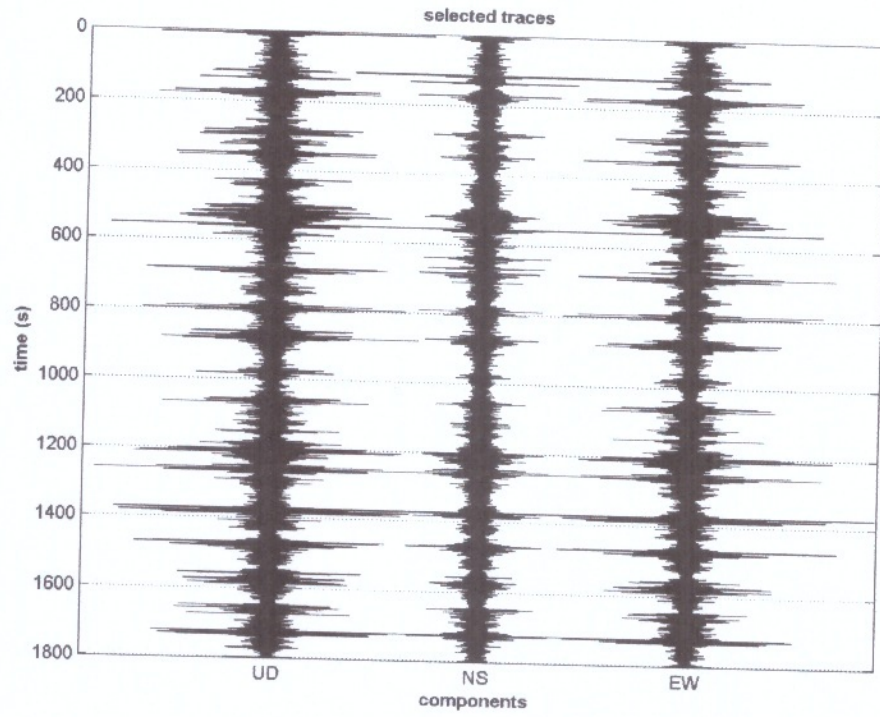
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.5 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $1266 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.4Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.1 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: $4.728 > 0.078$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.377 < 2$ (OK)





HV-4

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-04.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.8

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.4

Peak HVSR value: 1.5

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $0.5 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $965 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

