



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Nikola Belić

SEIZMIČKA MIKROZONACIJA GRADA ZAGREBA

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Snježana Markušić

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Zagreb, 2026.



Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Science

Department of Geology

Nikola Belić

SEISMIC MICROZONATION OF THE CITY OF ZAGREB

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Prof. dr. sc. Snježana Markušić

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Zagreb, 2026

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za geologiju Hrvatskoga geološkog instituta u razdoblju od 2024.-2026. godine, pod mentorstvom prof. dr. sc. Snježane Markušić s Geofizičkog odsjeka PMF-a i prof. dr. sc. Marijana Kovačića s Geološkog odsjeka PMF-a, a uključivao je pregled arhivske građe, prikupljanje geofizičkih podataka te obradu svih arhivskih, prikupljenih i postojećih geofizičkih i geoloških podataka.

Geofizički podatci prikupljeni su tijekom 2024. godine i analizirani zajedno s dostupnim geofizičkim podacima opremom i programskim paketima Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu tijekom 2024. i 2025. godine. Za prikupljanje podataka korišteni su digitalni seizmografi Tromino (Moho s.r.l.) i Atom (Geometrics), a za obradu podataka korišteni su računalni programi Grilla (Moho s.r.l.) i SeisImager. Istraživanja su djelomično financirana projektima: SIGMATOPCRO (Seismic ground motion amplification induced by topographic irregularity in Northern Croatia - HRZZ IP-2022-10-1296) i GeoSAVAGE (Geological Evolution of the Western Sava Basin – Ages and Geodynamics), financiran u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti Europske unije 2021.-2026. – NextGenerationEU, Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske. Instrumenti i programski paketi korišteni u istraživanju nabavljeni su na projektima CRONOS (04-UBS- U-0002/22-90, funded from the Norwegian Financial Mechanism 2014-2021), SeisRICHerCRO (HRZZ IP-2020-02-3531), GEOSEKVA (HRZZ IP-06-2016-1854) i GeoTwinn (Horizon 2020).

Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje Grada Zagreba ustupio je geofizičke i inženjerskogeološke podatke, a Agencija za ugljikovodike iz Zagreba ustupila je podatke o dubokim bušotinama i seizmičke refleksijske profile. Seizmološke podatke ustupila je Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a digitalni model reljefa (DMR) ustupila je Državna geodetska uprava (DGU).

Za obradu i interpretaciju bušotinskih i seizmičkih refleksijskih podataka korištena je akademska licenca računalnog programa Schlumberger Petrel 2020, a za geološko modeliranje korišten je računalni program PetEx Move 2019. Za obradu kartografskih podataka korišten je računalni program ESRI ArcGIS Pro, za obradu teksta korišteni su računalni programi MS Office i MS 365 Copilot, a za obradu slika i priloga korišteni su Adobe Illustrator CS6, Adobe Pro 2020 i Affinity Designer 2.

Prvenstveno zahvaljujem mentorima, prof. dr. sc. Snježani Markušić i prof. dr. sc. Marijanu Kovačiću, na divnoj suradnji, stručnom i profesionalnom vodstvu i nesebičnoj potpori pri izradi ovog rada i tijekom studija.

Iskreno zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Davoru Stanku, izv. prof. dr. sc. Borni Lužar-Oberiteru, dr. sc. Marku Špeliću i dr. sc. Vlatku Brčiću na odvojenom vremenu, konkretnom pomoći i konstruktivnim savjetima koji su oplemenili ovaj rad.

Također zahvaljujem vodstvu i djelatnicima Zavoda za geologiju i Hrvatskoga geološkog instituta na potpori te svima koji su na bilo koji način pridonijeli ovom radu i mom profesionalnom razvoju.

Zahvaljujem Josipu Barbači, Bruni Mravlji, dr. sc. Lari Wachi, dr. sc. Tomislavu Kurečiću, Radovanu Filjku, dr. sc. Aniti Grizelj, dr. sc. Staši Borović, dr. sc. Laszlu Podolszkom, dr. sc. Krešimiru Petrinjaku, dr. sc. Ivanu Mišuru, dr. sc. Davidu Rukavini, dr. sc. Vlatku Gulamu, dr. sc. Davoru Pollaku, dr. sc. Branku Kordiću, dr. sc. Matiji Vukovskom, dr. sc. Nikoli Gizdavcu, dr. sv. Danijelu Ivaniševiću, Pavlu Periću, Marku Budiću, Josipi Maslač Soldo, Nikolini Sabljic, Tanji Zebić, Jasni Severec, Ivanu Sokaču, Tei Fluksi, Jasminki Martinjak te svim kolegama na vremenu, poklonjenom znanju, organizaciji i logistici pri izradi ovog rada.

Grazie alla Dott.ssa Sara Amoroso, al Dott. Giuseppe Di Giulio, al Dott. Maurizio Vassallo, alla Dott.ssa Stefania Tarantino, alla Dott.ssa Francesca Romana Cinti, alla Dott.ssa Daniela Pantosti, e al Dott. Luca Minarelli per la collaborazione e l'amicizia. Non vedo l'ora di lavorare insieme ai prossimi progetti!

Zahvaljujem Jasmini na podršci, kao i svojim roditeljima, obitelji i prijateljima koji su svih ovih godina stajali uz mene.

Mojim roditeljima.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Doktorski rad

Nikola Belić

Seizmička mikrozonacija grada Zagreba

Sažetak: Cilj istraživanja bio je izraditi kartu seizmičke mikrozonacije administrativnog područja Grada Zagreba. Geofizička mjerenja prikupljena u južnom i istočnom dijelu grada korištena su zajedno s geofizičkim podacima dostupnim za sjeverni dio Zagreba. Višekriterijska prostorna analiza interpretiranih geofizičkih, geoloških, seizmoloških i topografskih podataka omogućila je razlikovanje osam seizmičkih zona. Sjeverni i jugozapadni dijelovi grada s plitkom osnovnom stijenom i najvišim vrijednostima temeljne rezonantne frekvencije (f_0) pripadaju zonama 1 do 3, dok središnji dijelovi Zagreba, karakterizirani uglavnom nevezanim kvartarnim naslagama, pripadaju zonama 4 do 6. Ove naslage pokazuju nisku prosječnu brzinu smičnih valova u gornjih 30 metara (V_{s30}), a njihova relativno velika debljina omogućuje pojačanje (amplifikaciju) seizmičkih valova. Nekoliko manjih odvojenih područja lokalnih maksimuma, klasificirana su kao zone 7 i 8. U njima se očekuje naj snažniji seizmički efekt, t.j. potencijalna oštećenja građevina. Korelacija geoloških podataka na širem zagrebačkom području omogućila je identifikaciju potencijalno aktivnih rasjeda, koji su na temelju pružanja svrstani u skupine A, B i C. Reverzni rasjedi skupine A pružanja sjeveroistok-jugozapad koreliraju sa seizmološkim podacima regionalnih seizmogenih izvora, što je u skladu s prethodnim istraživanjima. Istraživanja provedena u ovom radu pružaju informacije o općim geofizičkim parametrima tla i podlogu za procjenu seizmičkih opasnosti područja grada Zagreba te za regionalnu procjenu seizmičkog rizika. Buduća detaljna geološka, seizmološka, geofizička i geotehnička istraživanja pružila bi kvantitativne informacije o aktivnim dijelovima seizmogenih rasjeda, numeričke procjene pojačanja seizmičkih gibanja tla i mogućih nestabilnosti (klizišta i likvefakcije) na području istraživanja.

Ključne riječi: seizmička mikrozonacija, procjena lokalnih uvjeta tla, HVSR, MASW kvartarne naslage, potencijalno aktivni rasjedi, Zagreb, Hrvatska

Rad sadrži: xx + 300 stranica, 70 slika, 7 tablica i XI priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, knjižnici Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i knjižnici Hrvatskog geološkog instituta.

Mentori: prof. dr.sc. Snježana Markušić, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb
prof. dr.sc. Marijan Kovačić, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Davor Stanko, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin
izv. prof. dr.sc. Borna Lužar-Oberiter, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb
dr.sc. Marko Špelić, znanstveni suradnik, HGI, Zagreb

Rad prihvaćen: 3. srpnja 2026. godine na sjednici Vijeća Geološkog odsjeka

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Doctoral thesis

Nikola Belić

Seismic Microzonation of the City of Zagreb

Abstract: The aim of this research was to create a seismic microzonation map of the administrative area of the City of Zagreb, Croatia. Geophysical measurements collected in the southern and eastern parts of the city were used together with geophysical data available for the northern part of Zagreb. Multi-criteria spatial analysis based on the interpreted geophysical, geological, seismological and topographical data enabled the distinction of eight seismic zones. The northern and southwestern parts of the city, with highest values of the fundamental resonance frequency (f_0) and shallow bedrock depth are assigned to zones 1 to 3, while the central parts of Zagreb, characterized by loose Quaternary deposits, are assigned to zones 4 to 6. These deposits represent a low average shear wave velocity in the upper 30 meters (V_{S30}), and their relatively large thickness allows for the amplification of seismic waves. Several smaller separate areas of local minimums are classified as zones 7 and 8, where the strongest seismic effect, i.e. potential damage to buildings is expected. Correlation of geological datasets across the wider Zagreb area has identified several potentially active faults, classified into groups A, B, and C based on their strike and orientation. Reverse NE – SW-striking faults in group A correlate with the seismological data, are consistent with the orientations of the seismogenic sources in the region, which aligns with previous studies. The research carried out in this paper provides information on general geophysical parameters of the soil and a basis for the assessment of seismic hazards in the area of the city of Zagreb and for the regional assessment of seismic risk. Detailed geological, seismological, geophysical and geotechnical research would provide quantitative information on the active parts of seismogenic faults, numerical estimates of the amplification of seismic ground motions and possible instabilities (landslides and liquefaction) in the research area.

Key words: seismic microzonation, assessment of local site effects, HVSR, MASW, Quaternary deposits, potentially active faults, City of Zagreb, Croatia

Thesis contains: xxi + 300 pages, 70 figures, 7 tables and XI appendices

Original in: Croatian

Thesis deposited in: National and University Library, Library of the Geological Department of the Faculty of Science and Library of the Croatian Geological Survey

Supervisors: Snježana Markušić, PhD, Full Professor, Faculty of Science, Zagreb
Marijan Kovačić, PhD, Full Professor, Faculty of Science, Zagreb

Reviewers: Davor Stanko, PhD, Associate Professor, Faculty of Geotechnics, Varaždin
Borna Lužar-Oberiter, PhD, Associate Professor, Faculty of Science, Zagreb
Marko Špelić, PhD, Research Associate, HGI-CGS, Zagreb

Thesis accepted: 03 July 2026, Department of Geology Council Meeting

SAŽETAK

Seizmička mikrozonacija predstavlja ključan alat za procjenu lokalne seizmičke opasnosti, koji se temelji na integraciji geoloških, geofizičkih, geotehničkih, topografskih i seizmoloških podataka. Iako se Zagreb nalazi u seizmički aktivnom području, dosad nije postojala sveobuhvatna karta seizmičke mikrozonacije za cijelo administrativno područje grada. Dosadašnja istraživanja bila su ili usmjerena na makrozonaciju, ili prostorno ograničena, prvenstveno na podsljemensku zonu, a neke karte prikazuju distribuciju procijenjenih, ne mjerenih vrijednosti zbog nedostatka podataka u određenim dijelovima grada. Posebno su nedovoljno istraženi južni i istočni dijelovi Zagreba, obilježeni debelim kvartarnim naslagama koje mogu značajno utjecati na pojačanje seizmičkih gibanja tijekom potresa.

Cilj ovog doktorskog rada bio je unaprijediti spoznaje o lokalnim seizmičkim uvjetima na području administrativnog područja grada Zagreba provođenjem sustavnih geofizičkih istraživanja na prethodno neistraženim područjima te integracijom dobivenih rezultata s postojećim geološkim i geofizičkim podacima. U istraživanju su korištene komplementarne metode: HVSR (*eng. Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), MASW (*eng. Multichannel Analysis of Surface Waves*) i MAM (*eng. Microtremor Array Measurements*). HVSR metodom pasivnog snimanja mikrosezmičkog nemira određena je temeljna rezonantna frekvencija tla (f_0), dok su MASW i MAM kombinacijom aktivnog snimanja površinskih valova i pasivnog višepostajnog snimanja mikrotremora omogućile određivanje profila brzine posmičnih valova (V_s) do 120 m te izračun srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{s30}). Na lokacijama bez aktivnih mjerenja, vrijednosti V_{s30} i dubina do čvrste stijene (H_{800}) procijenjene su pomoću empirijskih odnosa temeljenih na f_0 .

U istraživanju je prikupljeno 250 novih HVSR mjerenja u južnom i istočnom Zagrebu, koja su integrirana s postojećom bazom od oko 550 mjernih točaka. Osim toga, snimljeno je devet kombiniranih MASW-MAM profila, čime su dodatno definirana dubinska svojstva tla kvartarnih naslaga. Prikupljeni i arhivski geofizički podatci obrađeni su standardnim seizmičkim analizama te su poslužili za izradu karata temeljne rezonantne frekvencije (f_0), prosječne brzine posmičnih valova (V_{s30}) i dubine do čvrste stijene (H_{800}).

Radna hipoteza temeljila se na pretpostavci da su geofizički parametri (f_0 , V_{s30} , H_{800}) povezani s litološkim sastavom, geološkom građom, seizmičnošću područja i morfologijom terena te da izravno utječu na lokalni seizmički odziv. Veće dubine do čvrste stijene povezane su s jačim

pojačanjem seizmičkih valova, dok niže vrijednosti V_{S30} ukazuju na slabija i deformabilnija tla sklona većim deformacijama tijekom potresa.

Detaljna analiza HVSR podataka omogućila je izdvajanje temeljne rezonantne frekvencije (f_0) na oko 800 točaka te osam karakterističnih tipova krivulja. Na oko 225 lokacija u južnom dijelu grada identificirana je i sekundarna rezonantna frekvencija (f_1), koja odgovara plićim geološkim diskontinuitetima na dubinama od približno 5 do 40 m, dok f_0 ovdje predstavlja dublje strukture na dubinama od oko 60 do 200 m. Usporedba s litološkim podacima upućuje na to da f_1 označava granicu holocenskih sedimenata, dok f_0 vjerojatno odgovara prijelazu između pleistocenskih i starijih naslaga.

Zajednička analiza geoloških podataka područja Zagreba provedena je na temelju geoloških karata, bušotinskih podataka i refleksijskih seizmičkih profila. Izdvojeno je šest relevantnih geoloških horizonata, od predneogenske podloge do kvartarnih sedimenata. Identificirani su i potencijalno aktivni rasjedi koji dopiru do kvartarnih naslaga, pri čemu su razvrstani u tri skupine prema orijentaciji i kinematskim značajkama. Rasjedi skupine A pokazuju najveću podudarnost sa žarišnim mehanizmima potresa iz 2020. godine, a Sjevernomedvednički rasjed (SM), ili njegov dio, prema geološkom modelu vjerojatno odgovara seizmogenom izvoru.

Integracijom geofizičkih parametara s pojednostavljenom geološkom kartom, nagibom terena i raspodjelom seizmičnosti izrađena je karta seizmičke mikrozonacije Zagreba primjenom višekriterijske analize s težinskim faktorima. Karta obuhvaća površinu od 641 km² u rezoluciji 500 × 500 m i predstavlja prvi cjeloviti prikaz lokalnih seizmičkih uvjeta grada temeljen na velikom broju izravnih mjerenja.

Definirano je osam seizmičkih zona koje odražavaju slična geološka i geofizička svojstva, odnosno sličan očekivani seizmički odziv tla. Zone 1 do 3 obuhvaćaju područja s plićom čvrstom stijenskom podlogom, gdje se očekuje slabiji seizmički odziv. Zone 4 do 6 obuhvaćaju središnji dio grada te južni i istočni Zagreb, a karakteriziraju ih debele kvartarne naslage, niže vrijednosti V_{S30} i veće dubine do čvrste stijene, što pogoduje umjerenom očekivanom pojačanju seizmičkih gibanja. Zone 7 i 8 predstavljaju manja područja s najnižim rezonantnim frekvencijama i potencijalno najizraženijim lokalnim efektima.

Rezultati jasno pokazuju smanjenje vrijednosti temeljne frekvencije i brzine posmičnih valova u središnjem i južnom dijelu Zagreba u odnosu na sjeverni, podsljemenski dio. Uočena prostorna raspodjela dobro se podudara s regionalnim geološkim modelima, što potvrđuje pouzdanost primijenjene metodologije i interpretacije.

EXTENDED ABSTRACT

Seismic microzonation is a fundamental tool for the detailed assessment of local seismic hazard, based on the integration of geological, geophysical, geotechnical, topographical and seismological data at the urban scale. While the City of Zagreb is located in a seismically active region, a comprehensive seismic microzonation map covering its entire administrative area has not previously been available. Earlier studies were macroseismically oriented, or spatially limited, primarily focusing on the Medvednica foothill zone, and were often based on partial datasets or indirect estimations of geophysical parameters. In particular, the southern and eastern parts of the city—characterized by thick Quaternary deposits with a strong potential for seismic wave amplification—remained insufficiently investigated.

The primary objective of this doctoral research was to improve the understanding of local seismic site effects across Zagreb by conducting systematic geophysical investigations in previously unexplored areas and integrating newly acquired data with existing geological and deep geophysical datasets. The study combined passive and active geophysical methods, including the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr), Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), and Microtremor Array Measurements (MAM). The HVSr method was used to determine the fundamental site frequency (f_0), while MASW and MAM provided shear-wave velocity (V_s) profiles and enabled calculation of the average shear-wave velocity in the upper 30 m (V_{s30}). At locations without direct MASW measurements, V_{s30} and the depth to competent bedrock (H_{800}) were estimated using empirical relationships based on f_0 .

A total of 250 new HVSr measurements were collected in the southern and eastern parts of Zagreb, complementing an existing dataset of approximately 550 measurement points from previous studies. In addition, nine combined MASW-MAM profiles were recorded to better constrain subsurface properties, particularly in areas with thick sedimentary sequences. All datasets were processed using standard seismic analysis techniques and used to generate spatial maps of key geophysical parameters, including fundamental frequency (f_0), average shear-wave velocity (V_{s30}), and depth to bedrock (H_{800}).

The working hypothesis of the study was that geophysical parameters (f_0 , V_{s30} , H_{800}) are closely linked to lithological composition, geological structure, terrain morphology, and the spatial distribution of seismicity, and that these relationships can be used to define zones of similar seismic response. Greater depths to bedrock were assumed to be associated with

stronger amplification of seismic waves, while lower V_{S30} values indicate softer and more deformable soils prone to higher seismic response.

Detailed analysis of HVSR spectra resulted in the identification of eight characteristic curve types, grouped according to their dominant frequency and spectral shape. In addition to the fundamental frequency (f_0), a secondary frequency (f_1) was identified at approximately 225 locations. The interpretation supported by borehole data suggests that f_1 corresponds to the base of Holocene sediments, at depths between 5 and 40 meters, whereas f_0 likely represents the boundary between Pleistocene and older deposits, at depths of approximately 60 to 200 meters.

A comprehensive geological analysis of the wider Zagreb area was conducted using available geological maps, lithological data, borehole logs, and seismic reflection profiles. Based on integrated interpretation, major geological horizons were interpreted. Seismic reflection data revealed the presence of potentially active faults that cut across the youngest sediments. These faults were classified into three groups based on their orientation and kinematic characteristics. Group A faults (NE – SW-striking reverse and left-lateral transpressional faults) show the best agreement with focal mechanisms of the 2020 Zagreb earthquake, indicating the significant seismogenic potential of the North Medvednica Boundary Fault.

The integration of geophysical parameter maps with geological data, terrain slope, and earthquake magnitude distribution enabled the development of a seismic microzonation map using a multicriteria spatial analysis approach. Eight seismic zones were defined, representing areas with similar geological and geophysical characteristics and, consequently, similar expected seismic response.

Zones 1 to 3 are characterized by relatively shallow bedrock and higher soil stiffness, resulting in lower expected seismic amplification. These zones are generally associated with steeper terrain and more rigid geological formations. Zones 4 to 6 include the central urban area as well as southern and eastern Zagreb. These areas are characterized by thick Quaternary deposits, lower V_{S30} values, and greater bedrock depths, which contribute to moderate amplification of seismic motion. Zones 7 and 8 represent smaller, more localized areas with the lowest resonance frequencies and the highest expected amplification effects, making them particularly susceptible to strong local seismic response.

The results clearly indicate a decrease in both fundamental frequency (f_0) and shear-wave velocity (V_{S30}) in central and southern Zagreb compared to the northern Medvednica foothill

zone. This spatial pattern is consistent with the regional geological framework and comparable to existing regional shear-wave velocity models, confirming the reliability of the applied methods and interpretations.

The resulting seismic microzonation map covers an area of 641 km² with a spatial resolution of approximately 500 × 500 meters, making it the first comprehensive, measurement-based representation of local seismic conditions across the entire City of Zagreb. The map provides valuable information for spatial planning, urban development, land-use management, and seismic risk assessment. However, for detailed engineering design and construction, additional high-resolution, site-specific investigations are required in accordance with current seismic design standards, such as Eurocode 8.

Overall, the results of this research represent a significant contribution to the understanding of local site effects and their role in shaping seismic response in Zagreb. The produced geophysical datasets, maps, and geological models offer a reliable scientific basis for further seismic hazard and risk assessments. Future research should focus on detailed characterization of active fault segments, advanced numerical modeling of ground-motion amplification, and evaluation of secondary geohazards such as liquefaction and landslides, which may significantly influence earthquake impacts in urban environments.

SADRŽAJ:

SAŽETAK	vi
EXTENDED ABSTRACT.....	viii
1. UVOD	1
1.1. CILJEVI I HIPOTEZE	2
1.2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ I DEMOGRAFSKI KONTEKST	3
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	6
2.1. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	6
2.1.1. TEMELJNO GORJE	7
2.1.2. NEOGENSKA I KVARTARNA ISPUNA PBS-a.....	9
2.1.2.1. NASLAGE DONJEG I SREDNJEG MIOCENA (M ₂₋₅)	14
2.1.2.2. GORNJOMIOCENSKE NASLAGE (M ₆)	15
2.1.2.3. PLIOCENSKE NASLAGE (PI)	15
2.1.2.4. PLEISTOCENSKE NASLAGE (Q ₁)	16
2.1.2.5. HOLOCENSKE NASLAGE (Q ₂)	16
2.2. TEKTONIKA ŠIREG PODRUČJA.....	18
2.3. SEIZMIČKE KARAKTERISTIKE ŠIREG PODRUČJA	25
2.3.1. SEIZMIČNOST ZAGREBAČKOG PODRUČJA	27
2.3.2. KARTE SEIZMIČKE OPASNOSTI.....	33
2.3.2.1. GLOBALNA HIBRIDNA KARTA VS ₃₀	34
2.3.2.2. KARTA POTRESNIH ZONA REPUBLIKE HRVATSKE.....	35
2.3.2.3. KARTA TEKTONSKE AKTIVNOSTI GRADA ZAGREBA.....	36
2.3.2.4. PRELIMINARNA KVALITATIVNA KARTA ZONIRANJA ZAGREBAČKOG PODRUČJA PO POTENCIJALU LIKVEFAKCIJE	37
2.3.2.5. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE PODSLJEMENSKE ZONE GRADA ZAGREBA	38

2.3.2.6. KARTA ZONIRANJA PODRUČJA GRADA ZAGREBA S DIFERENCIRANIM GEOLOŠKIM KOMPLEKSIMA I PROCJENOM TIPA TLA PREMA EUROKODU 8 – EC8	39
3. PODATCI I METODE ISTRAŽIVANJA	40
3.1. SEIZMOLOŠKA MJERENJA	40
3.1.1. HVSJ MJERENJA	40
3.1.2. MASW MJERENJA	43
3.2. IZRAČUN PROSJEČNE BRZINE POSMIČNIH VALOVA I DUBINE DO OSNOVNE STIJENE	49
3.3. USMJERENI HVSJ	51
3.4. REFLEKSIJSKI GEOFIZIČKI PROFILI I DUBOKE BUŠOTINE	52
3.4.1. PRETVORBA SEIZMIČKIH REFLEKSIJSKIH PROFILA IZ VREMENSKE U DUBINSKU VERTIKALNU DOMENU	55
3.5. INTERPRETACIJA PODATAKA IZ PLITKIH BUŠOTINA	58
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	60
4.1. ULAZNE KARTE	61
4.1.1. KARTE GEOFIZIČKIH PARAMETARA	61
4.1.2. POJEDNOSTAVLJENA GEOLOŠKA KARTA	66
4.1.3. PRELIMINARNA KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA	67
4.1.4. KARTA NAGIBA TERENA	69
4.1.5. KARTA PROSTORNE RAZDIOBE MAGNITUDA POTRESA	70
4.2. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA	71
4.3. GEOLOŠKI MODEL ZAGREBAČKOG PODRUČJA	73
4.3.1. SEIZMIČKI HORIZONTI	74
4.3.2. GEOLOŠKI HORIZONTI	75
4.3.3. POTENCIJALNO AKTIVNI RASJEDI	76

5. RASPRAVA	79
5.1. DEFINIRANJE ZONA SEIZMIČKOG UTJECAJA NA POVRŠINI	79
5.2. USPOREDBA GEOFIZIČKIH MJERENJA S GEOLOŠKIM PODATCIMA 81	
5.3. USPOREDBA GEOLOŠKIH PODATAKA SA SEIZMOLOŠKIM PODATCIMA	86
5.4. NASTAVAK I NADogradnja Istraživanja	93
6. ZAKLJUČCI	95
7. POPIS LITERATURE	96
8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH RADOVA	108
9. PRILOZI	112
PRILOG I. POZICIJE TOČAKA HVSR MJERENJA	112
PRILOG II. KRIVULJE HVSR MJERENJA	121
PRILOG III. POZICIJE TOČAKA HVSR (DIGK)	246
PRILOG IV. MASW-MAM PROFILI	262
PRILOG V. POZICIJE TOČAKA MASW (DIGK)	271
PRILOG VI. POZICIJE DUBOKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE FORMACIJE LONJA UKLJUČUJUĆI INTERPRETACIJU MASTERLOGOVA (INA/AZU)	283
PRILOG VII. POPIS KORIŠTENIH REFLEKSIJSKIH SEIZMIČKIH PROFILA (INA/AZU)	285
PRILOG VIII. POZICIJE PLITKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE PLEISTOCENSKIH I HOLOCENSKIH NASLAGA (DIGK)	286
PRILOG IX. POZICIJE PLITKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE PLEISTOCENSKIH I HOLOCENSKIH NASLAGA (ARHIVA HGI)	290
PRILOG X. INTERPRETIRANI SEIZMIČKI PROFILI	292
PRILOG XI. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA S POTENCIJALNO AKTIVNIM RASJEDIMA	300

POPIS SLIKA

Slika 1. Geografski položaj Zagreba u odnosu na susjedne županije Republike Hrvatske i susjedne države (ArcGIS Basemap).	4
Slika 2. Administrativno područje grada Zagreba pokrivaju listovi OGK Zagreb (lijevo gore; Šikić i dr., 1977), Ivanić Grad (desno gore; Basch, 1983a) i Karlovac (lijevo dolje; Benček i dr., 1990).	6
Slika 3. Geološki stup; temeljno gorje OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1977).	8
Slika 4. Karta neformalnih litostratigrafskih jedinica i okolnih stijena temeljnog gorja Medvednice (Mišur 2017).	9
Slika 5. Geološki stup miocenske naslage PBS-a OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1977).	10
Slika 6. Stratigrafski odnos tercijarnih stijena u Panonskom Bazenu (prema Saftić i dr., 2003).	10
Slika 7. Litostratigrafski stup miocenskih naslaga Sjevernohrvatskog bazena (Pavelić i Kovačić, 2018).	11
Slika 8. Geološka karta šireg područja Zagreba (modificirana prema GKRH, 2009).	14
Slika 9. Litostratigrafija pliocensko-kvartarnih sedimenata u Krškom bazenu (prema: Poljak 2017).	17
Slika 10. Regionalna strukturna karta (modificirano prema Pamić i Tomljenović, 1998). ZMTZ – Zagorje-Mid-Transdanubijska zona, VZ – Vardarska zona, PL – Perijadranski lineament, BL – Balatonski lineament, ZZL – Zagreb-Zemplin lineament (iz: Mišur 2017).	18
Slika 11. Položaj Zagreba u odnosu na regionalne tektonske jedinice (modificirano prema Schmid i dr., 2020).	19
Slika 12. Geološka karta Medvednice i geološki profili s prikazanim strukturama podijeljenima prema tektonskim fazama (modificirano prema van Gelder i dr., 2015).	21
Slika 13. Geološki profil Hrvatskog zagorja (modificirano prema Vukovski i dr., 2024).	22
Slika 14. Karta aktivnih, vjerojatno aktivnih i potencijalno aktivnih rasjeda u Sloveniji i neposrednoj okolini (iz: Atanackov i dr., 2021).	22
Slika 15. Isječak iz internetskog kartografskog servisa Europske baze seizmogenih rasjeda – SHARE (SHARE – WP3.2 Map) i sažetak za Podsljemenski rasjed.	23
Slika 16. Isječak iz internetskog kartografskog servisa European Fault-Source Model 2020 (EFSM20) WFS (URL 3).	24
Slika 17. Distribucija žarišta potresa u zagrebačkom seizmičkom području (zeleno) u odnosu na tri susjedna seizmička područja: Novo Mesto – Krško (crveno), Karlovac – Metlika	

(plavo) i Pokupsko – Petrinja (žuto) za vremensko razdoblje od 373 pr. Kr. – 2019. (prema Hrvatskom katalogu potresa, kontinuirano nadopunjavana verzija prvobitno objavljena u Herak, M. i dr., 1996; iz Stanko i dr., 2020).	25
Slika 18. Mehanizmi pomaka u žarištu potresa – FPS (eng. Fault Plane Solutions) za Zagrebačko i Petrinjsko seizmičko područje (iz Herak, M., 2024).	26
Slika 19. Položaj žarišta umjerenih do jakih potresa koji su se dogodili od 1990. godine do danas (prema podacima iz Hrvatskoga kataloga potresa).	27
Slika 20. Fotografije štete nakon zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020. godine (Markušić i dr., 2020).	28
Slika 21. Prostorna raspodjela intenziteta glavnog zagrebačkog potresa iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020). Intenzitet (eng. intensity) je prikazan na dnu slike na ljestvici od I do X+.	29
Slika 22. Oštećenja građevina nakon zagrebačkog potresa (Markušić i dr., 2020).	30
Slika 23. Relativni pomak tla (mm/god) uzrokovan potresom koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine u Zagrebu; preuzeto s internetskog servisa EGM (eng. European Ground Motion Service). Plava boja u legendi predstavlja pozitivan, a crvena negativan vertikalni pomak.	30
Slika 24. Interferogram koji prikazuje kosezmičku deformaciju nakon potresa iz 22. ožujka 2020. godine u smjeru linije vida – LOS pomak (eng. line of sight displacement) (iz: Markušić i dr., 2020).	31
Slika 25. Procijenjena vrijednost brzine Vs30 prema Eurokodu 8 (Bisch i dr., 2012) na temelju horizontalnog ubrzanja (iz: Markušić i dr., 2020).	32
Slika 26. Moguća pojava likvefakcija u istočnom dijelu Zagreba; GoogleEarth satelitska snimka iz ožujka 2020. godine (a) i iz svibnja 2020. godine (b). Dijagram ovisnosti pojave likvefakcija o udaljenosti od epicentra i magnitudi potresa (c) (Obermeier 1994).	33
Slika 27. Isječak iz globalne hibridne karte prosječnih brzina posmičnih valova u vršnih 30 metara (Heath i dr., 2020). U legendi (desno) su procijenjene vrijednosti brzine Vs30.	34
Slika 28. Karta potresnih područja Republike Hrvatske za očekivanu vrijednost vršnog ubrzanja tla za povratno razdoblje od 475 godina na osnovnoj stijeni (Herak, M. i dr., 2011).	35
Slika 29. Isječak iz karte tektonske aktivnosti grada Zagreba (Đapo i dr., 2020).	36
Slika 30. Preliminarna kvalitativna karta zoniranja zagrebačkog područja po potencijalu likvefakcije s lokacijama gdje je dokumentirana pojava likvefakcije uslijed zagrebačkog potresa iz 1880. godine (Veinović i dr., 2007).	37

Slika 31. Karta seizmičke mikrozonacije Podsljemenske zone grada Zagreba prema standardima Eurokoda 8 (Miklin i dr., 2019).	38
Slika 32. Karta zoniranja područja grada Zagreba s diferenciranim geološkim kompleksima i procjenom tipa tla prema Eurokodu 8 (Podolszki i dr., 2025).	39
Slika 33. Prijenosni uređaj za mjerenje ambijentalnih vibracija PIC 87 (Nakamura, 1989)...41	
Slika 34. Primjer spektralne krivulje frekvencije horizontalnih (zelena i plava linija) i vertikalnog spektra (ružičasta linija) u točki mjerenja ZGN_248. Mjesto gdje su horizontalni i vertikalni spektar najviše razmaknuti (u crnom okviru) označava temeljnu (rezonantnu) frekvenciju (f_0), koja na H/V krivulji predstavlja vršnu vrijednost omjera horizontalne i vertikalne komponente.....	42
Slika 35. Digitalni tomograf MOHO Tromino.	42
Slika 36. Položaj točaka HVSR mjerenja (ZGN_1 – ZGN_250) prikupljenih tijekom 2024. godine u ovom istraživanju – plavo te točaka preuzetih iz ranije studije (Miklin i dr., 2007, 2018) – ljubičasto.....	43
Slika 37. Sustav za seizmološka mjerenja Geometrics.	46
Slika 38. Rezultat MASW mjerenja u točki ZGP_6: disperzijska krivulja (a), model brzine posmičnog vala (b) i H/V krivulja (c).....	47
Slika 39. Položaj geofizičkih profila ZGP_1 – ZGP_9 (žuto) te MASW točaka mjerenja iz studije DIGK (Miklin i dr., 2019) (zeleno) u koordinatnom sustavu HTRS-96.....	48
Slika 40. Litološki profili gradskog područja Varaždina. Tumač: 1 – šljunak; 2 – pijesak; 3- mulj; 4 – glina; 5 – nepropusne stijene; 6 – pretpostavljeni rasjed; 7 – bušotina (Urumović i dr., 1990; arhiva Geotehničkog fakulteta u Varaždinu).....	50
Slika 41. Usmjerenano pojačanje (amplifikacija) HVSR krivulje i horizontalna polarizacija na dijagramu smjera (iz Pischiutta i dr., 2022).....	52
Slika 42. Primjer HVSR mjerenja na kojem je vidljiv smjer pojačanja za azimut od oko 75°.	52
Slika 43. Položaj dubokih bušotina i interpretiranih refleksijskih seizmičkih profila (AZU) u odnosu na administrativno područje grada Zagreba.	53
Slika 44. Položaj interpretiranih refleksijskih seizmičkih profila (AZU) u odnosu na administrativno područje grada Zagreba (u vremenskoj domeni – TWT).	54
Slika 45. Izračun prosječne intervalne brzine na temelju karotažnih mjerenja. MD (eng. Prikaz prosječnihmeasured depth) predstavlja dubinu od površine, a TWT (eng. Two Way Time) – dvostruko vrijeme nailaska seizmičkih valova.	56

Slika 46. Grafikon intervalnih brzina bušotina Dubrava-2, Jarun-1 i Nedjelja-1. prikazuju odnos intervalne brzine izražene u dvostrukom vremenu (eng. Two Way Time – TWT) (ms) i dubine (m).....	57
Slika 47. Položaj inženjerskogeoloških bušotina (zeleno: Miklin i dr., 2007, 2018) i hidrogeoloških bušotina (plavo: Arhiva HGI).....	59
Slika 48. Karta temeljne rezonantne frekvencije tla – f_0 za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.	61
Slika 49. Tipične krivulje HVSR-a za zone SHP 1 do SHP 8 – žuta boja predstavlja intervale temeljne frekvencije – f_0 , a narančasta intervale sekundarne frekvencije – f_1	62
Slika 50. Karta brzine posmičnih valova u gornjih 30 m – V_{S30} za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.	64
Slika 51. Karta dubine do stijenske podloge – H_{800} za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.	65
Slika 52. Pojednostavljena geološka karta administrativnog područja grada Zagreba. Geološke jedinice su klasificirane prema očekivanim geofizičkim parametrima: 1 – holocenske naslage (Q_2), 2 – pleistocenske naslage (Q_1), 3 – pliocenske naslage (P1), 4 – gornjomiocenske naslage (M_6), 5 – donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M_{2-5}) i 6 – stijene temeljnog gorja.....	66
Slika 53. Preliminarna karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba prikazuje raspodjelu homogenog seizmičkog ponašanja – SHP zone (iz Belić i dr., 2025).	67
Slika 54. Karta nagiba tla na području unutar administrativnih granica grada Zagreba. Nagib terena je podijeljen u osam klasa: 0-15°, 15-25°, 25-35°, 35-40°, 40-50°, 50-60°, 60-70° i 70-87°.....	69
Slika 55. Karta prostorne razdiobe magnituda potresa na području unutar administrativnih granica grada Zagreba. Vrijednosti magnituda su podijeljene u osam klasa: <2.5, 2.5-3.0, 3.0-3.5, 3.5-4.0, 4.0-4.5, 4.5-5.0, 5.0-5.5 i >5.5.....	70
Slika 56. Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba s raspodjelom seizmičkih zona 1-8 prema gradskim četvrtima administrativnog područja grada.....	72
Slika 57. Seizmički horizonti područja unutar administrativnih granica grada Zagreba.....	74
Slika 58. Geološki horizonti u odnosu na administrativno područje grada Zagreba s vertikalnim uvećanjem 5 puta. Tamno plavo – holocenske naslage (Q_2), Svijetlo plavo – pleistocenske naslage (Q_1), Žuto – gornjomiocenske naslage (M_6), Narančasto – donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M_{2-5}) i Crveno – stijene temeljnog gorja.	75