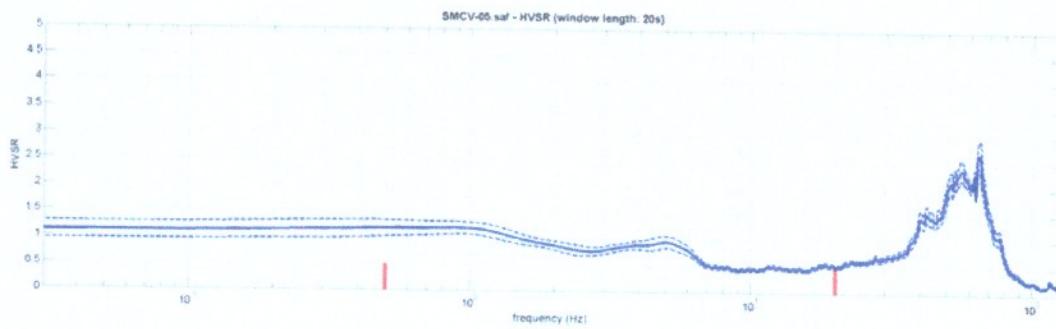
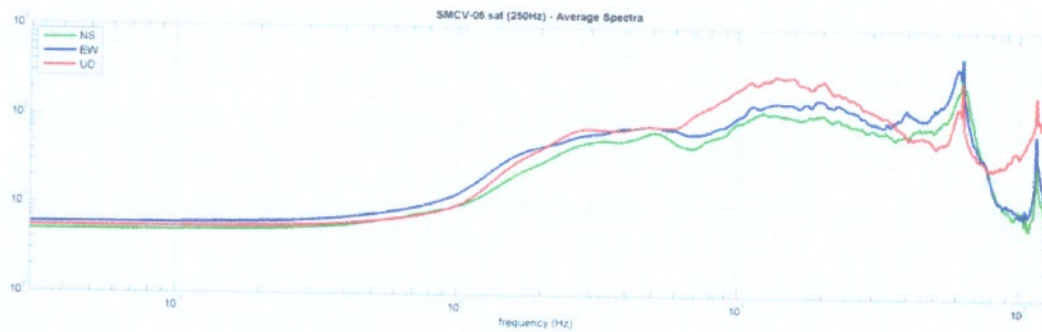
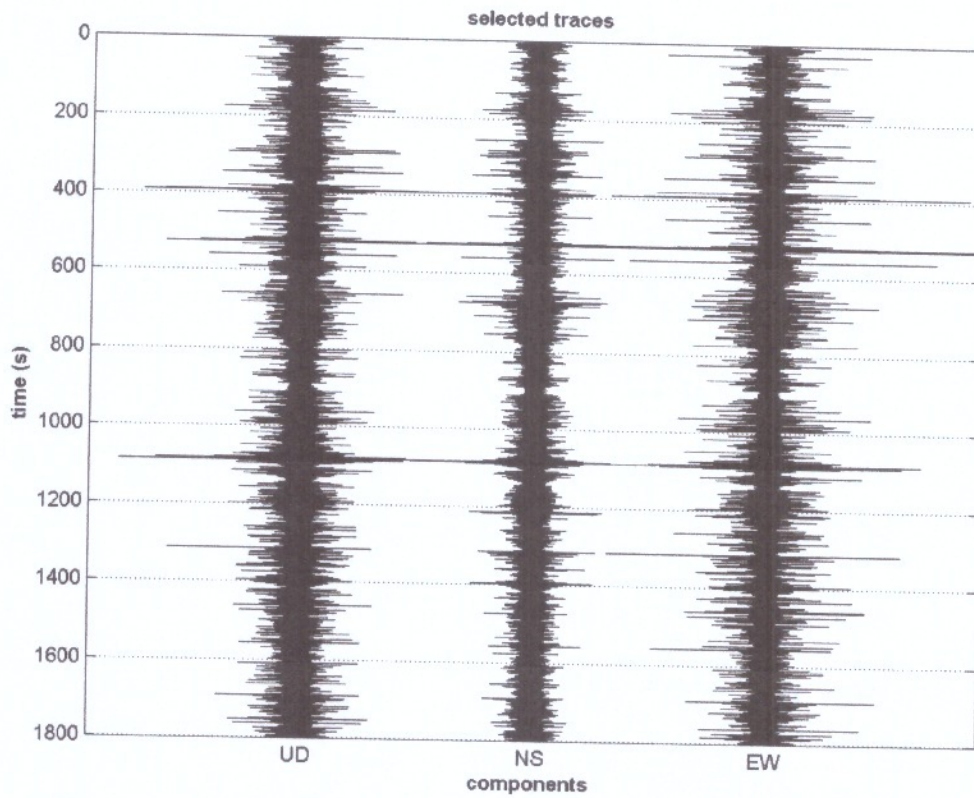
#3. [$A_0 > 2$]: $1.5 < 2$ (NO)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $2.172 > 0.078$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.356 < 2$ (OK)





HV-5

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-05.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 22.2
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.9