Slika 59. Potencijalno aktivni rasjedi šireg zagrebačkog područja u odnosu na interpretirane seizmičke profile i geol. građu: holocenske naslage (Q2); pleistocenske naslage (Q1); pliocenske naslage (P1); gornjomiocenske naslage (M6); donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M2-5) i stijene temeljnog gorja (Pz-Mz).	77
Slika 60. Primjeri potencijalno aktivnih rasjeda na širem zagrebačkom području (refleksijski seizmički profili HZ-1-87 i RES-1-77).	78
Slika 61. Litološki markeri korišteni u interpretaciji dubokih naftnih i geotermalnih bušotina u odnosu na administrativno područje grada Zagreba. Vertikalno mjerilo je uvećano 5 puta.	82
Slika 62. Geološka interpretacija bušotina (a), u usporedbi sa shematskim geološkim stupom Savske depresije (b).	83
Slika 63. Masterlog izvješća bušotina Dubravka-1 (a) i Šalata-1 (b).	84
Slika 64. Hidrogeološki profil zagrebačkog vodonosnika (Larva i dr., 2022). Crveni kvadrat približno označava dio vodonosnika unutar administrativnog područja grada Zagreba.	86
Slika 65. Prognozni geološki profili A-B, C-D i E-F u odnosu na geološke jedinice, rasjede i žarišta potresa od 1759. godine do danas (prema Herak, M. i dr., 1996.; Markušić i Herak, M., 1999.) – sive točke i potresa zagrebačke serije iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020) koji su se dogodili unutar 4 sata od glavnog i najjačeg potresa – crvene točke.	87
Slika 66. Seizmotektonski model šireg zagrebačkog područja s vertikalnim uvećanjem 5x. Rasjedi grupe A: Sjevernomedvednički (SM, i Podsljemenski (PO) u odnosu na epicentre umjereno jakih do jakih potresa koji su se dogodili u razdoblju od 1880. do 2024. godine (crne točke; Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999) te seriju zagrebačkih potresa iz 2020. godine (crvene točke; Markušić i dr., 2020).	89
Slika 67. Mehanizmi pomaka u žarištu potresa glavnog zagrebačkog potresa iz 22. ožujka 2020. godine te najjačeg naknadnog potresa (Markušić i dr., 2020).	90
Slika 68. Prognozni geološki profil A-B.	91
Slika 69. Prognozni geološki profil C-D.	91
Slika 70. Prognozni geološki profil E-F.	92

POPIS TABLICA

Tablica 1. Položaj i površine zagrebačkih gradskih četvrti (URL 1).....	5
Tablica 2. Pregled geoloških formacija i litoloških opisa naslaga istraživanog područja.	12
Tablica 3. Klasifikacija tla prema Eurokodu 8 koji obuhvaća skupinu normi za konstrukcijsko i geotehničko projektiranje građevina (CEN, 2004).	45
Tablica 4. Popis geofizičkih profila ZGP_1 – ZGP_9, njihov položaj i lokacija.	46
Tablica 5. Rasponi parametara lokalnog tla; temeljne rezonantne frekvencije (f_0), srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{s30}) i dubinama osnovne stijene u uspredbi s litološkim sastavom na temelju GKRH, 2009 (Stanko i Markušić, 2020).	49
Tablica 6. Izračun prosječne intervalne brzine na temelju karotažnih mjerenja.....	58
Tablica 7. Potencijalno aktivni rasjedi šireg zagrebačkog područja:.....	77

POPIS KRATICA I POJMOVA

AZU – Agencija za ugljikovodike, Zagreb

Detachment rasjed (*engl. detachment fault*) je plitko položen, niskokutni rasjed koji razdvaja dvije velike tektonske jedinice i omogućuje horizontalno ili subhorizontalno kretanje stijenskih masa na vrlo velikim udaljenostima.

DIGK – Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba

DISS – Baza podataka pojedinačnih seizmogenih izvora (*eng. Database of Individual Seismogenic Sources*)

DMR – digitalni model reljefa

EC8 – Eurokod 8 – europski standard za projektiranje seizmički otpornih konstrukcija

EDSF13 – Europska baza podataka seizmogenih rasjeda (*eng. European Database of Seismogenic Faults*)

EEA – Europska agencija za zaštitu okoliša (*eng. European Environment Agency*)

EFSM – Europski model rasjeda i izvora potresa (*eng. European Fault-Source Model*)

EGM – Europska služba za praćenje gibanja tla (*eng. European Ground Motion Service*)

f_0 – temeljna rezonantna frekvencija

f_1 – sekundarna rezonantna frekvencija

FPS – mehanizam pomaka u žarištu potresa (*eng. Fault Plane Solution*)

G-DIP – Globalni skup podataka o nagibima rasjednih ploha (*eng. Global Dip: a collection of earthquake fault dip angles*)

GKRH – Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000

GIS – geoinformacijski sustav

GreDaSS – Grčka baza podataka seizmogenih izvora (*eng. Greek Database of Seismogenic Sources*)

H_{800} – dubina do temeljne stijene

hPGA – horizontalna vršna ubrzanja tla

HVSR – omjer horizontalnog i vertikalnog spektra mikrosezmičkog nemira (*eng. Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Hz – jedinica za frekvenciju, odnosno koliko se puta neki periodični proces ponovi u jednoj sekundi (1 ciklus u sekundi)

INA – Industrija nafte, Zagreb

InSAR – Interferometrijski radarski sustav sa sintetičkom aperturom (*eng. Interferometric Synthetic Aperture Radar*)

Ma — megaannum (1 000 000 godina)

MAM – mjerenja mikroseizmičkog nemira u rasporedu postaja mjerenja (*eng. Microtremor Array Measurements*)

MASW – višekanalna analiza površinskih valova (*eng. Multichannel Analysis of Surface Waves*)

MCS – Mercalli-Cancani-Sieberg makroseizmička ljestvica

MD – Measured depth

MSK – Medvedev-Sponheuer-Karnik makroseizmička ljestvica

Mw max. – maksimalna očekivana momentna magnituda

NCB – Sjevernohrvatski bazen (*eng. North Croatia Basin*)

OGK 100 – Osnovna geološka karta mjerila 1:100000

OGK 50 – Osnovna geološka karta mjerila 1:50000

PBS – Panonski bazenski sustav

Rake – relativni smjer kretanja krila rasjeda

SESAME – Upute za korištenje i analizu snimaka mikroseizmičkog nemira pri procjeni lokalnih uvjeta tla (*eng. Site EffectS assessment using Ambient Excitations*)

SHARE – Europska harmonizacija seizmičkog hazarda (*eng. Seismic Hazard Harmonization in Europe*)

Slip rate – brzina (stopa) pomaka rasjeda

Strike – pružanje rasjeda

TWT – dvostruko vrijeme nailaska seizmičkog vala (*eng. Two Way Time*)

USGS – Geološka služba Sjedinjenih Američkih Država (*eng. United States Geological Survey*)

URL – Intenetska adresa (*eng. Uniform Resource Locator*)

V_{S30} – prosječna brzina posmičnih valova u gornjih 30 m

WFS – internetski GIS vektorski servis (*eng. Web Feature Service*)

WMS – internetski GIS rasterski servis (*eng. Web Map Service*)

1. UVOD

Prirodni hazard definira se kao vjerojatnost pojave potencijalno štetnog fenomena u određenom vremenu i prostoru, pri čemu seizmički hazard uključuje potrese i prateće procese poput podrhtavanja tla, klizišta i likvefakcije (Varnes, 1984; Levson i dr., 2003). Za procjenu seizmičkog hazarda koriste se karte zoniranja koje prikazuju prostornu raspodjelu opasnosti. Osnovna razina predstavlja seizmičku makrozonaciju, kojom se na nacionalnoj ili regionalnoj razini definiraju zone sličnih seizmoloških i geoloških svojstava uz pridruživanje parametara poput vršnog ubrzanja tla (PGA). Takve karte ne uzimaju u obzir lokalne uvjete tla, zbog čega se razvija seizmička mikrozonacija – detaljniji pristup kartiranju koji analizira lokalne geološke i geotehničke uvjete te njihov utjecaj na pojačanje potresnog gibanja, klizanja tla i likvefakcija (Mihalić i dr., 2011).

Seizmička mikrozonacija je postupak procjene i kartiranja lokalnih seizmičkih hazarda na razini naselja ili gradskih četvrti. Uključuje prikupljanje geoloških, seizmoloških, inženjersko-geoloških i geotehničkih podataka, geofizička mjerenja i seizmičku analizu, a može uključivati geotehničke istražne radove – bušotine (Yamazaki i Maruyama 2011). Lokalni uvjeti tla predstavljaju najvažniji čimbenik u definiranju površinskog seizmičkog odziva, pri čemu procjena njihovog utjecaja ovisi o razini zoniranja i mjerilu karte. Metode zoniranja razvijene su kroz tri razine detaljnosti (I–III), od analiza temeljenih na postojećim podacima, geoloških, geofizičkih i geotehničkih istraživanja, do naprednih geotehničkih istraživanja i numeričkog modeliranja, pri čemu kvaliteta rezultata izravno ovisi o dostupnosti i pouzdanosti ulaznih podataka (Mihalić i dr., 2011; ISSMGE, 1999). Primjer treće, najviše razine je seizmička mikrozonacija provedena na području L'Aquile (Tallini i dr., 2024), u kojoj je na temelju integracije geoloških, geotehničkih i geofizičkih parametara te realnih akceleroograma (M_w 5.5–7), provedeno 2D numeričko modeliranje lokalnog seizmičkog odziva.

Za administrativno područje grada Zagreba do sada nije izrađena cjelovita karta seizmičke mikrozonacije. Karta potresnih područja Republike Hrvatske (Herak, D. i dr., 2011) po definiciji pripada kartama seizmičke makrozonacije (Mihalić i dr., 2011), budući da prikazuje vršno ubrzanje tla (PGA) za povratna razdoblja od 95, 225 i 475 godina. Karta seizmičke mikrozonacije Podsljemenske zone Grada Zagreba je detaljna, ali prostorno ograničena na sjeverni dio grada (Miklin i dr., 2019). Ostale karte uzimaju u obzir samo određene geofizičke parametre (Heath i dr., 2020), ili se pak djelomično temelje na njihovoj procjeni (Đapo i dr. 2020; Podolszki i dr., 2025).

Istraživanje u ovoj disertaciji bilo je usmjereno na identifikaciju i klasifikaciju zona s različitim seizmičkim odzivom, što odgovara drugoj razini detaljnosti. Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba omogućuje pouzdanije procjene seizmičke opasnosti (hazarda) unutar navedenih zona, a što doprinosi sigurnijem i ekonomski isplativijem projektiranju građevina i infrastrukture.

1.1.CILJEVI I HIPOTEZE

Ciljevi ovog doktorskog rada bili su:

1. provesti geofizička mjerenja ambijentalnog šuma (mikroseizmičkog nemira) u svrhu određivanja osnovne rezonantne frekvencije tla (f_0);
2. provesti geofizička mjerenja i višekanalne analize površinskih valova u korelaciji s izmjerenim brzinama S potresnih valova odrediti srednju brzinu posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{S30}) te zajedno s metodom pasivnih višepostajnih mjerenja mikroseizmičkog nemira na profilima u najdubljem dijelu kvartarnih naslaga i izdvojiti seizmičke horizonte;
3. u točkama gdje nisu provedena mjerenja višekanalne analize površinskih valova na temelju osnovne frekvencije tla (f_0) izračunati srednju brzinu posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{S30}) i dubinu do čvrste stijene (H_{800}) te izraditi karte navedenih geofizičkih parametara;
4. analizirati postojeće geološke podatke i izdvojiti kategorije stijena prema litološkim karakteristikama te izraditi odgovarajuću geološku kartu;
5. izdvojiti geološke horizonte i potencijalno aktivne rasjede te izraditi geološki model šireg područja Zagreba;
6. izraditi kartu nagiba terena i kartu distribucije žarišta potresa u svrhu procjene podložnosti na geohazarde (klizišta i likvefakcije) te procjene očekivanog seizmičkog utjecaja na temelju prošlih potresa;
7. izraditi kartu seizmičke mikrozonacije administrativnog područja grada Zagreba na osnovi višekriterijske analize karata geofizičkih parametara (f_0 , V_{S30} i H_{800}), geološke karte, karte nagiba terena i karte distribucije žarišta potresa te izdvojiti zone seizmičkog utjecaja

Geofizička mjerenja provedena su sustavno u područjima gdje do sada nije bilo takvih podataka, a integracijom prikupljenih i dostupnih plitkih i dubokih geofizičkih te geoloških podataka ostvareni su svi navedeni ciljevi istraživanja temeljeni na sljedećim hipotezama:

- Polazna hipoteza bila je postojanje međuovisnosti geofizičkih parametara: osnovne frekvencije tla (f_0), srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{S30}), dubine do čvrste stijene (H_{800}).
- Seizmičke zone mogu se klasificirati prema rasponima geofizičkih parametara, karakteristika materijala koji grade geološke jedinice, nagiba terena i distribucije žarišta potresa.
- Prostorni raspored seizmičkih zona uvjetovan je geološkim sastavom i strukturama, a karakteriziran svojstvima geofizičkih parametara temeljnog tla, ili površinskog dijela stijene na koji se prenosi opterećenje građevine.
- U područjima gdje je dubina do čvrste stijene (H_{800}) veća, dolazi do pojačanja (amplifikacije) potresnih valova, a posljedice uzrokovane potresom su značajnije i razornije u odnosu na teren kojem strukturu čini čvrsta stijena.
- Nekoherentnu strukturu tla karakterizira niža vrijednost brzina V_{S30} , a time je manja i čvrstoća temeljnog tla. Manje brzine znače manju dinamičku krutost i posmičnu čvrstoću tla, što tlo čini podložnijim slijeganju i pojačanom učinku potresa.
- Kada su osnovna frekvencija tla (f_0) i frekvencija neke građevine sličnih vrijednosti, u trenutku potresa potencijalno može doći do rezonancije tih dviju frekvencija i posljedično, većeg oštećenja same građevine.

1.2.GEOGRAFSKI POLOŽAJ I DEMOGRAFSKI KONTEKST

Zagreb je demografski najveći grad Republike Hrvatske, a ujedno predstavlja administrativno, gospodarsko, znanstveno i kulturno središte države. Jedini je glavni grad u svijetu čije ime započinje slovom Z i jedini europski glavni grad koji posjeduje i upravlja skijalištem, a baš kao i u Beču, unutar grada se nalazi vinska cesta, što dodatno ističe njegov geografski i kulturni identitet. Smješten je u sjeverozapadnom dijelu kontinentalne središnje Hrvatske, na jugozapadnom rubu Panonske nizine. Glavna geografska obilježja istraživanog područja su planina Medvednica, s najvišim vrhom Sljeme (1033 m.n.m) i rijeka Sava. Grad Zagreb je zasebna teritorijalna, upravna i samoupravna jedinica Republike Hrvatske i ima status jedne od

ukupno 21 županije. Sa sjeverne strane graniči s Krapinsko-zagorskom županijom, a sa svih ostalih strana je okružen Zagrebačkom županijom. (Slika 1).




Slika 1. Geografski položaj Zagreba u odnosu na susjedne županije Republike Hrvatske i susjedne države (ArcGIS Basemap.).

Prema popisu stanovništva iz 2021. godine Zagreb broji 767.131 stanovnika, dok šire zagrebačko područje, koje obuhvaća Zagrebačku i Krapinsko-zagorsku županiju, okuplja više od milijun stanovnika te time predstavlja najveću demografsku i gospodarsku aglomeraciju u Republici Hrvatskoj. Gotovo četvrtina stanovnika Reublike Hrvatske danas živi u ovom seizmički umjerenom aktivnom području. Zagreb danas obuhvaća prostor od vrha Medvednice do Vukomeričkih gorica u smjeru sjever-jug te između gradova Zaprešića i Dugog Sela u smjeru istok-zapad, ukupne površine 641,4 km². Administrativno područje grada danas je podijeljeno na 17 gradskih četvrti (Tablica 1).

Tablica 1. Položaj i površine zagrebačkih gradskih četvrti (URL 1)

Br.	Gradska četvrt	Površina (km ²)
1	Donji grad	3.01
2	Gornji grad – Medveščak	10.12
3	Trnje	7.37
4	Maksimir	14.35
5	Peščenica – Žitnjak	35.30
6	Novi Zagreb – istok	16.54
7	Novi Zagreb – zapad	62.59
8	Trešnjevka – sjever	5.83
9	Trešnjevka – jug	9.84
10	Črnomerec	24.33
11	Gornja Dubrava	40.28
12	Donja Dubrava	10.82
13	Stenjevec	12.18
14	Podsused – Vrapče	36.05
15	Podsljeme	60.11
16	Sesvete	165.26
17	Brezovica	127.45
	UKUPNO	641.43



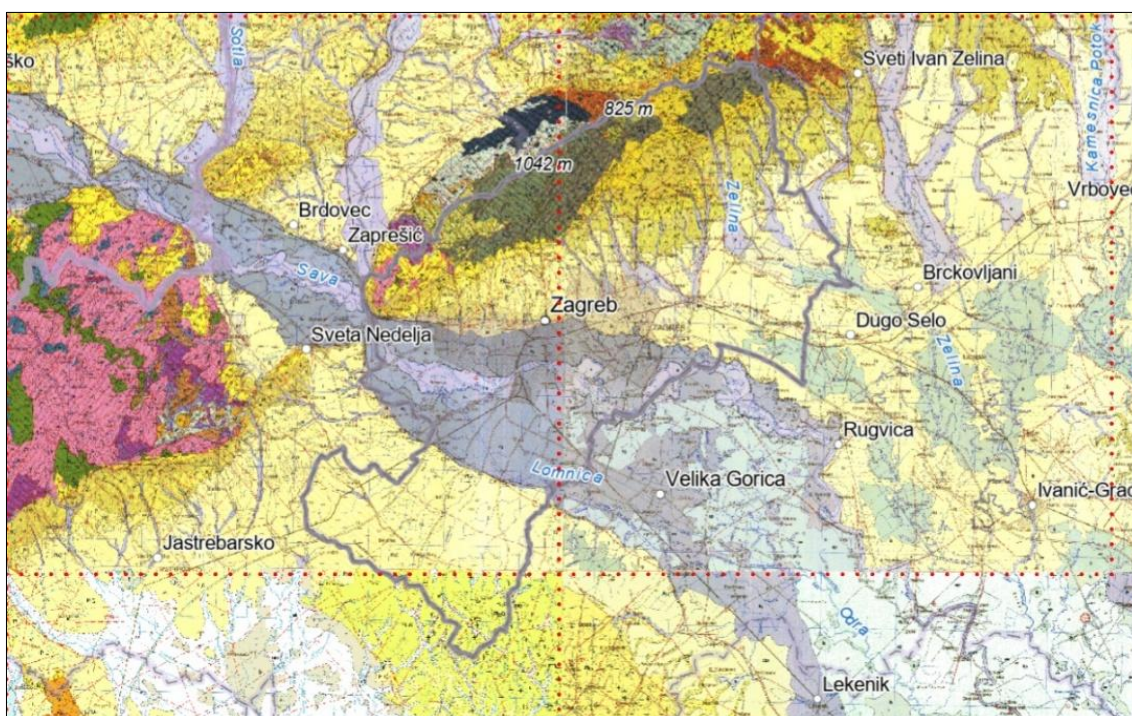
The map shows the geographical layout of Zagreb, divided into 17 numbered districts. District 17 (Brezovica) is the largest and is located to the south and west of the city center. District 16 (Sesvete) is the second largest and is located to the northeast. District 7 (Novi Zagreb – zapad) is the largest central district. Other districts are distributed across the city, with some like 15 (Podsljeme) and 14 (Podsused – Vrapče) being large peripheral areas.

Zbog svega navedenog potrebno provesti geofizička i geološka istraživanja s ciljem razumijevanja geofizičkih parametara i svojstava materijala koji izgrađuju temeljno tlo i njihovu rasprostranjenost. Takvi podaci omogućiti će bolje prostorno planiranje i upravljanje rizicima od katastrofa u svrhu zaštite stanovništva i infrastrukture.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Geološku građu istraživanog područja čine stijene vrlo različitog sastava i starosti. Geološke jedinice koje grade istraživano područje opisane su i prikazane na geološkim kartama, geološkim stupovima i u pripadajućim tumačima tri lista Osnovne geološke karte 1:100000 (OGK 100): Zagreb, Ivanić-Grad i Karlovac (Slika 2; Šikić i dr., 1977; Basch, 1983a, 1983b; 1979; Benček i dr., 1990).



Slika 2. Administrativno područje grada Zagreba pokrivaju listovi OGK Zagreb (lijevo gore; Šikić i dr., 1977), Ivanić Grad (desno gore; Basch, 1983a) i Karlovac (lijevo dolje; Benček i dr., 1990).

Za izradu OGK 100 provedena su opsežna geološka, paleontološka, strukturno-geološka i dr. istraživanja. Bitno je napomenuti da karta prikazuje kronostratigrafske jedinice, odnosno skupove različitih stijena istih starosti te strukturne elemente: rasjede, bore, navlake i dr. Osnovna geološka karta 1:50.000 (OGK 50), koja je trenutno u izradi za neka područja i predstavlja novi standard, temelji se na litostratigrafskom principu, tj. geološke jedinice izdvajaju se na temelju litologije i stratigrafije te je stoga detaljnija a zbog krupnijeg mjerila i preciznija od OGK 100. Za zagrebačko područje trenutno je u izradi takva karta pod naslovom Šire područje Medvednice (HGI 2026).

Grad Zagreb je izgrađen na obroncima Medvednice i Vukomeričkih gorica te u dolini rijeke Save. Medvednica predstavlja jedan od "inselberga" – otočnih gora sjevernohrvatskog bazena (NCB), koji čini jugozapadni rub puno većeg Panonskog bazenskog sustava (PBS) (Pavelić i Kovačić, 2018; Brlek i dr., 2020). Uzdignuti središnji dijelovi Medvednice sastoje se od snažno tektoniziranih metamornih, sedimentnih i magmatskih stijena starosti od paleozoika do gornje krede, koje se nazivaju i temeljno gorje. Na njenim obroncima, u dolini rijeke Save i na obroncima Vukomeričkih gorica su taložene neogenske i kvartarne naslage.

Za potrebe izrade karte seizmičke mikrozonacije grada Zagreba bilo je nužno prethodno klasificirati geološke jedinice prema vrsti stijena koje se nalaze na površini, gdje se izvode geofizička mjerenja. Čvrste, vezane stijene u pravilu pokazuju više vrijednosti osnovne frekvencije tla (f_0) i srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{S30}) te manje dubine do čvrste stijene (H_{800}). Za slabije vezane stijene i nevezane naslage vrijedi suprotno, stoga su geološke jedinice istraživanog područja razvrstane u dvije osnovne kategorije:

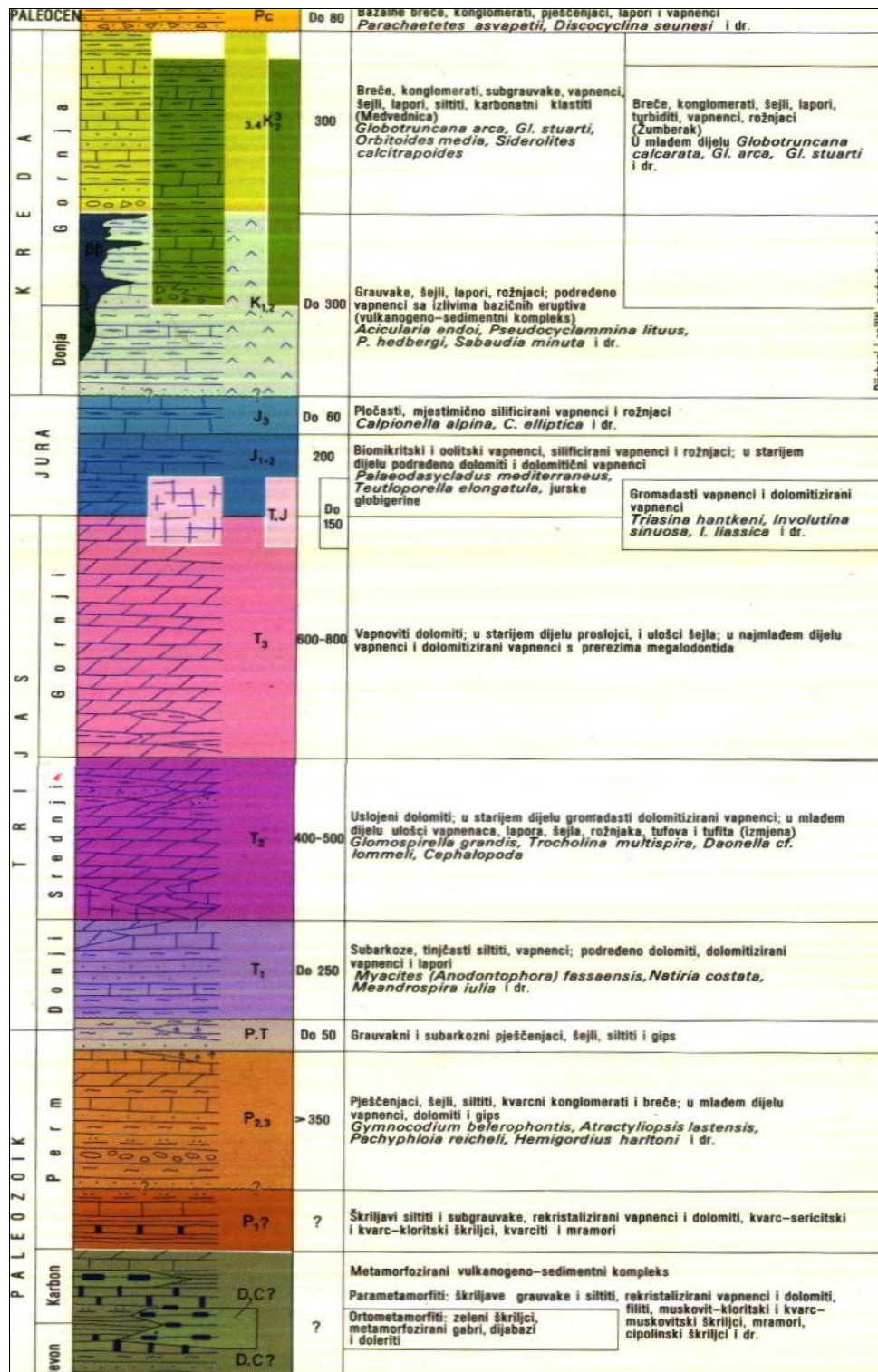
1. TEMELJNO GORJE
2. NEOGENSKA I KVARTARNA ISPUNA PBS-a

2.1.1. TEMELJNO GORJE

Temeljno gorje je geološka podloga neogensko-kvartarne ispune Panonskog bazenskog sustava. Na području istraživanja izdanci se nalaze na površini na Medvednici ili ispod mlađeg sedimentnog pokrivača. Paleozojsko–trijaski niskometamorfni kompleks izgrađuje središnji, južni i sjeveroistočni dio Medvednice, a tijekom donje krede zahvaćen je metamorfizmom vrlo niskog do niskog stupnja (Belak i dr., 1995a). Kompleks se nalazi u reverznom kontaktu s ofiolitnim melanžom i sastoji se od metamorfoziranih mafitnih stijena: metapsamita, kvarc-muskovitnih škriljavaca, filita, slejtova, mramora i zelenih ortoškriljavaca. Protolit je magmatsko-sedimentni kompleks građen od klastičnih i karbonatnih stijena s rožnjacima, bazalta i tufova, u koje su intrudirali dijabazi i ofitski gabro (Belak i dr., 1995a). Geokemijski podatci ukazuju da su zeleni ortoškriljavci povezani s toleitnim bazaltima oceanske kore (Pamić, 1985/86; Belak i dr., 1995a).

Stijene temeljnog gorja su zastupljene paleozojsko-mezozojskim metamornim kompleksom, trijaskim sedimentnim stijenama, jurskim ofiolitnim stijenama te krednim i paleocenskim karbonatnim i klastičnim stijenama (Velić, I. i Vlahović 2009). Na geološkom stupu OGK list

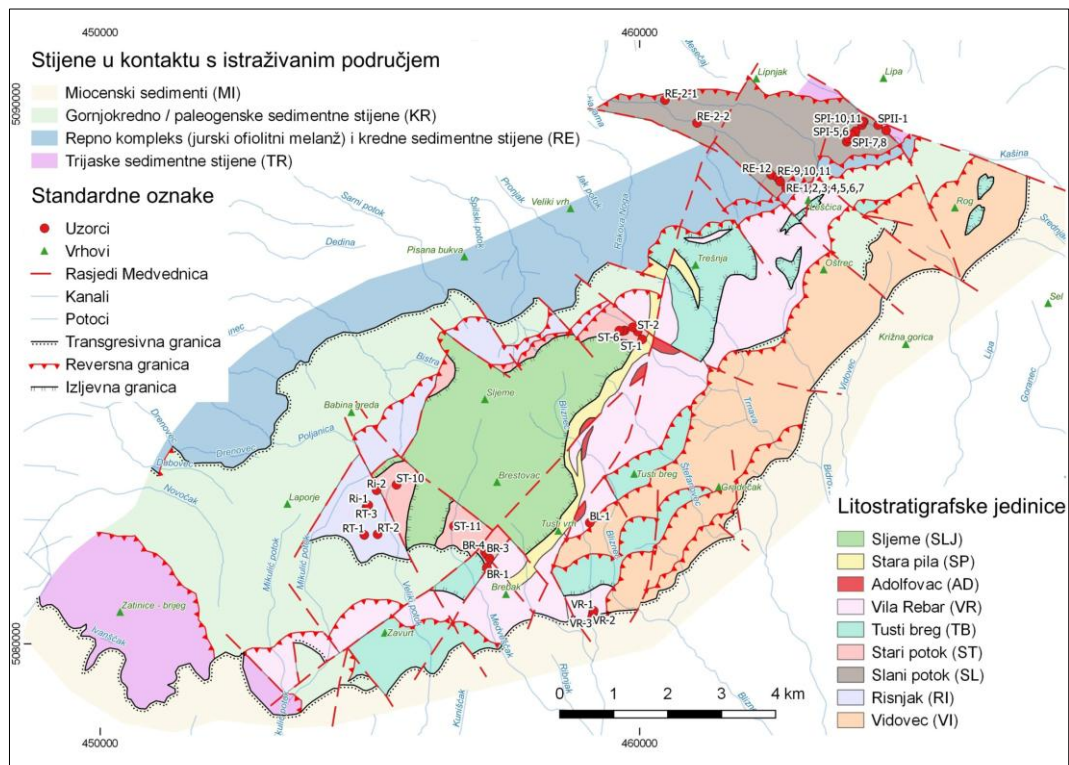
Zagreb prikazan je stratigrafski odnos stijena temeljnog gorja zapadnog dijela Medvednice, Samoborskog gorja i Žumberka (Slika 3; Šikić i dr. 1977).



Slika 3. Geološki stup; temeljno gorje OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1977).

Belak (2005) je niskometamorfni kompleks Medvednice podijelio u osam neformalnih litostratigrafskih jedinica ranga formacija: Vidovec, Risnjak, Slani potok, Stari potok, Tusti

breg, Adolfovac, Stara pila i Sljeme. Starost protolita procjenjuje se na paleozoik do gornji trijas, temeljem nalaza konodonta (Đurđanović, 1973) i graptolita (Sremac i dr., 1983; Belak i dr., 1995b). U sjeveroistočnom dijelu Medvednice otkriveni su glaukofanski škriljavci (Belak i dr., 1998), što ukazuje na lokalnu visokotlačnu metamorfnu zonu povezanu sa subdukcijsko-akrecijskim procesima tijekom donjokredne orogeneze. Slika 4 prikazuje kartu njihove rasprostranjenosti (Mišur 2017).



Slika 4. Karta neformalnih litostratigrfskih jedinica i okolnih stijena temeljnog gorja Medvednice (Mišur 2017).

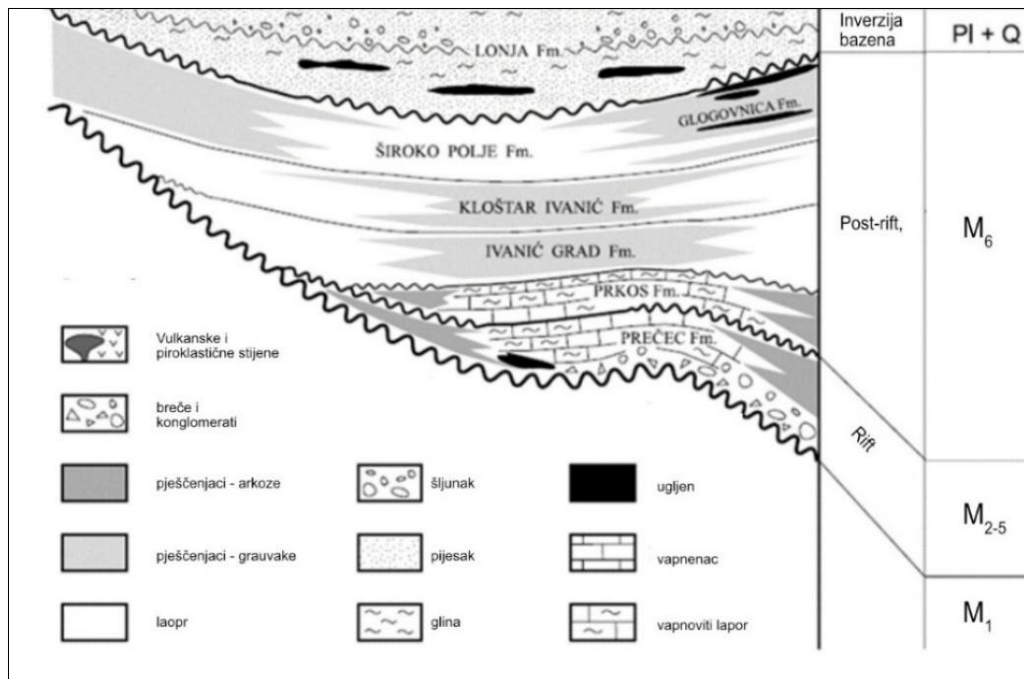
Litostratigrfske jedinice Stari potok, Tusti breg i Vila Rebar taložene su tijekom gornjeg perma i trijasa. Metamorfizam se odvijao u dvije faze, a u regionalno-geološkom je kontekstu vjerojatno posljedica zatvaranja oceana Tetisa te pripadajućih subdukcijskih i obdukcijskih procesa između Adrije i Euroazijske ploče (Mišur 2017).

2.1.2. NEOGENSKA I KVARTARNA ISPUNA PBS-a

Na geološkom stupu OGK list Zagreb prikazan je stratigrfski odnos miocenskih, pliocenskih i kvartarnih naslaga (Slika 5; Šikić i dr., 1977). Litostratigrfski odnosi stijena Panonskog bazena definirani su i tijekom istraživanja ugljikovodika u razdoblju od 1960.-1990. godine, kada su u dubokim bušotinama izdvojene litostratigrfske jedinice (Slika 6; Saftić i dr., 2003).