Peak HVSR value: 1.2

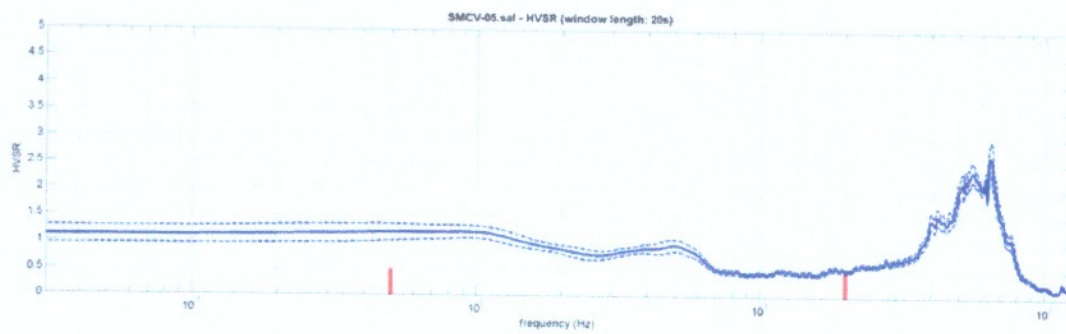
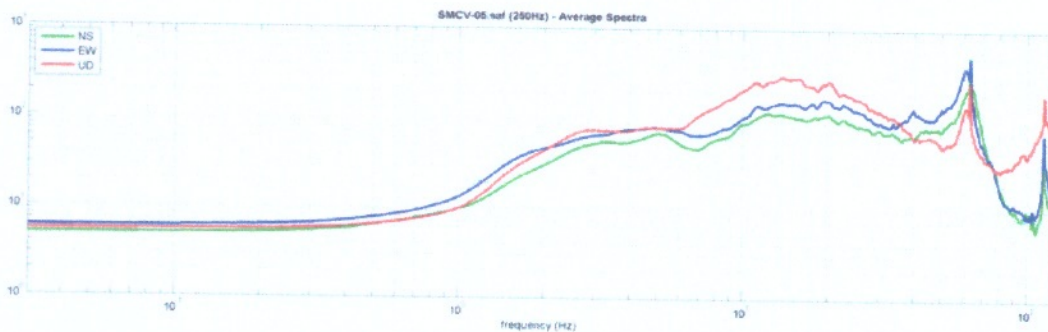
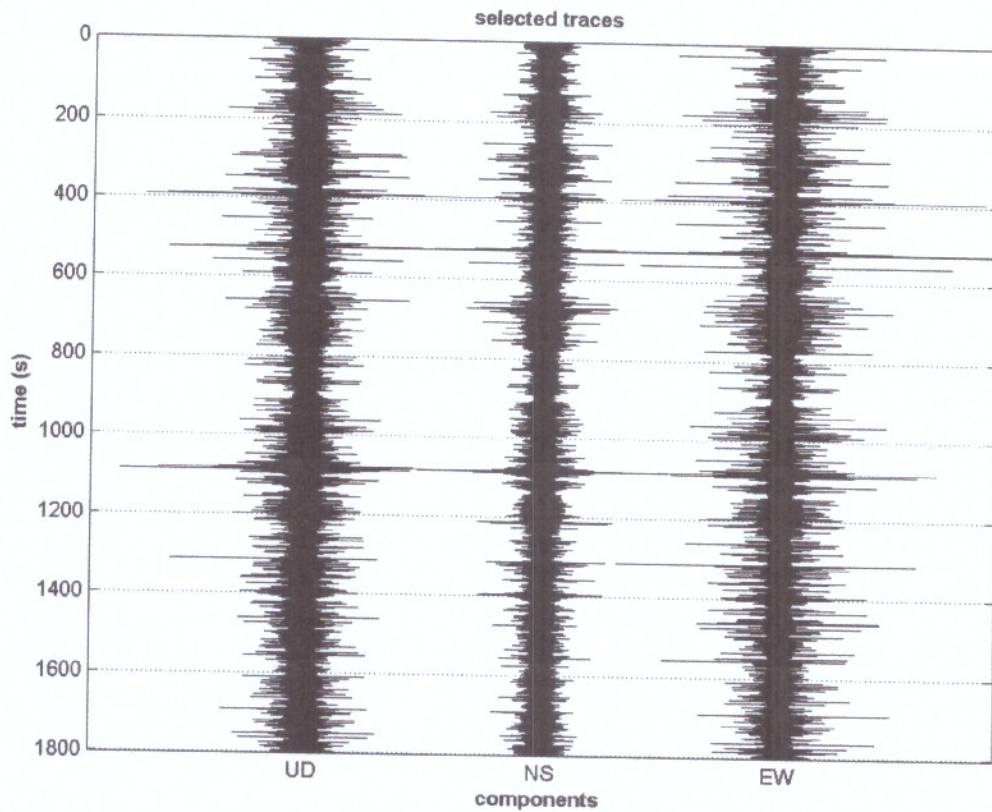
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.9 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $2418 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.2 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_A(f_0) < \epsilon(f_0)$]: $1.763 > 0.137$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.119 < 2$ (OK)





HV-6

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-06.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 25.7

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.0

Peak HVSR value: 1.7

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.5 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $1567 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

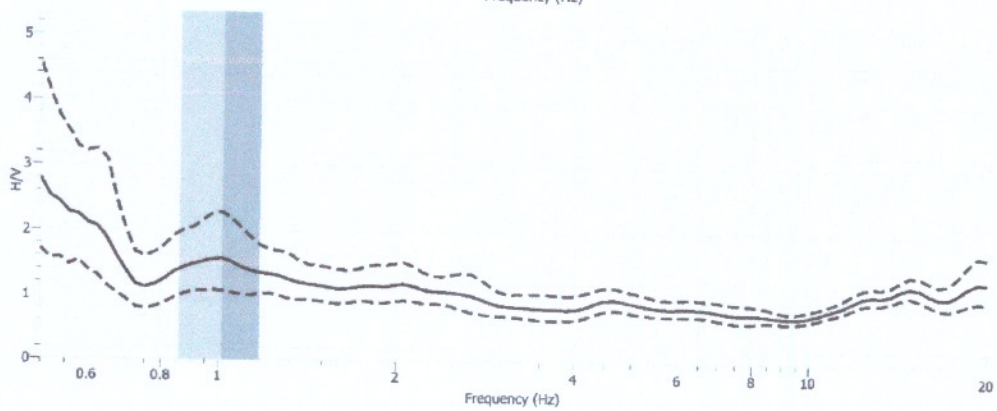
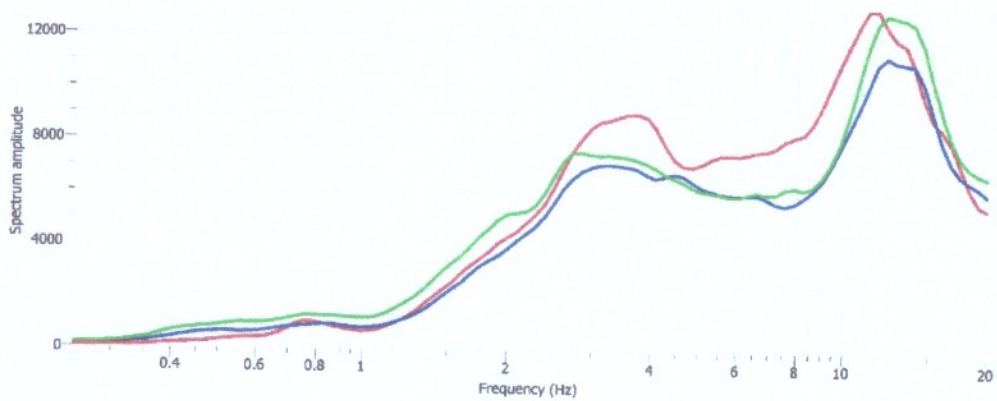
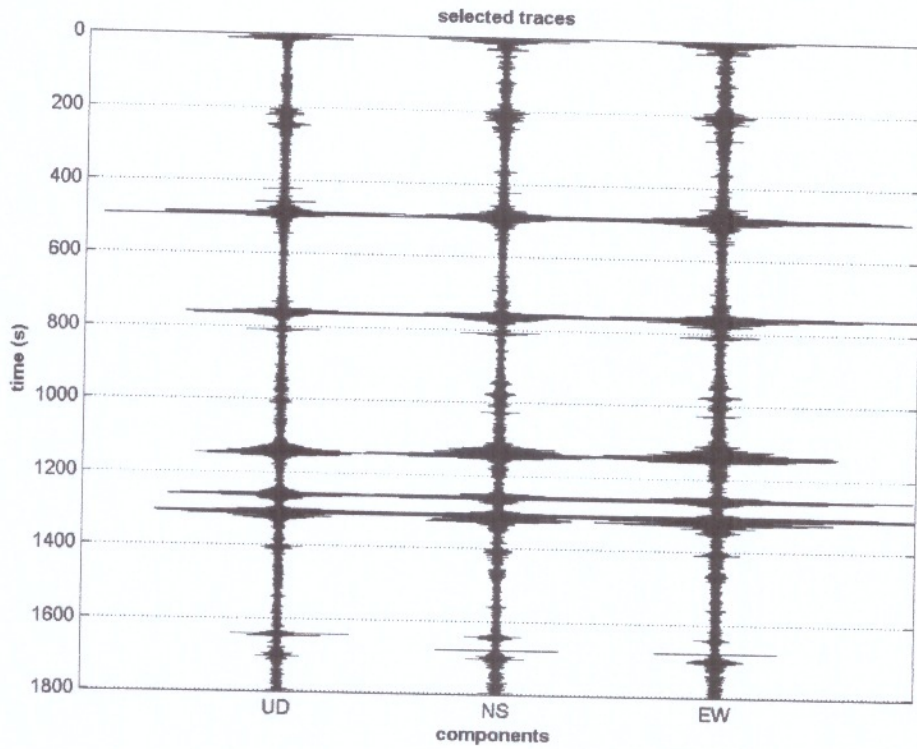
#3. [$A_0 > 2$]: $1.7 < 2$ (NO)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $8.584 > 0.078$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.227 < 2$ (OK)