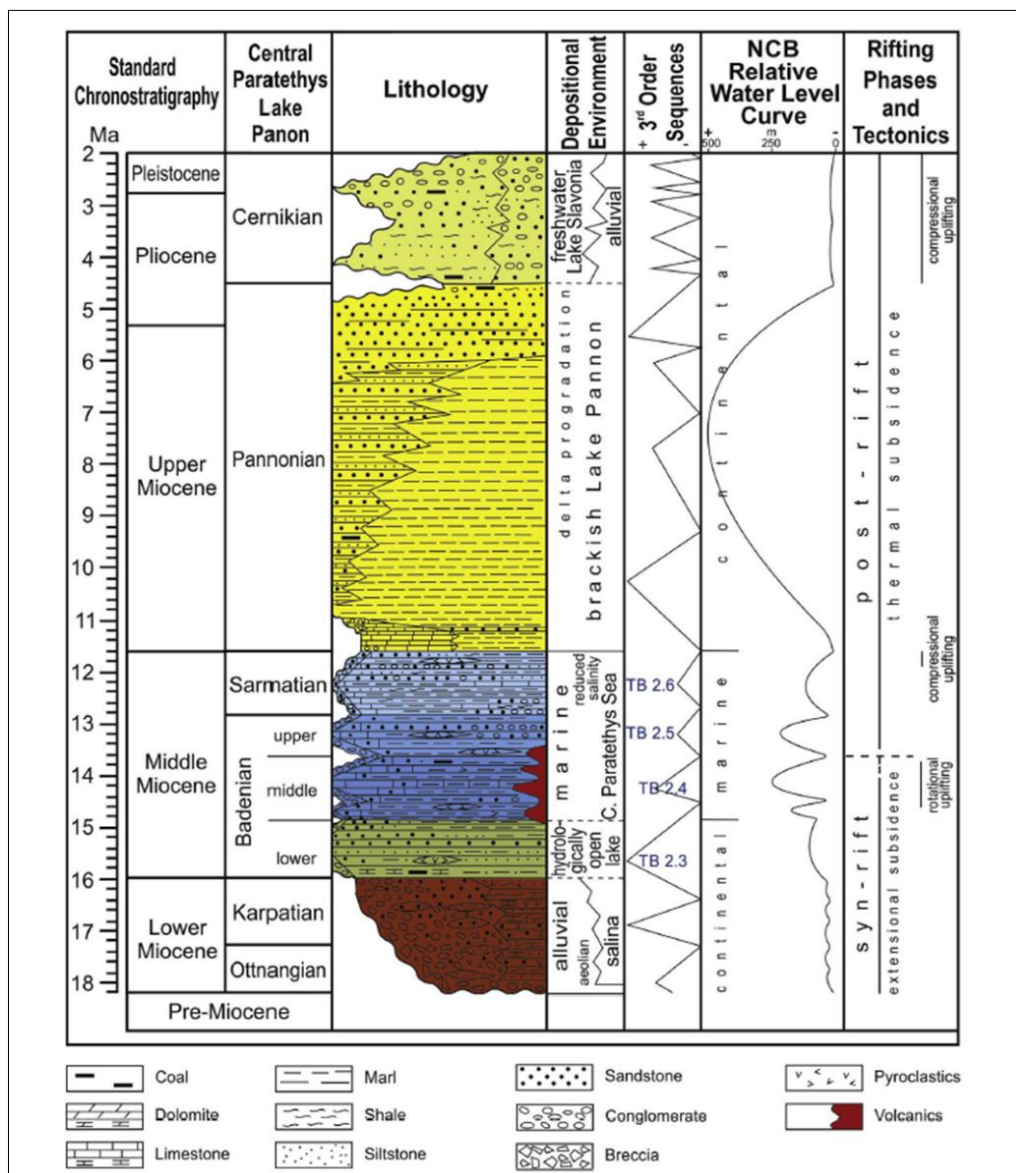
K V A R T A R	Holocen	pr a	10-20	Šljunci, pijesci, gline	Šljunci, pijesci, gline
		a ₁	Do 45	Šljunci, pijesci, podređeno gline	
		a ₂	40-45	Šljunci i pijesci	
		a ₃	05-5	Vapnenački konglomerati	
Pleistocen		l	15	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt	
		lb	≈ 80	Barski les: siltodne gline	
P L I O C E N		PLQ	Do 150	Izmjena šljunaka, pijesaka i gline s rijetkim ulošcima pješčenjaka i konglomerata <i>Unio pauli</i> , <i>U. strossmayerianus</i> , <i>Theodoxus pilidei</i> i dr.	
		PI ₂	100-400	Pijesci i pjeskovito-glinoviti lapori s proslojcima pješčenjaka i rijetkim ulošcima šljunaka, glina i ugljena <i>Congeria rhomboidea</i> , <i>C. croatica</i> , <i>Limnocardium (Arpadicardium) mayeri</i>	
		PI ₁	80-150	Lapori i laporovite gline s rijetkim proslojcima pijesaka i pješčenjaka <i>Paradacna abichi</i> , <i>Congeria digitifera</i> , <i>Valenciennius reussi</i> i dr.	
M I O C E N		² M ₃ ^{1,2}	150-300	Vapnoviti lapori; u starijem dijelu pješčenjaci, šljunci i konglomerati <i>Congeria partschi</i> , <i>C. banatica</i> , <i>Gyraulus tenuistriatus</i>	Vapnoviti lapori; podređeno laporoviti vapnenci, pijesci i pješčenjaci <i>Radix croatica</i> , <i>Melanopsis impressa bonellii</i> , <i>Congeria zsigmondyi</i> , <i>Monodacna viennensis</i> , <i>Limnocardium winkleri</i> i dr.
		¹ M ₃		Laporoviti vapnenci i vapnoviti lapori <i>Radix croatica</i> , <i>Gyraulus praepon-ticus</i>	
		¹ M ₃	Do 100	Laporoviti vapnenci, vapnoviti, glinoviti i kremični lapori <i>Ervilia dissita</i> , <i>Cardium vindobonense</i> , <i>Musculus sarmaticus</i> i dr.	
		² M ₂	150-300	Vapnenci, pješčenjaci, lapori, bazalne breče i konglomerati <i>Chlamys elegans</i> , <i>Amussium denudatum</i> , <i>Ch. auensis zollikoferi</i> i dr.	
		¹ M ₂	Do 80	Lapori i pješčenjaci s ulošcima tuffita <i>Orbulina universa</i> , <i>O. suturalis</i> i dr.	
	¹ M ₂	Do 100	Izmjena konglomerata, šljunaka, pijesaka i gline; u starijem dijelu ugljevit gline i ugljen	Daciti	

Slika 5. Geološki stup miocenske naslage PBS-a OGK list Zagreb (Šikić i dr., 1977).



Slika 6. Stratigrafski odnos tercijskih stijena u Panonskom Bazenu (prema Saftić i dr., 2003).

Prema novijim radovima (Saftić i dr., 2003; Kovačić i Grizelj 2006; Sebe i dr., 2020), pliocenske naslage (Pl₁¹ i Pl₁²) zapravo pripadaju u gornji miocen, a pliokvartarne naslage (Pl,Q) pripadaju dijelom u pliocen, a dijelom u pleistocen. Na slici 7 prikazan je litostratigrafski stup miocenskih i pliocenskih naslaga Sjevernohrvatskog bazena, gdje su stratigrafski odnosi definirani litologijom, facijesom, geokemijskim podacima te usporedbom s tektonskim fazama (Pavelić i Kovačić, 2018).



Slika 7. Litostratigrafski stup miocenskih naslaga Sjevernohrvatskog bazena (Pavelić i Kovačić, 2018).

U tablici 2 prikazana je usporedba litostratigrafske klasifikacije koja se koristila za istraživanja ugljikovodika u razdoblju od 1960.-1990. godine (Šimon, 1973; Velić, J. i dr., 2002; Saftić i dr., 2003) i litostratigrafske klasifikacije koja se koristila za izradu OGK 50.

Tablica 2. Pregled geoloških formacija i litoloških opisa naslaga istraživanog područja.

Starost	Ma	Šimon, 1973; Velić, J. i dr., 2002; Saftić i dr., 2003	OGK 50	Litologija
Holocen Q ₂	<0.01	formacija Lonja ili Diluvij	formacija Bistra	Šljunci i pijesci s proslojcima gline
Pleistocen Q ₁	0.01-2.5			Silt, glina, pijesak, šljunak, i nesortirani materijal debričnih tokova
Pliocen Pl	2.5- 5.3	formacija Glogovnica ili Paludinski slojevi	formacija Vrbova	Pijesci, gline, siltovi i ugljen
g. Panon (gornji dio) 2M ₆ ²	5.3- 11.6	Oznaka <i>a</i> – formacija Široko polje (Bilogora) ili Rhomboidea uklj. članove: Voloder, Krivaj, Bujavica, Torovi, Mramor brdo i Ježevo	formacija Nova Gradiška	Pijesci, rjeđe silt
g. Panon (donji dio) 1M ₆ ²		formacija Kloštar Ivanić ili Abichi, uklj. članove: Bregi, Grebenski lapor Poljana pješčenjak i Lepsički lapor	formacija Andraševac	Izmjena pijeska, silta i lapora
d. Panon (gornji dio) – g. Panon (donji dio) 2M ₆ ¹		formacija Ivanić grad ili Banatica, uklj. članove: Zagreb lapor, Okoli pješčenjak, Ozalj i Lipovac lapor	formacija Medvedski Breg član Bačun	Masivni lapori s rijetkim proslojcima pijeska Pijesci s valuticama i blokovima st. stijena
d. Panon (donji dio) 1M ₆ ¹		formacija Prkos ili Croatica ili Predvalencijanski slojevi	formacija Croatica	Tankouslojeni glinoviti vapnenci i lapori
Sarmat M ₅	11.6-12.7	Oznaka RS7 – formacija Prečec ili Sarmat ili Mediteran	formacija Dolje član Pećinka	Laminirani lapori i gline s proslojcima pijesaka Pijesci s valuticama i blokovima st. stijena

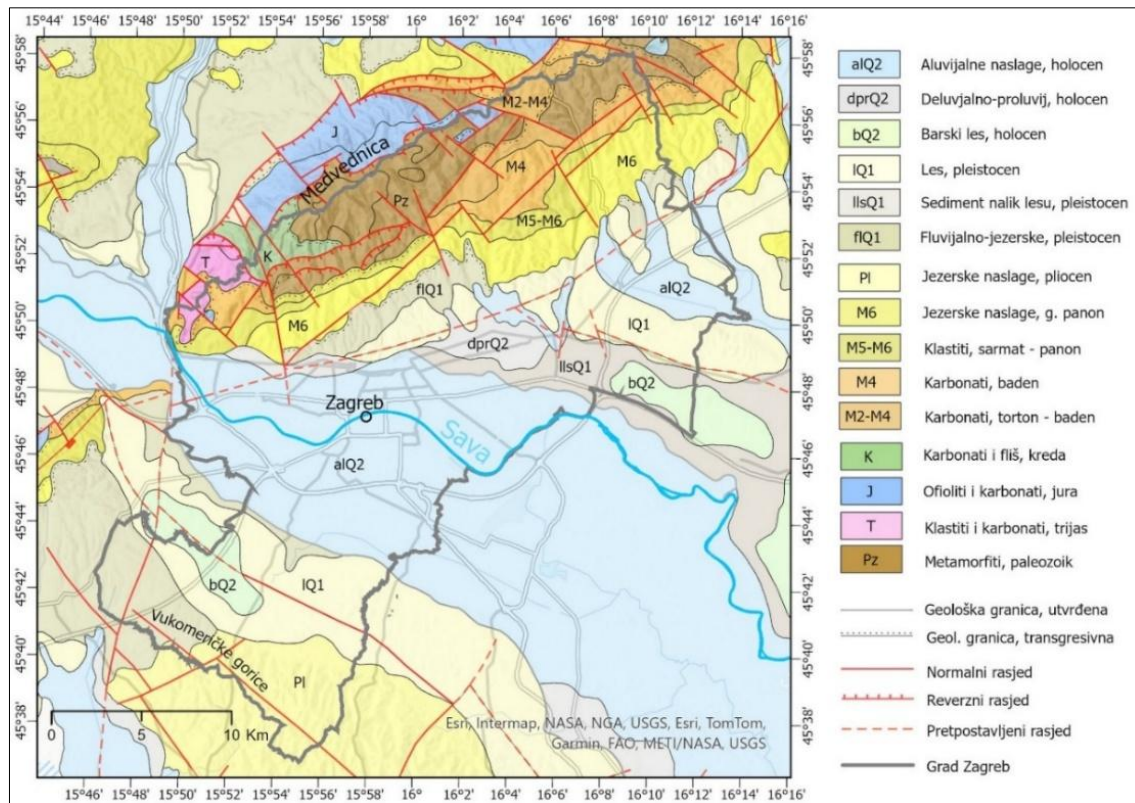
Baden M₄	12.7-15.9		formacija Vrapče	Kalkareniti, breče, kong., bioakumulirani vapn., tufovi
			član Laz	Konglomerati s lećama pješč. i silita
Karpat M₃	15.9-17.2	Oznaka RS7 – formacija Prečec ili Sarmat ili Mediteran	formacija Vejalnica	Lapori, pijesci, pješčenjaci
			član Trstenik	Kalkareniti, breče, konglomerati
			formacija Glavnica	Konglomerati, pješčenjaci, lapori
			član Franci	Konglomerati s lećama pješčenjaka i silta
Otnang M₂	17.2-18.2		član Košćević	Lapori s proslojcima pjaščenjaka
			član Vukov dol	Kongerijski vapn.i s lumakelama i prosl. lapora i ugljena
			formacija Daranovci	Šljunci s lećama pijeska

U neobjavljenoj karti OGK 50 pod naslovom Šire područje Medvednice (HGI 2026) opisane su naslage miocenske i pliocenske starosti, koje imaju status litostratigrafskih jedinica: Vrbova, Nova Gradiška, Andraševac, Medvedski Breg, Croatica, Dolje, Vrapče, Vejalnica, Glavnica i Daranovci. Sve navedene jedinice i nomenklature obuhvaćaju neogenske te kvartarne naslage koje su taložene tijekom sin-riftnog i post-riftnog razvoja Panonskog bazenskog sustava (Horváth i dr., 2015), odnosno faza razvoja Savskog bazena (Prelogović i dr., 1970; Tomljenović i Csontos, 2001; Saftić i dr., 2003; Pavičić i dr., 2019).

Za potrebe izrade karte seizmičke mikrozonacije grada Zagreba naslage ispune PBS-a su prema očekivanim geofizičkim parametrima podijeljene u pet klasa:

1. NASLAGE DONJEG I SREDNJEG MIOCENA
2. GORNJOMIOCENSKE NASLAGE
3. PLIOCENSKE NASLAGE
4. PLEISTOCENSKE NASLAGE
5. HOLOCENSKE NASLAGE

Na slici 8 prikazan je prostorni raspored i pojednostavljeni stratigrafski odnosi geoloških jedinica prema Geološkoj karti Republike Hrvatske (GKRH), izrađenoj 2009. godine u mjerilu 1:300.000 na temelju kompilacije listova OGK 100. U ovom istraživanju pojednostavljena nomenklatura neogenskih i kvartarnih naslaga je preuzeta s GKRH, a litostratigrafski opisi su dopunjeni novijim istraživanjima.



Slika 8. Geološka karta šireg područja Zagreba (modificirana prema GKRH, 2009).

2.1.2.1. NASLAGE DONJEG I SREDNJEG MIOCENA (M₂₋₅)

Najstarije naslage ispune PBS-a na površini su krupnozrnati klastični sedimenti, taloženi u aluvijalnim nanosima tijekom ranog miocena, u otnangu (M₂). Sedimentacija kopnenih naslaga nastavljena je početkom srednjeg miocena, u badenu (M₄), kada su se taložili slatkovodni jezerski vapnenci i lapori (Pavelić i Kovačić, 2018). U srednjem badenu, jezerske uvjete zamijenili su potpuno morski okoliši Središnjeg Paratetisa. Najprije je u pelagičkom ili plitkomorskom okolišu taložen lapor s interkalacijama biokalkarenita, algalnog vapnenca i rijetkim interkalacijama krupnozrnatih klastita, a zatim, tijekom sarmata (M₅), u dubljem i zaštićenom morskom okolišu taloženi su horizontalno laminirani pelitni sedimenti, a u plićim dijelovima mora, uz obale Paratetisa taloženi su krupnozrnati karbonatni klastiti (Pavelić i

Kovačić, 2018). Naslage taložene u donjem i srednjem miocenu pripadaju litostratigrafskim jedinicama Daranovci, Glavnica, Vejalnica, Vrapče i Dolje i odgovaraju stratigrafskom slijedu od otnanga do sarmata (M₂₋₅) opisane su u Tumaču OGK područja Požega (Halamić i Belak 2022).

2.1.2.2. GORNJOMIOCENSKE NASLAGE (M₆)

Gornjomiocenske naslage zapadnog dijela Savske depresije obilježene su pretežno klastičnim sedimentima taloženima u promjenjivim jezersko-močvarnim i riječnim okolišima, što odražava intenzivnu tektonsku aktivnost i diferencijaciju prostora tijekom kasnog miocena (Kovačić, 1995). Početkom panona (M₆) Panonski bazen je bio potpuno izoliran od okolnih marinskih prostora što je dovelo do formiranja Panonskog jezera. To je bilo veliko bočato jezero u kojem su na prostoru današnje Medvednice najprije taloženi plitkovodni pločasti vapnenci, poznati kao Croatica-slojevi, a zatim dubokomorski laporoviti sedimenti poznati kao Banatica-slojevi (Velić, I. i Vlahović, 2009) ili prema aktualnoj klasifikaciji formacija Medvedski breg (Tablica 2).

Tijekom srednjeg i gornjeg panona taloženi su dubokovodni sedimenti koji se sastoje od lapora, pijeska i silta, poznati kao Abichi-slojevi (Velić, I. i Vlahović, 2009) ili prema aktualnoj klasifikaciji formacija Andraševac (Tablica 2). Krajem panona, u plitkom bočatom jezeru, taložene su pretežito pješćane Rhomboidea naslage, koje prema staroj klasifikaciji (Šikić i dr., 1977; Slika 5) naslage pripadaju u pliocen, no u novijim radovima (Kovačić i Grizelj 2006; Sebe i dr., 2020) su svrstane u srednji i gornji panon i odgovaraju formaciji Nova Gradiška ili Hum Zabočki (Tablica 2).

2.1.2.3. PLIOCENSKE NASLAGE (PI)

Pliocenske naslage (PI) taložene su u slatkovodnom jezerskom okolišu, a sastoje se od gline s proslojcima pijeska i ugljena u svom donjem dijelu te od pijeska s proslojcima šljunka i gline u gornjem dijelu (Velić, I. i Vlahović, 2009). Ove naslage su taložene na zapadu tadašnjeg jezera Slavonija, a karakteristične su po pojavi provodnog gastropoda *Viviparus Paludina* (Mandić i dr., 2015). Prema staroj klasifikaciji (Slika 5; Šikić i dr., 1977) pliocenske naslage svrstane su u pliokvartar (PI,Q), prema prvoj litostratigrafskoj klasifikaciji ove naslage pripadaju jedinici Lonja (Šimon, 1973; Velić, J. i dr., 2002; Saftić i dr., 2003), a prema aktualnoj klasifikaciji

pripadaju litostratigrafskoj jedinici Vrbova (Tablica 2). Cvetković (2013) formaciju Lonja na temelju dubinskih podpovršinskih podataka jugoistočno od Zagreba dijeli na šest litostratigrafskih članova – Hrastilnica, Batina i Ravneš (donji pliocen), zatim Popovača i Vrbak (gornji pliocen) te Oborovo (pleistocen-holocen).

2.1.2.4. PLEISTOCENSKE NASLAGE (Q₁)

Najstarije pleistocenske naslage su fluvijalno-jezerski sedimenti (flQ₁), koji su označeni kao naslage pliokvartarne starosti (Slika 5; Šikić i dr., 1977) nalaze se na južnim padinama Medvednice i u Vukomeričkim goricama, a prema neobjavljenoj karti OGK 50 Šire područje Medvednice (HGI 2026) odgovaraju formaciji Bistra. Debljina ovih naslaga je manja od 100 metara (Velić, I. i Vlahović, 2009). Naslage Formacije Bistra sastoje se od tri vrste sedimenata: šljunak aluvijalnih korita, neuslojena muljevita glina taložena na poplavnoj ravnici i loše sortirani sediment debričnih (fluvijalnih) tokova (Grizelj i dr., 2017).