HV-7

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-07.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 27.5
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 13.0

Peak HVSR value: 1.9

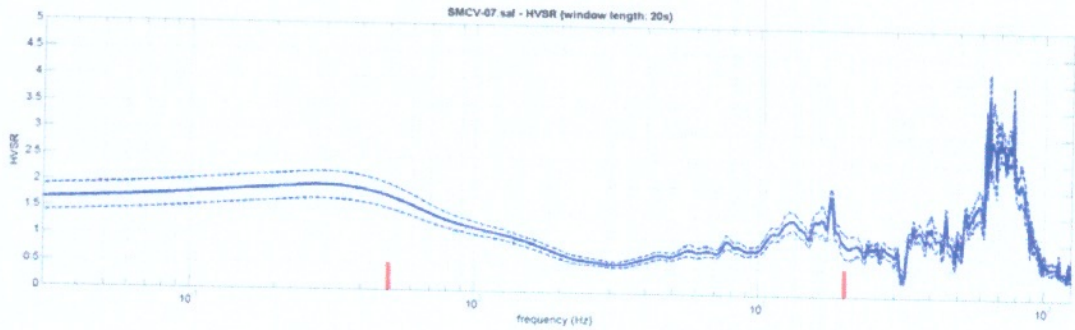
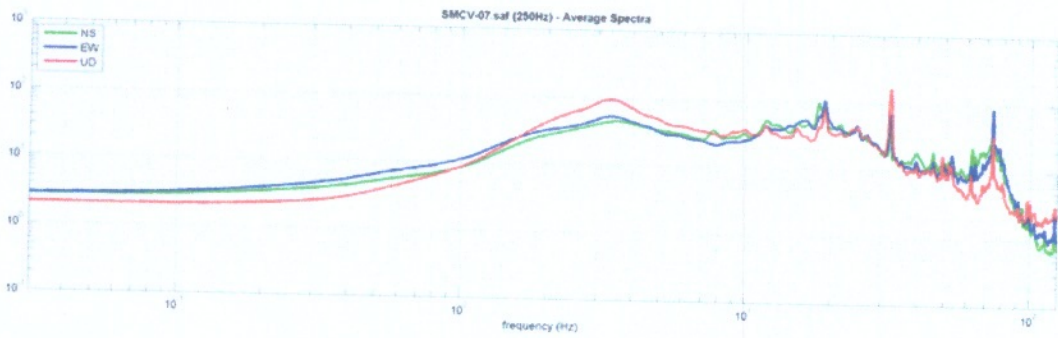
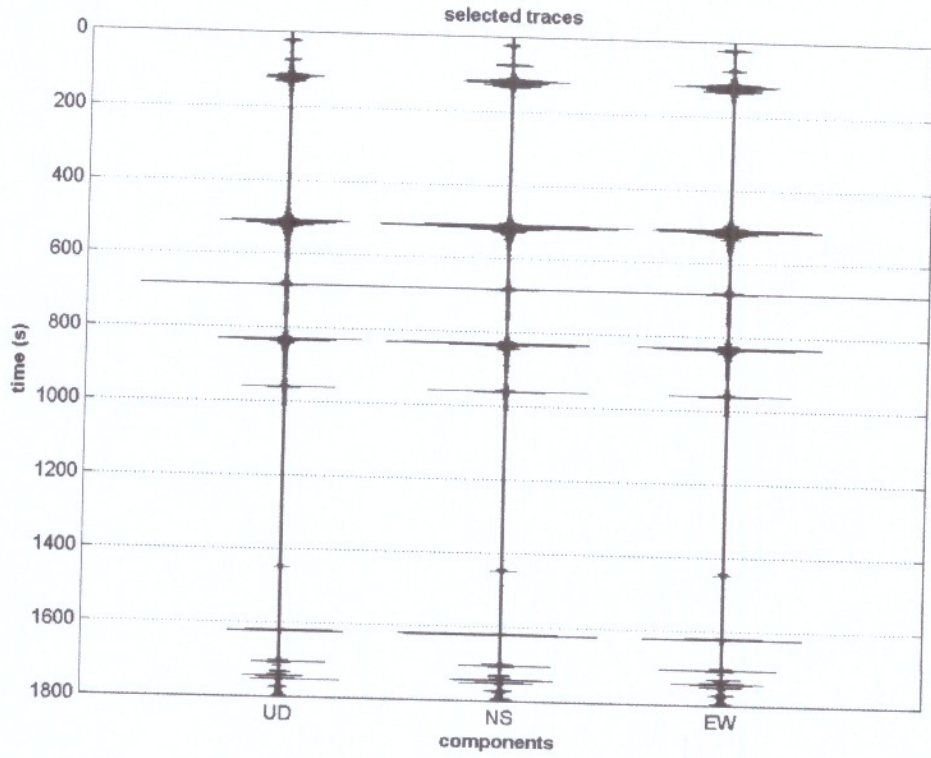
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $18.0 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $59072 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 10.4Hz (OK)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.9 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$]: $6.897 > 0.900$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.167 < 1.58$ (OK)





HV-8

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-08.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 28.6
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.3

Peak HVSR value: 3.4

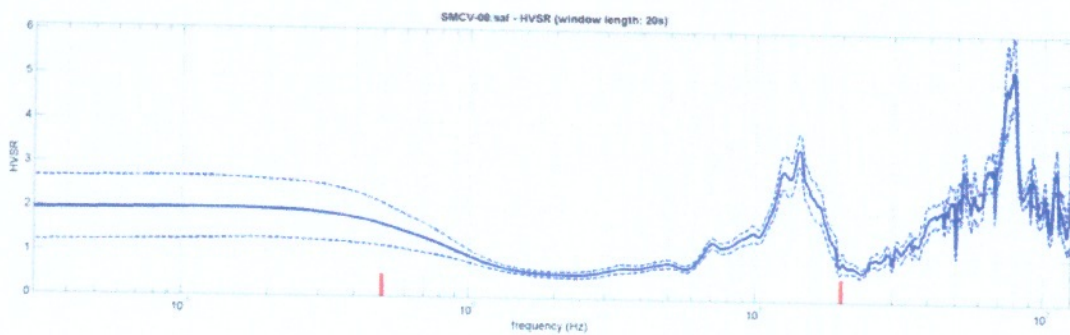
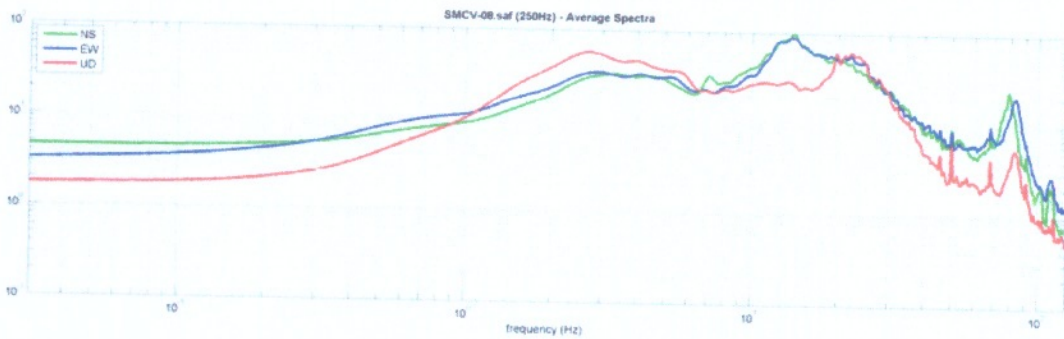
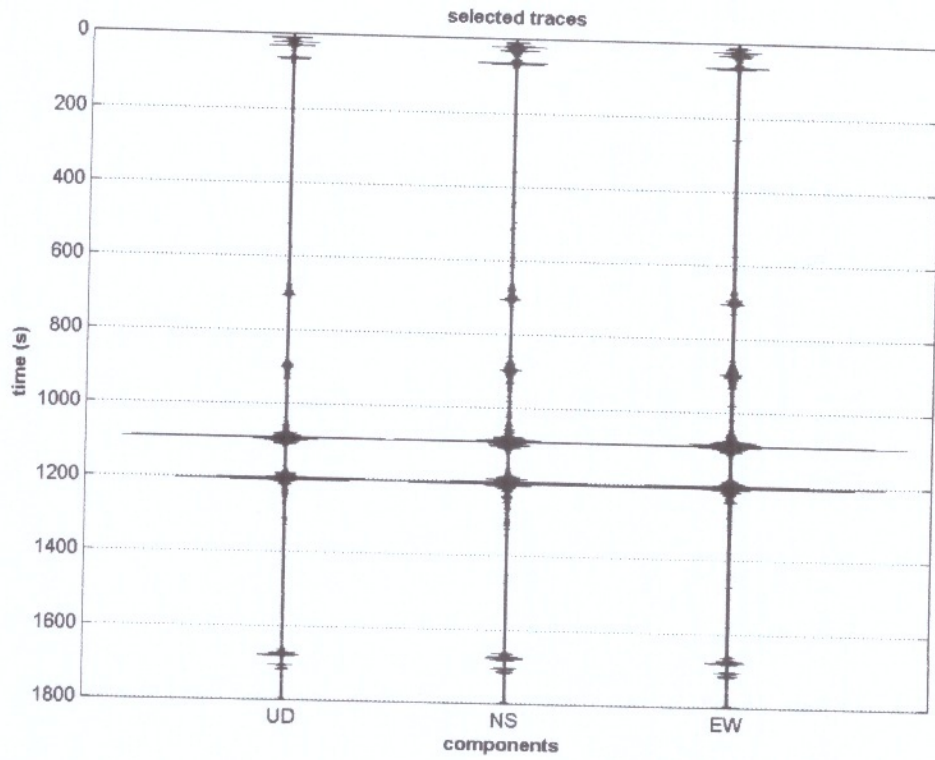
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: $14.3 > 0.5$ (OK)
- #2. [$nc > 200$]: $48571 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 10.8Hz (OK)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 17.7Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $3.4 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_A(f_0) < \epsilon(f_0)$]: $2.066 > 0.714$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.376 < 1.58$ (OK)





HV-9

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-09.saf
Sampling frequency (Hz): 250
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 28.7
Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.0