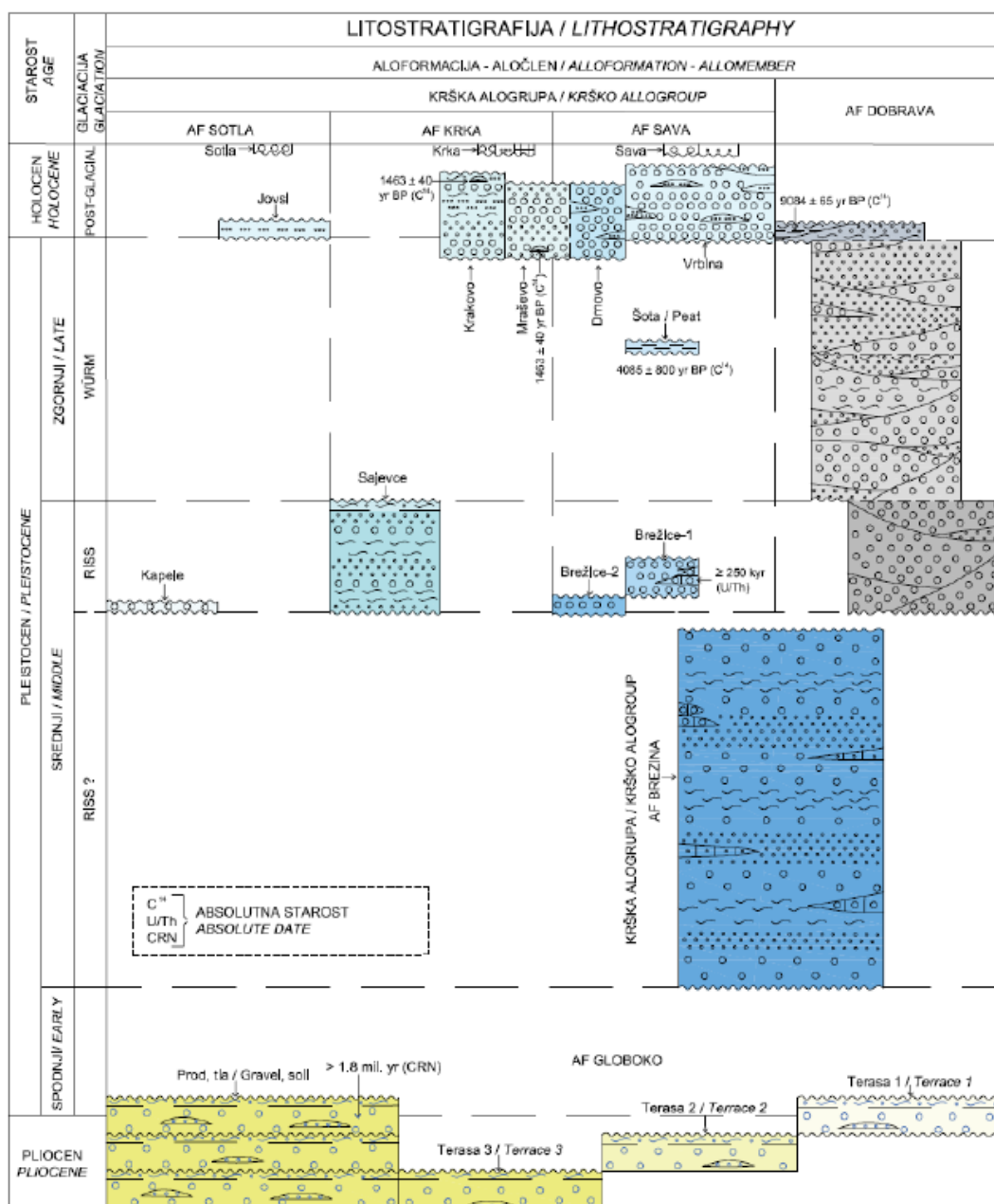
Mlađi pleistocen predstavljaju les (lQ₁), nevezani porozni sediment eolskog podrijetla taložen u kopnenim uvjetima, te barski les ili sediment nalik lesu (llsQ₁), horizontalno slojeviti sediment taložen u barama i jezerima poplavne ravnice rijeke Save. Ove naslage čine glina, silt i pijesak, a debljina im varira između 20 i 50 metara (Velić, I. i Vlahović, 2009).

2.1.2.5. HOLOCENSKE NASLAGE (Q₂)

Najstariji holocenski sediment predstavljaju deluvijalno-proluvijalne naslage (dprQ₂), a to su padinski sedimenti nastali erozijsko-denudacijskim procesima te odlaganjem materijala u podnožju izdignutih dijelova reljefa. Sastoje se od silta, pijeska i šljunka. Litološki sastav ovisi o vrsti erodirane stijene, a debljina ovih sedimenata iznosi samo 2 do 5 metara. Barske naslage (bQ₂) su većinom taložene na nepropusnim sedimentima barskog lesa, a vezane su za nekadašnje sporije tokove rijeke ili močvarišta. U takvim uvjetima taložene su pretežito gline i glinoviti siltovi obogaćeni visokim sadržajem organske tvari, debljine do 3 m (Velić, I. i Vlahović, 2009).

Aluvijalni sedimenti (alQ₂) rijeke Save i njenih pritoka, potoka koji donose materijal s Medvednice prekrivaju velike površine između južnih padina Medvednice i Vukomeričkih gorica. Sastoje se od debelih naslaga šljunka i pijeska, koji su često vertikalno ispresijecani

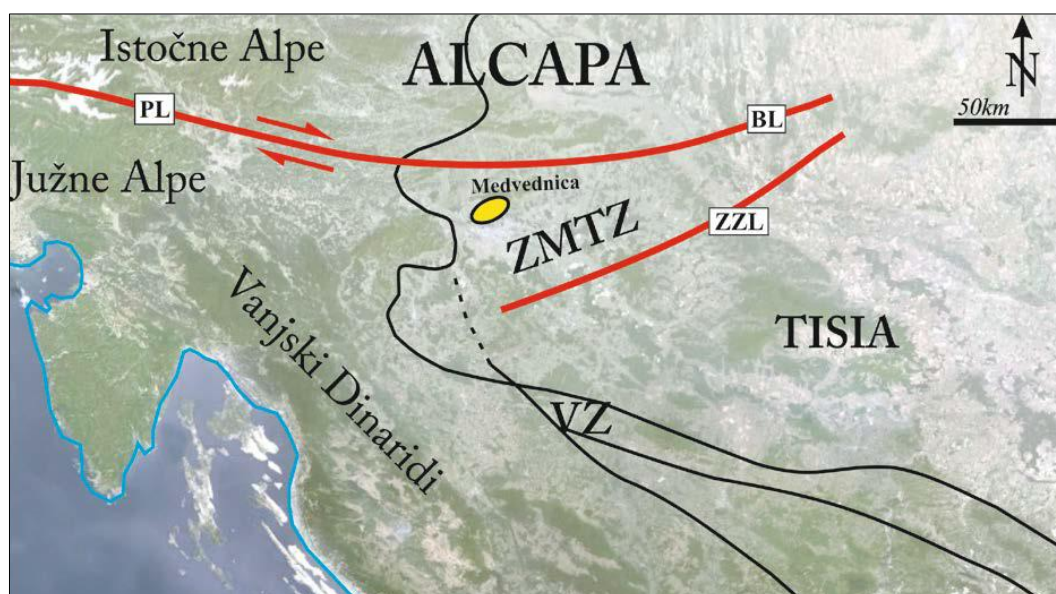
lećastim slojevima silta i gline. Debljina ovih naslaga kreće se od 10 do 30 metara. U riječnoj dolini rijeke Save često su razvijeni fluvijalni oblici poput terasa, plaža, otoka, meandara, mrtvaja i poplavnih ravnica (Velić, I. i Vlahović, 2009). U aluvijalnim naslagama Save na području Zagreba dominira karbonatni pijesak koji potječe iz udaljenih (alpskih) izvora, ali i iz lokalnih područja poput Medvednice i Samoborskog gorja, a granulometrijski sastav ukazuje na dominantnu prisutnost srednje i sitnozrnastog pijeska. (Barudžija i dr., 2024). Sjeverozapadno od Zagreba Poljak (2017) opisuje Brezinsku, Sutlansku, Kršku, Savsku i Dobravsku aloformaciju, pri čemu posljednja odgovara Krškom bazenu. Izvor sedimenata Krškog bazena potječe iz Istočnih i Južnih Alpa te Dinarida (Slika 9; Mencin Gale 2021).



Slika 9. Litostratigrafija pliocensko-kvartarnih sedimenata u Krškom bazenu (prema: Poljak 2017).

2.2. TEKTONIKA ŠIREG PODRUČJA

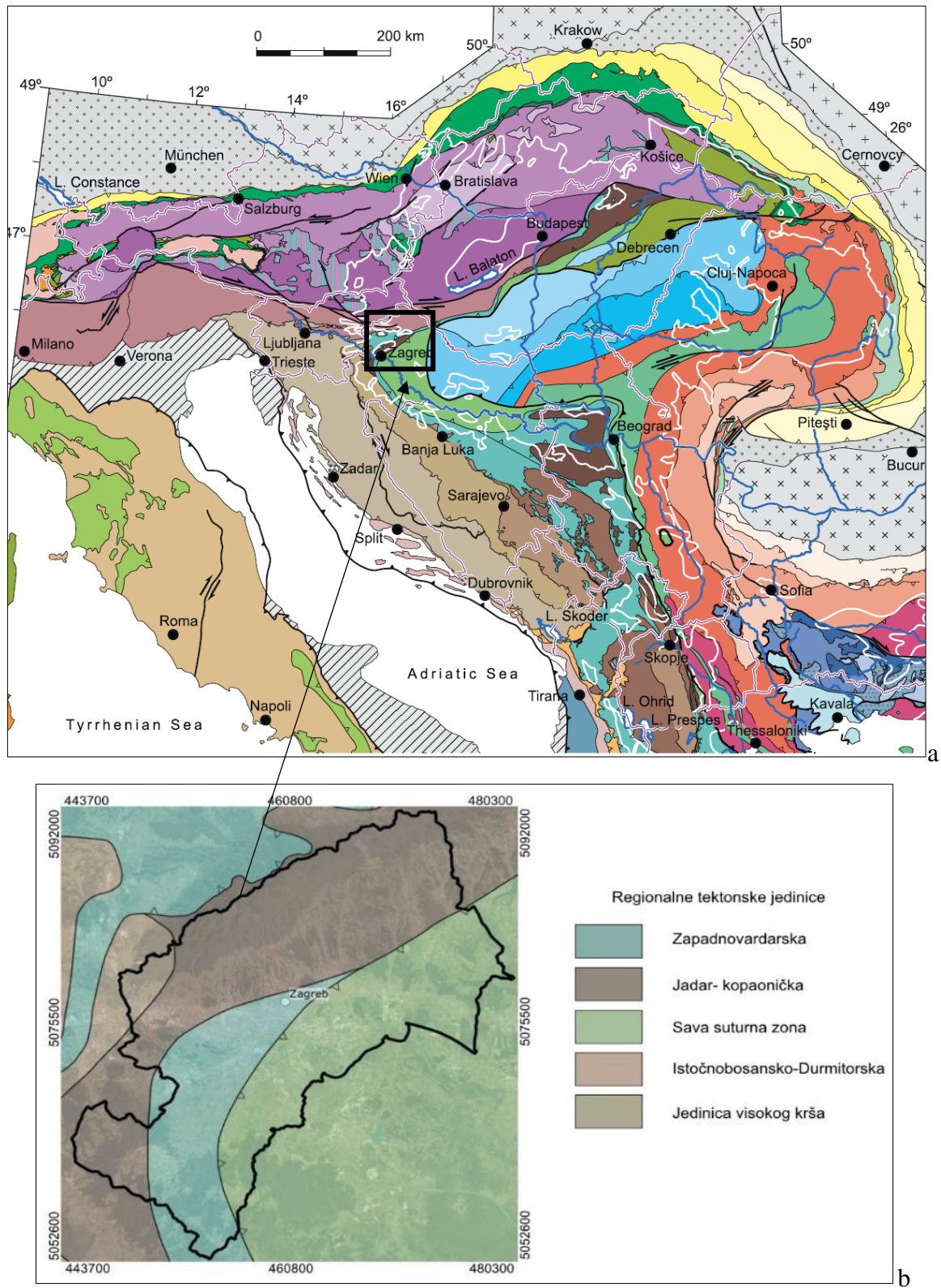
Zagreb se nalazi unutar Zagorje-Mid-Transdanubijske zone (ZMTZ) koja se nalazi između tri glavne tektonske granice: Perijadranski lineament, lineament Zagreb-Zemplin i Vardarska zona (Pamić i Tomljenović, 1998). ZMTZ je na sjeveru omeđena Perijadranskim lineamentom (PAL), koji se prema istoku nastavlja u Balatonski lineament (BL) (Mioč, 1997; Fodor i dr., 1998; Haas i dr., 2000), dok je na jugu omeđena lineamentom Zagreb–Zemplin (ZZL) (Slika 10; Pamić i Tomljenović, 1998; Haas i dr., 2000).



Slika 10. Regionalna strukturalna karta (modificirano prema Pamić i Tomljenović, 1998). ZMTZ – Zagorje-Mid-Transdanubijska zona, VZ – Vardarska zona, PL – Perijadranski lineament, BL – Balatonski lineament, ZZL – Zagreb-Zemplin lineament (iz: Mišur 2017).

Šire zagrebačko područje nalazi se na rubu Dinarida, Alpi i Panonskog bazena (Slika 11a; Schmid i dr., 2020). Stijene temeljnog gorja koje grade četiri regionalne tektonske jedinice se na području Medvednice nalaze na površini, dok su u ostalim dijelovima grada prekrivene neogenskim i kvartarnim naslagama. Podlogu sjeverozapadnog i zapadnog dijela Zagreba, uključujući značajan dio Medvednice, čine Jadar-kopaonička i Istočnobosansko-Durmitorska tektonska jedinica koje se većinom nalaze na površini. Jadar-kopaonička tektonska jedinica predstavlja dublje metamorfno-magmatske komplekse unutarnjih Dinarida, dok Istočnobosansko-Durmitorska jedinica obuhvaća masivne mezozojske karbonatne sukcesije vanjskih Dinarida, snažno deformirane tijekom alpske orogeneze. Duž sjeverozapadnih padina Medvednice i ispod jugoistočnog dijela grada, koji je većim dijelom prekriven mlađim sedimentima starosti od miocena do kvartara, nalaze se Zapadnovardarska ofiolitna jedinica i tektonska jedinica Savska suturna zona. Te dvije jedinice predstavljaju ostatke oceanske kore

i suturnog pojasa koji je nastao zatvaranjem oceanskog prostora između Jadranske i Europske ploče (Slika 11b; Schmid i dr., 2020).



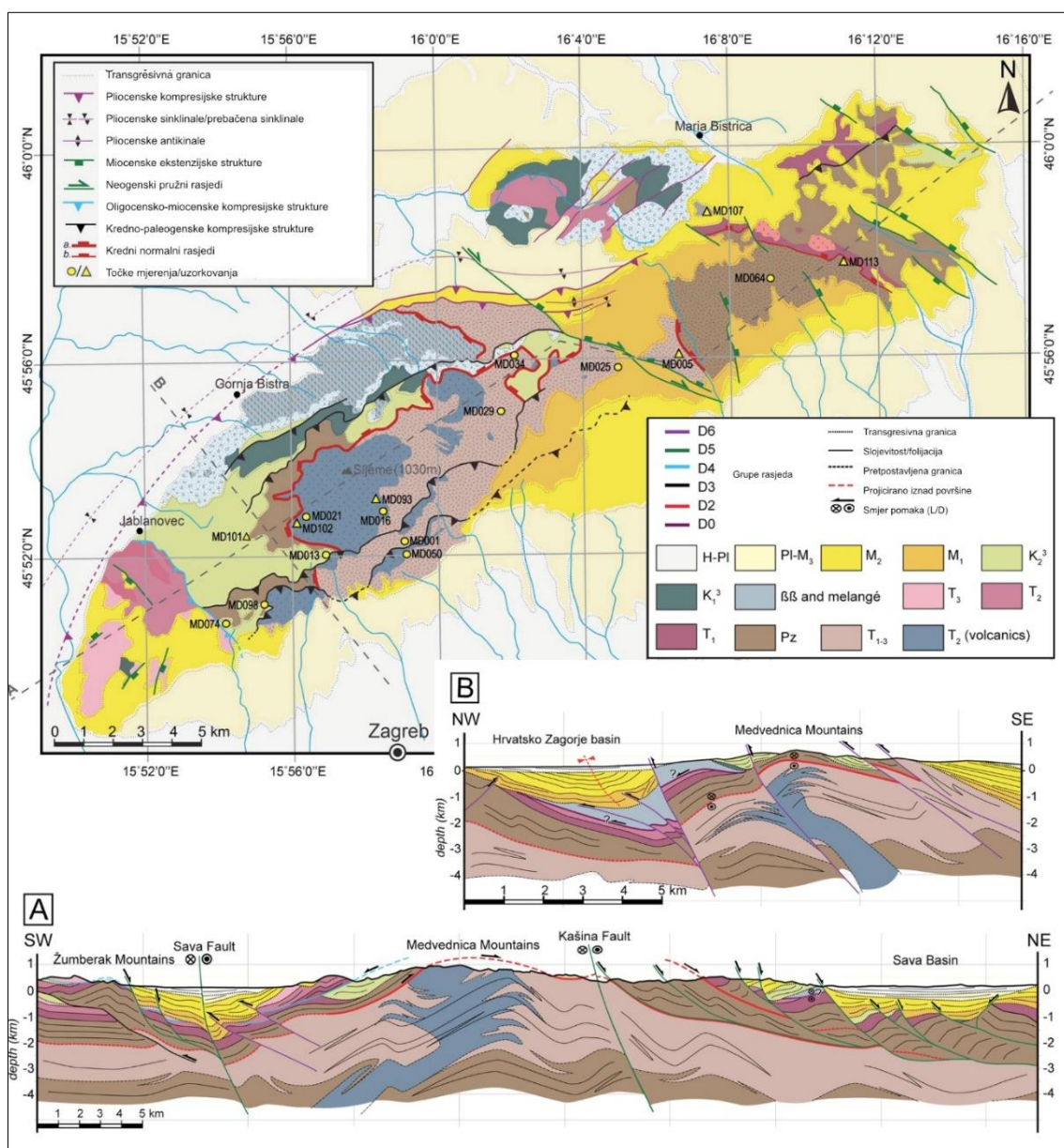
Slika 11. Položaj Zagreba u odnosu na regionalne tektonske jedinice (modificirano prema Schmid i dr., 2020).

Aktivnost perijadranskog lineamenta započinje krajem oligocena (Schmid i dr., 2008 ; Schmid i dr., 2020) i traje sve do pliocena (Csontos i Nagymarosy, 1998; Csontos i dr., 2005; Tomljenović i dr., 2008). ZMTZ je transkurentna smična zona s desnim pomakom, anjezina aktivnost se djelomično preklapa s *back-arc* ekstenzijom Panonskog bazena, koja započinje prije oko 20 Ma (Tari i Pamić, 1998; Pamić Tomljenović, 1998; van Gelder i dr., 2015; Horváth i dr., 2015), pri čemu nastaju duboki polugrabeni uz jugozapadnu granicu bazena, uključujući bazene Hrvatskog zagorja, Savsku i Dravsku depresiju (Pavelić, 2001; Saftić i dr., 2003).

Tektonski pokreti unutar ZMTZ uzrokovali su rotaciju predneogenskih struktura Medvednice za oko 130° u smjeru kazaljke na satu (Tomljenović i dr., 2008). Tijekom oligocena i miocena u zoni se izmjenjuju ekstenzijski i kompresijski režimi, što dovodi do reaktivacije i inverzije postojećih struktura (Csontos i Nagymarosy, 1998). Kasnije, tijekom pliocena i kvartara, reaktivacija Periadriatskog rasjednog sustava uzrokuje dodatnu rotaciju medvedničkih struktura za oko 35° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu (Fodor i dr., 1998; Tomljenović i Csontos, 2001; Márton i dr., 2002; Márton i dr., 2006; Tomljenović i dr., 2008).

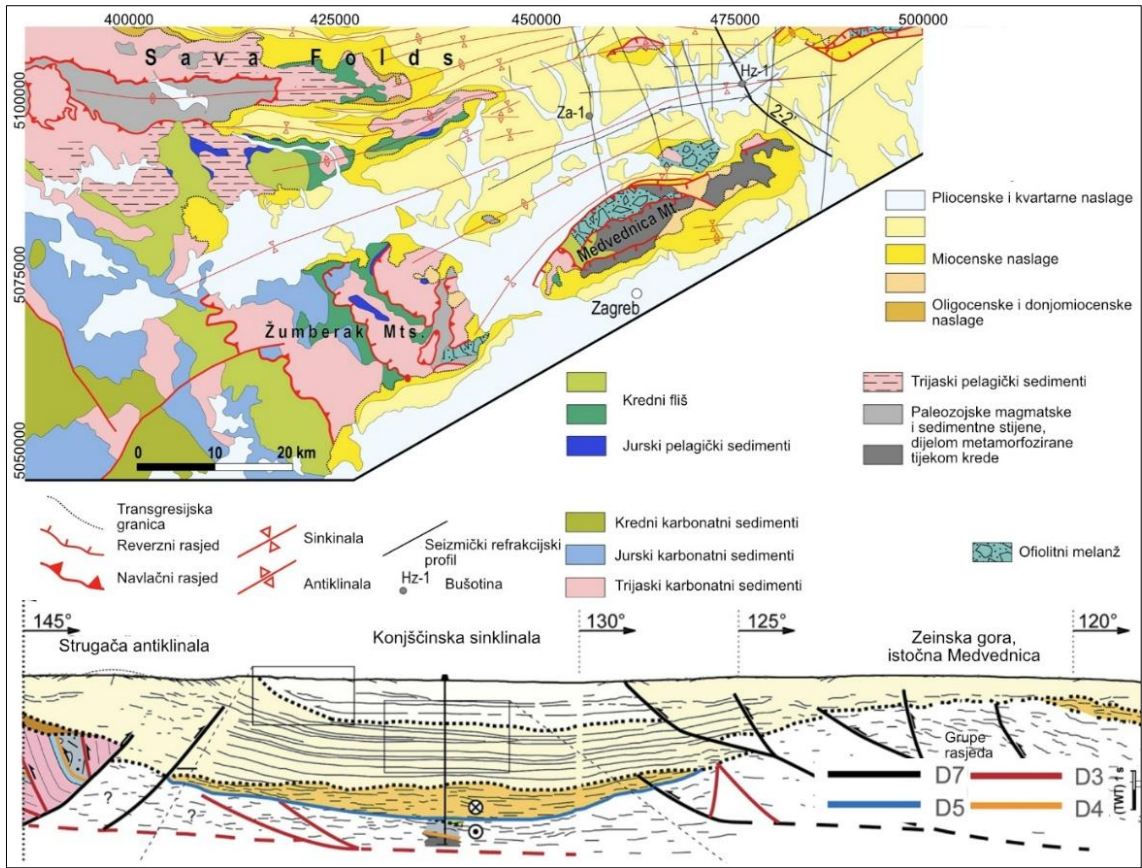
Tomljenović i dr. (2008) identificiraju pet deformacijskih faza koje su oblikovale paleozojsko–mezozojski metamorfni kompleks Medvednice. Faza D0 odnosi se na navlačenje jurske ofiolitne sekvence na istočni rub Jadranske ploče. Tijekom faze D1 dosegnut je najviši stupanj metamorfizma, što potvrđuju milonitne smične mikrostrukture. Faza D2 predstavlja razdoblje duktilnih deformacija nakon vršnih metamorfnih uvjeta, čija starost odgovara gornjem aptu do donjem albu, nakon čega slijedi gornjokredno taloženje Gossau tipa. U fazi D3 dolazi do navlačenja metamorfskog kompleksa na gornjekrednu sedimentnu sekvencu, dok faza D4 uključuje rotaciju svih predmiocenskih struktura za približno 130° u smjeru kazaljke na satu. Autori pretpostavljaju da je do rotacije Medvednice i zagorskih planina došlo tijekom gornjeg paleogena, kao posljedica desnog smicanja uz Perijadranski rasjedni sustav (Tomljenović i dr., 2008).

Van Gelder i dr. (2015) interpretiraju dvije faze glavne ekstenzijske ekshumacije predneogenskih stijena na području Medvednice: prvu tijekom gornje krede (D5), povezanu s razvojem velikog subhorizontalnog rasjeda (*engl. detachment fault*) koji je iznio metamorfnu jezgru na površinu uz istodobnu transgresijsku sedimentaciju te drugu tijekom miocena (D6), kada dolazi do reaktivacije tih struktura i intenzivnog normalnog rasjedanja, što odražava regionalnu ekstenziju povezanu s razvojem Panonskog bazena. Na slici 11 (van Gelder i dr., 2015) prikazan je položaj tektonskih faza D0 – D6 na karti i na geološkim profilima.

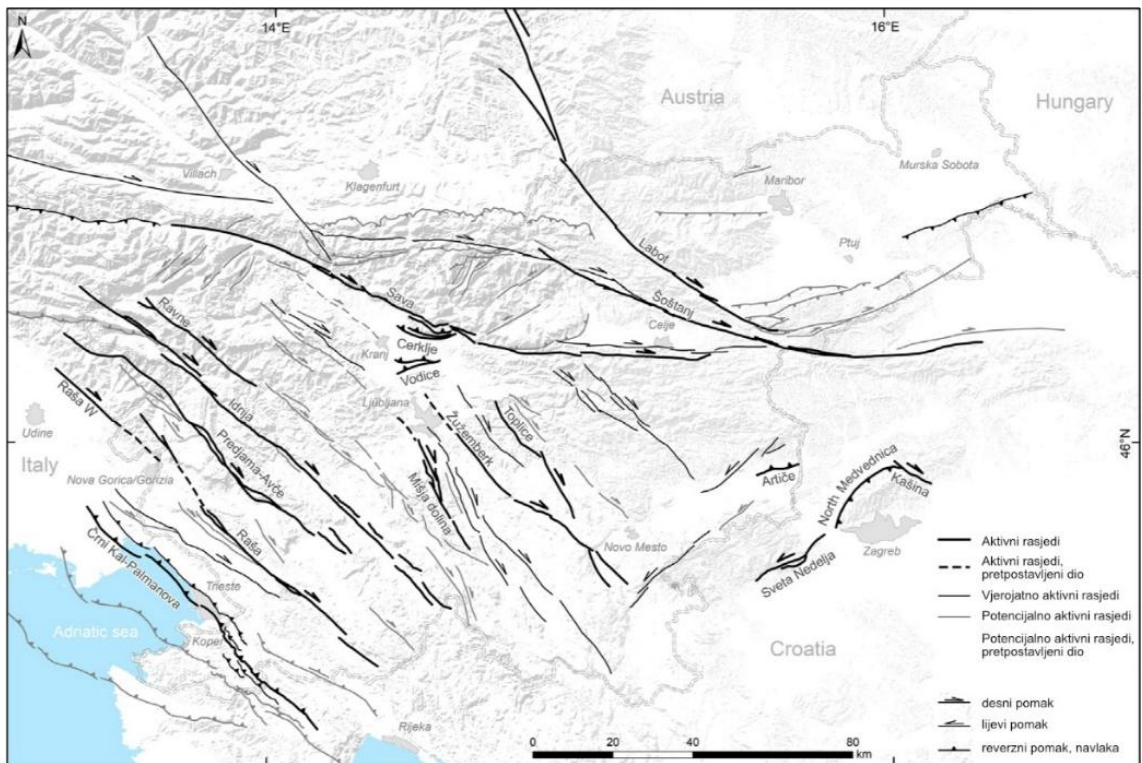


Slika 12. Geološka karta Medvednice i geološki profili s prikazanim strukturama podijeljenima prema tektonskim fazama (modificirano prema van Gelder i dr., 2015).

Tijekom miocena prevladava ekstenzija povezana s razvojem Panonskog bazena, dok se naknadno javljaju kratkotrajne kompresijske faze i konačna inverzija s razvojem rasjeda i bora uslijed rotacije i utiskivanja Jadranske mikroploče. Geološki profil Hrvatskog zagorja prikazuje tektonske faze D3, D4 i D5 (predneogen) te fazu D7, gdje se posljednja odnosi na recentnu tektonsku fazu u evoluciji PBS-a, koja je započela u pliocenu (Slika 13; Vukovski i dr., 2024). Prema Atanackov i dr., 2021, Medvednica je na sjeverozapadu omeđena regionalnim navlačnim rasjedom orijentacije sjeveroistok-jugozapad i sjeverozapadne vergencije Slika 14).

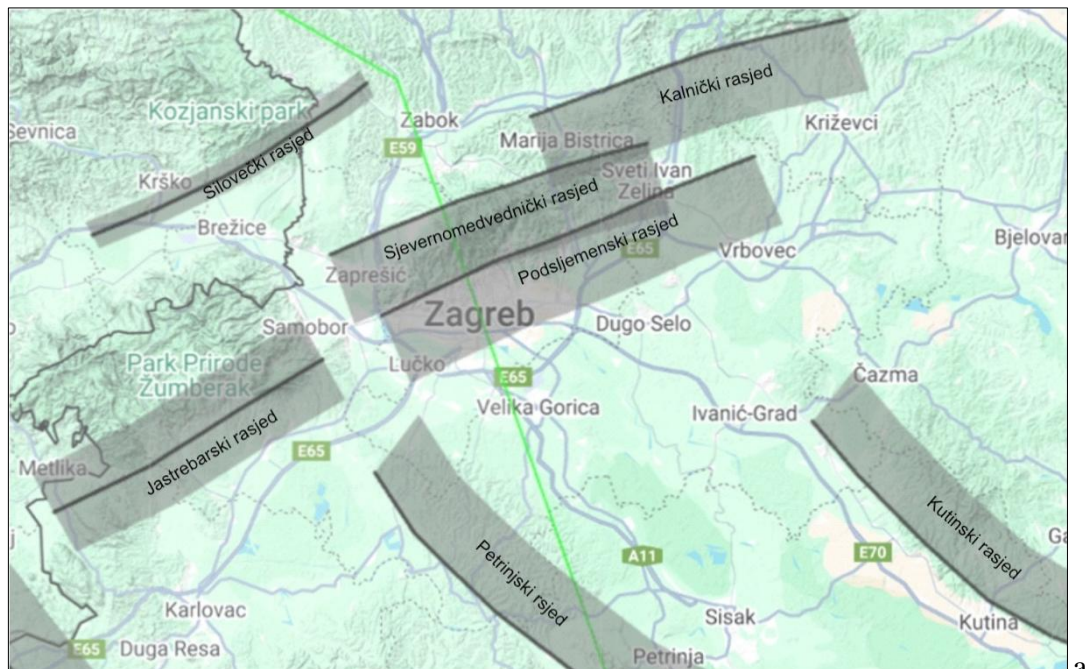




Slika 13. Geološki profil Hrvatskog zagorja (modificirano prema Vukovski i dr., 2024).



Slika 14. Karta aktivnih, vjerojatno aktivnih i potencijalno aktivnih rasjeda u Sloveniji i neposrednoj okolici (iz: Atanackov i dr., 2021).

Duboki rasjedni sustavi povezani sa seizmogenim izvorima na području Republike Hrvatske opisani su u Europskoj bazi seizmogenih rasjeda (eng. European Database of Seismogenic Faults), nastale u okviru projekta SHARE – Seismic Hazard hARmonization in Europe (Slika 15; Basili i dr., 2013; URL 2).

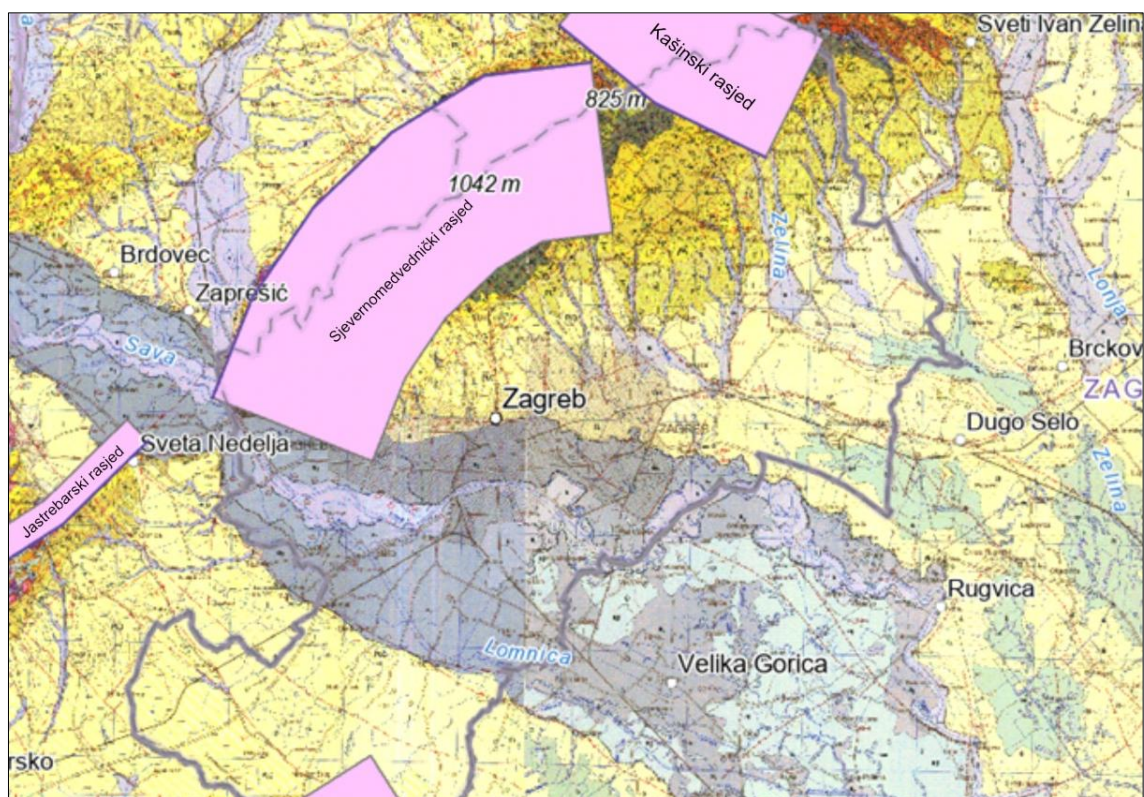


 SHARE		The European Database of Seismogenic Faults		
		Source Info Summary		References
General information				
Region	Eastern Europe			
Code	HRCS038			
Name	Podsljeme			
Compiler(s)	Kastelic V.(1), Basili R.(1)			
Contributor(s)	Kastelic V.(1), Basili R.(1)			
Created	14/05/2011			
Updated	31/03/2012			
Parametric information				
	Parameter	Qual.	Evidence	
Min Depth (km)	2	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.	
Max Depth (km)	16	EJ	Inferred from geological and seismological data.	
Strike (deg)	50 - 60	LD	Based on structural (Tomljenovic et al., 2008) and earthquake data.	
Dip (deg)	50 - 70	EJ	Inferred from structural and regional earthquake data.	
Rake (deg)	20 - 50	LD	Based on seismological and regional geological data.	
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.2	EJ	Inferred from geological data and geodynamic constraints.	
Max Magnitude (Mw)	6.5	EJ	Inferred from fault characteristics and seismological considerations.	
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement			

Slika 15. Isječak iz internetskog kartografskog servisa Europske baze seizmogenih rasjeda – SHARE (SHARE – WP3.2 Map) i sažetak za Podsljemenski rasjed.

Na karti na slici 15a prikazani su tragovi rasjeda na površini (tamnosive tanje linije) i njihove ravnine (osjenčane površine koje se nastavljaju na jednu ili obje strane, ovisno o karakteru rasjeda). Za svaki rasjed su dostupni atributi, kao na primjeru Podsljemenskog rasjeda – navedeni su osnovni podatci o tome tko i kada je prikupio informacije o tom rasjedu i parametrijski podatci. Za svaki parametar kao što su; maksimalna i minimalna dubina, pružanje (*eng. strike*), nagib (*eng. dip*), relativni smjer kretanja krila (*eng. rake*), stopa pomaka (*eng. slip rate*) i maksimalna očekivana magnituda, pridružene su procijenjene vrijednosti, ocjena kvalitete i izvor podataka (Slika 15b).

Osim rasjeda koji su opisani u projektu SHARE, 2020. godine je objavljen je Europski model seizmogenih izvora – EFSM (*eng. European Fault-Source Model*). Na internetskim stranicama (URL 3) dostupni su setovi podataka kao što su: DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), G-DIP (Global Dip: a collection of earthquake fault dip angles), GreDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources) i EDSF13 (European Database of Seismogenic Faults 2013), kao i metapodatci te WMS i WFS servisi. Za zagrebačko područje ovdje su detaljno opisani rasjedi HRCF000 (Sjevernomedvednički rasjed), HRCF00P (Kašinski rasjed) (Basili i dr., 2022; Slika 16).

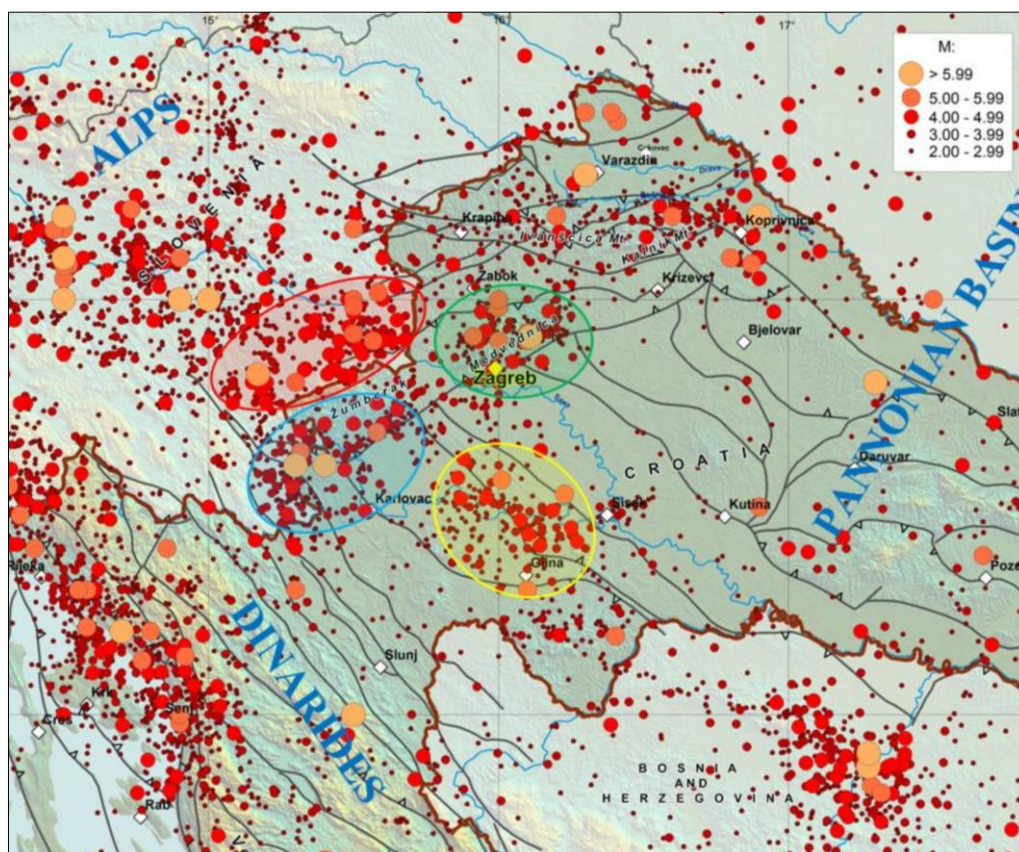


Slika 16. Isječak iz internetskog kartografskog servisa European Fault-Source Model 2020 (EFSM20) WFS (URL 3).