Peak HVSR value: 2.6

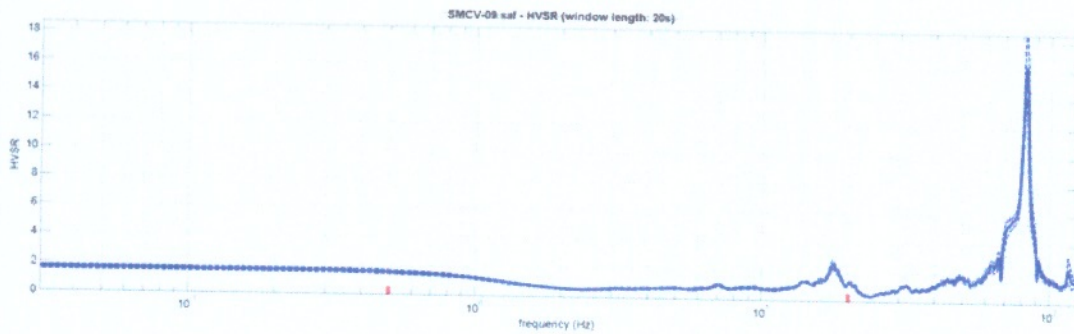
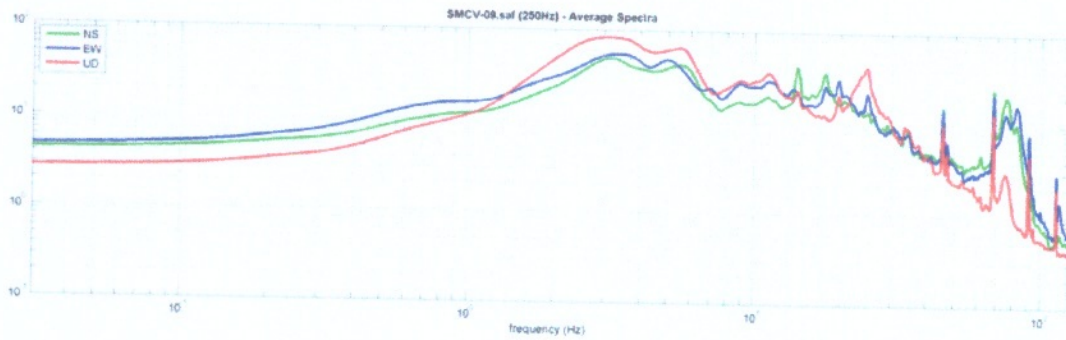
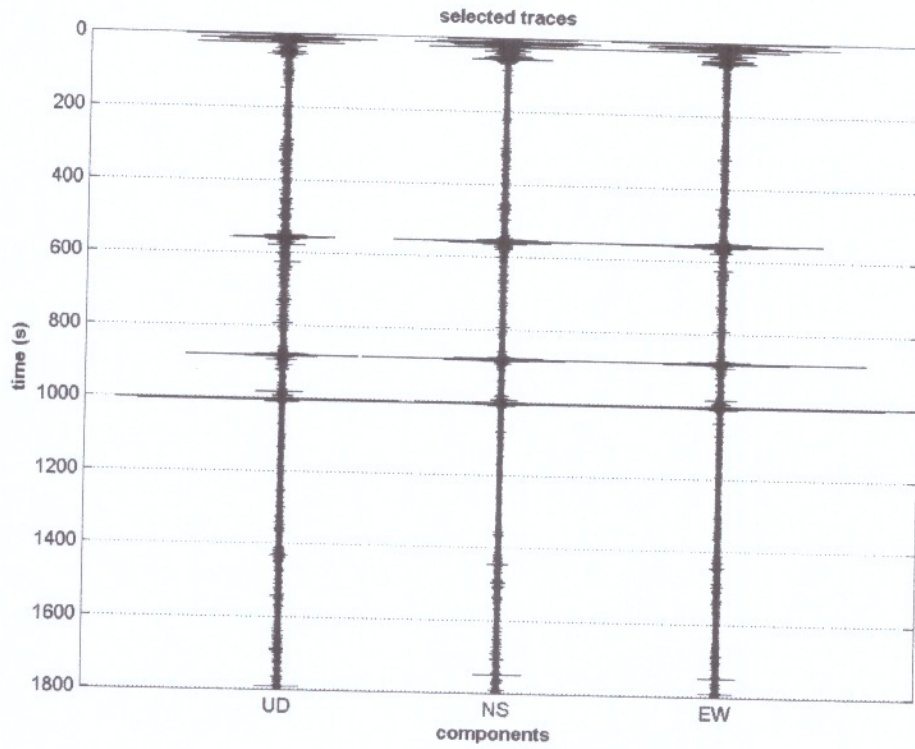
Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: $17.7 > 0.5$ (OK)
- #2. [$nc > 200$]: $60549 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 15.5Hz (OK)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 19.3Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.6 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_A(f_0) < \epsilon(f_0)$]: $1.901 > 0.885$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.284 < 1.58$ (OK)





HV-10

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SMCV-10.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 28.4

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 8.7

Peak HVSR value: 4.3

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $8.7 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $29405 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 6.6Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 10.6Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $4.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: $0.589 > 0.435$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.530 < 1.58$ (OK)