2.3. SEIZMIČKE KARAKTERISTIKE ŠIREG PODRUČJA

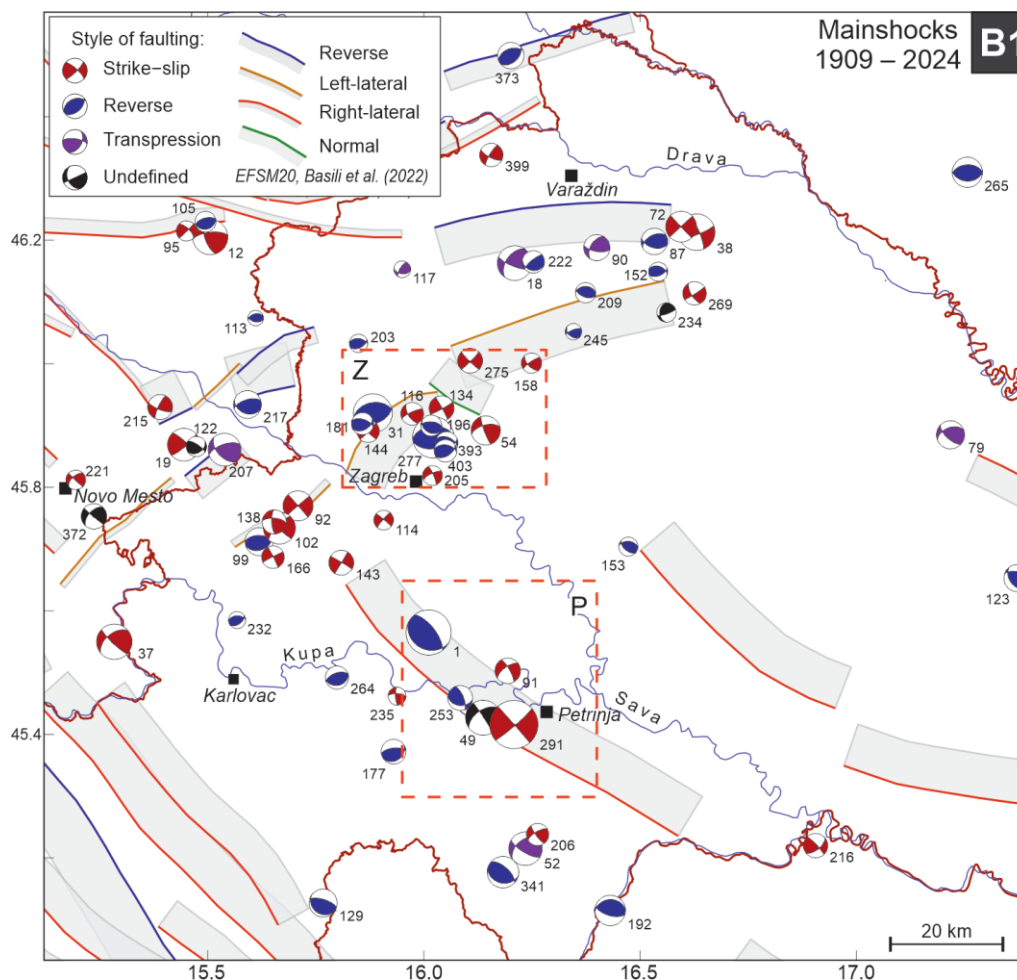
Distribucija žarišta potresa u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i jugoistočnoj Sloveniji (Herak, M. i dr., 1996; Ivančić i dr., 2006, 2018) pokazuje da se šire zagrebačko područje nalazi između tri seizmički aktivna područja: Novo Mesto – Krško, Karlovac – Metlika i Pokupsko – Petrinja.

U seizmičkom području Novo Mesto – Krško u Republici Sloveniji dokumentirana su dva potresa intenziteta VIII MCS ljestvice; 1634. godine na području Novog Mesta i 1917. godine u Brežicama. U novije vrijeme, 1974. godine zabilježen je potres magnitude 5,1 s epicentrom oko 15 km sjeverno od Krškog (Stanko i dr., 2020). Za seizmičko područje Karlovac – Metlika, koje obuhvaća Žumberačko i Samoborskog gorje, najznačajniji su potresi dokumentirani 1645. godine, s epicentrom 6 km zapadno od Ozlja, te 1699. godine, s epicentrom u Metliki, oba intenziteta VIII MCS. U instrumentalnoj eri (razdoblje poslije 1900. godine) ovdje je karakteristična visoka učestalost slabijih potresa, gdje 95% zabilježenih događaja ima magnitude manje od 3 (Stanko i dr., 2020; Slika 17).



Slika 17. Distribucija žarišta potresa u zagrebačkom seizmičkom području (zeleno) u odnosu na tri susjedna seizmička područja: Novo Mesto – Krško (crveno), Karlovac – Metlika (plavo) i Pokupsko – Petrinja (žuto) za vremensko razdoblje od 373 pr. Kr. – 2019. (prema Hrvatskom katalogu potresa, kontinuirano nadopunjavana verzija prvobitno objavljena u Herak, M. i dr., 1996; iz Stanko i dr., 2020).

Na slici 18 prikazani su aktivni rasjedi iz baze EFSM u usporedbi s mehanizmima pomaka u žarištu potresa – FPS dijagrami (eng. *Fault Plane Solutions*) za Zagrebačko i Petrinjsko seizmičko područje (Herak, M., 2024).

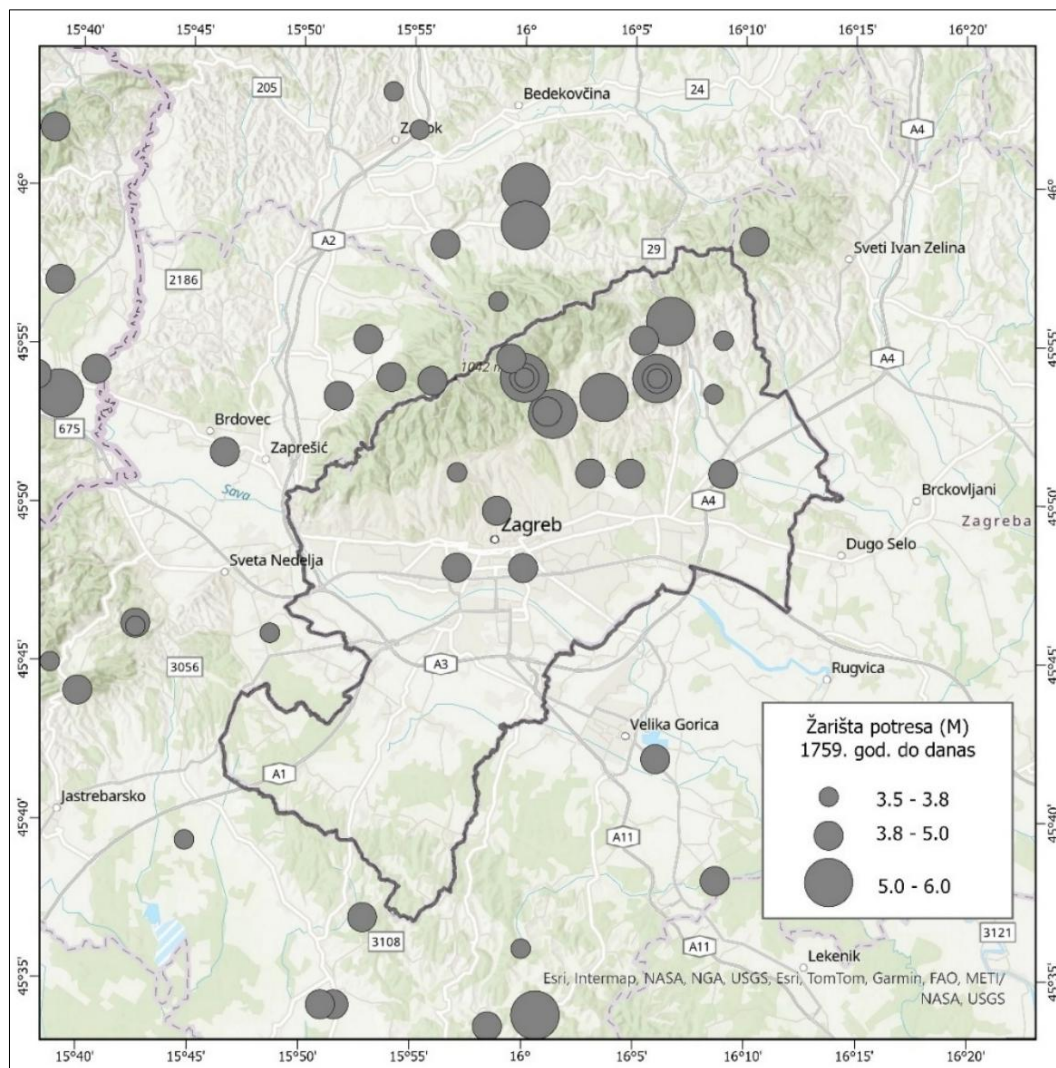


Slika 18. Mehanizmi pomaka u žarištu potresa – FPS (eng. *Fault Plane Solutions*) za Zagrebačko i Petrinjsko seizmičko područje (iz Herak, M., 2024).

Najjači potres na seizmičkom području Pokupsko – Petrinja dogodio se u prosincu 2020. godine. Potres magnitude 6.4, s epicentrom oko 5 km jugoistočno od Petrinje (Markušić i dr., 2021; Baize i dr., 2022), uzrokovao značajnu štetu u Petrinji, Sisku i Glini, a osim u Hrvatskoj, osjetio se u Bosni i Hercegovini, Sloveniji te Austriji. U ovom području je 8. listopada 1909. godine zabilježen jedan od najpoznatijih potresa u hrvatskoj i svjetskoj seizmološkoj literaturi. Na temelju potresa magnitude 5.8, žarišne dubine 14 km, s epicentrom 9 km sjeverno od Pokupskog, Andrija Mohorovičić je analizirajući rasprostiranje seizmičkih valova odredio diskontinuitet brzina između kore i plašta. Ovaj događaj i njegova interpretacija predstavljaju temelj moderne seizmologije, a detaljne analize i reinterpretacije potresa i Mohorovičićeva rada nalaze se u brojnim novijim studijama (npr: Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999).

2.3.1. SEIZMIČNOST ZAGREBAČKOG PODRUČJA

Zagrebačko seizmičko područje je u povijesti bilo pogođeno umjereno jakim do jakim potresima, koji su zabilježeni u Hrvatskom katalogu potresa (Slika 19, Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999).



Slika 19. Položaj žarišta umjerenih do jakih potresa koji su se dogodili od 1990. godine do danas (prema podatcima iz Hrvatskoga kataloga potresa).

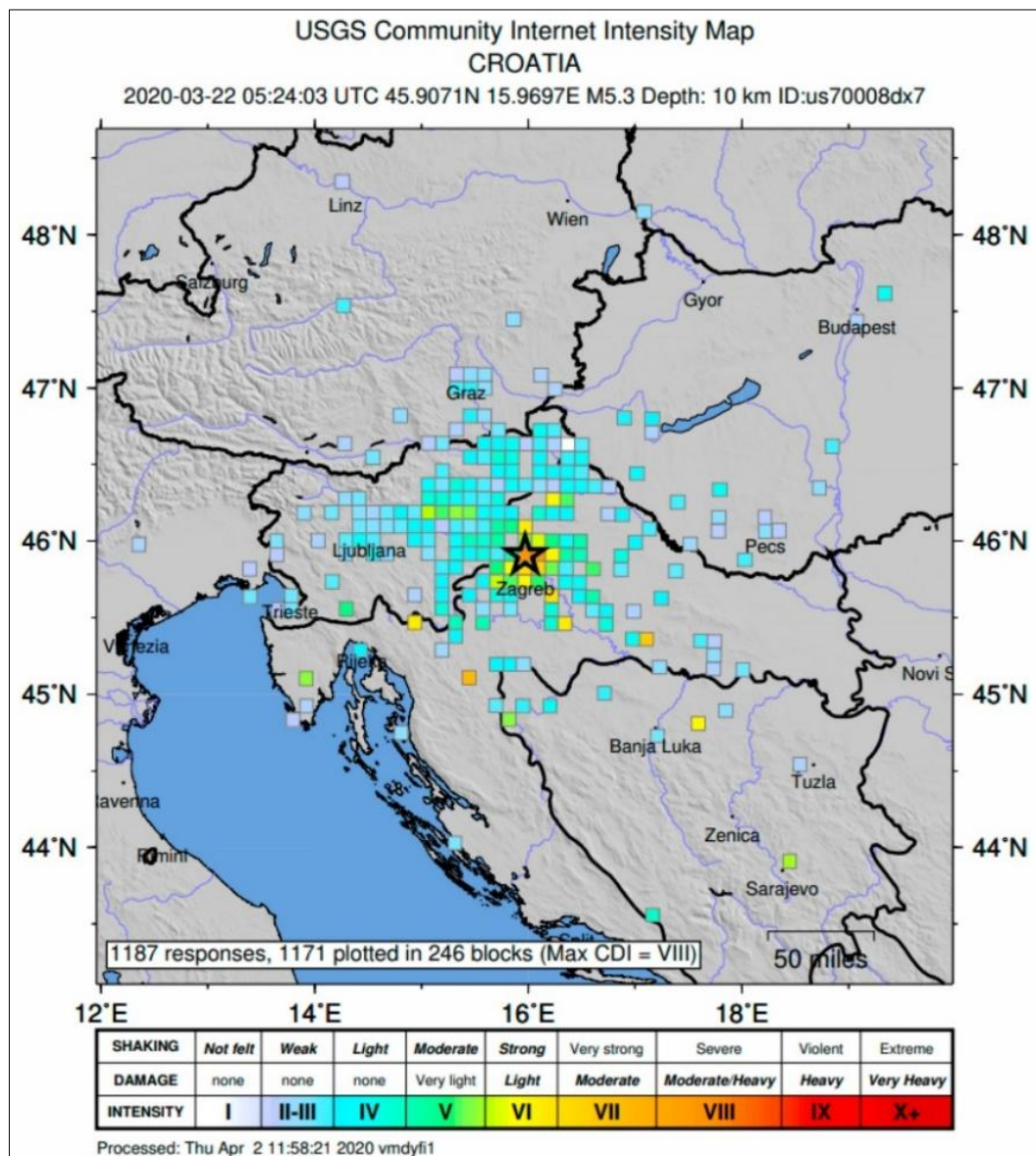
Najznačajniji povijesni potres dogodio se u studenome 1880. godine, s procijenjenom magnitudom od 5,9 i maksimalnim intenzitetom VIII MCS (Markušić i dr., 2025). Taj potres prouzročio je znatna oštećenja na građevinama povijesne jezgre grada, a njegove posljedice su zabilježene i u okolnim područjima. Posljednji jaki potres pogodio je Zagreb 22. ožujka 2020. godine, a bio je magnitude 5,5 i intenzitet VII-VIII MSK (Markušić i dr., 2020). Relativno visok intenzitet i nesrazmjerna šteta u odnosu na umjerenu magnitudu može se djelomično objasniti zastarjelim građevinskim standardima u dijelovima povijesne jezgre grada, gdje

većina objekata potječe iz razdoblja prije uvođenja suvremenih protupotresnih propisa. Procjenjuje se da je ukupna šteta na građevinama i zagrebačkom gospodarstvu zbog posljedica potresa oko 10 milijardi eura (Šavor Novak i dr., 2020.) Na slici 20 prikazane su fotografije štete nakon zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020. godine (Markušić i dr., 2020).



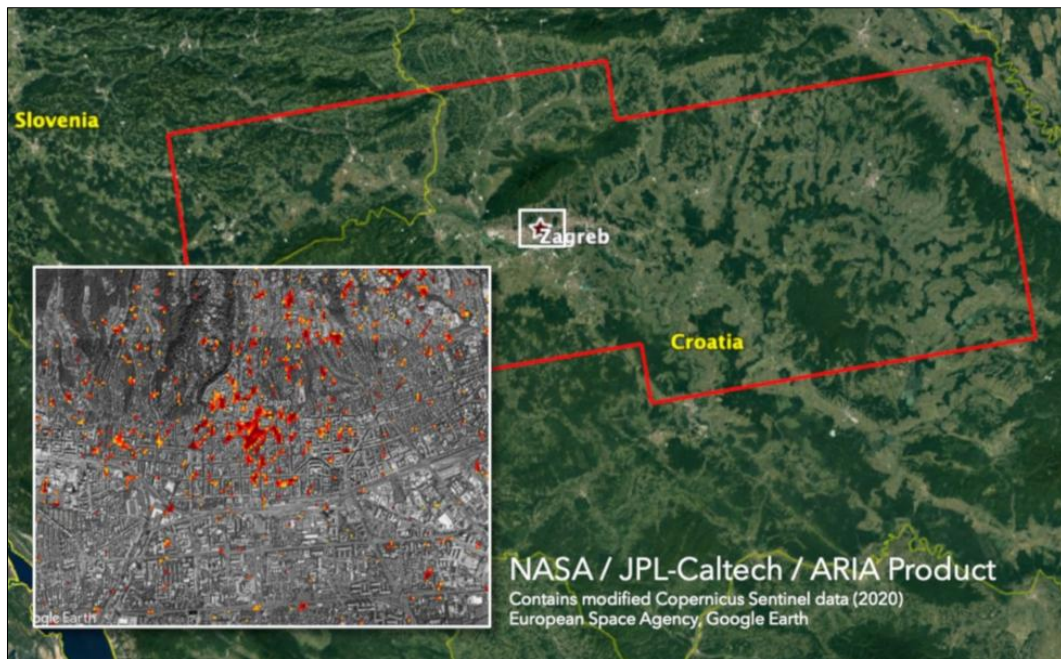
Slika 20. Fotografije štete nakon zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020. godine (Markušić i dr., 2020).

Slika 21 prikazuje prostornu raspodjelu procijenjenih intenziteta zagrebačkog potresa iz 22. ožujka 2020. godine u Hrvatskoj i okolnim zemljama (Markušić i dr., 2020). Kartu je izradio Nacionalni centar za informiranje o potresima na temelju podataka Američke geološke službe USGS (eng. United States Geological Survey).

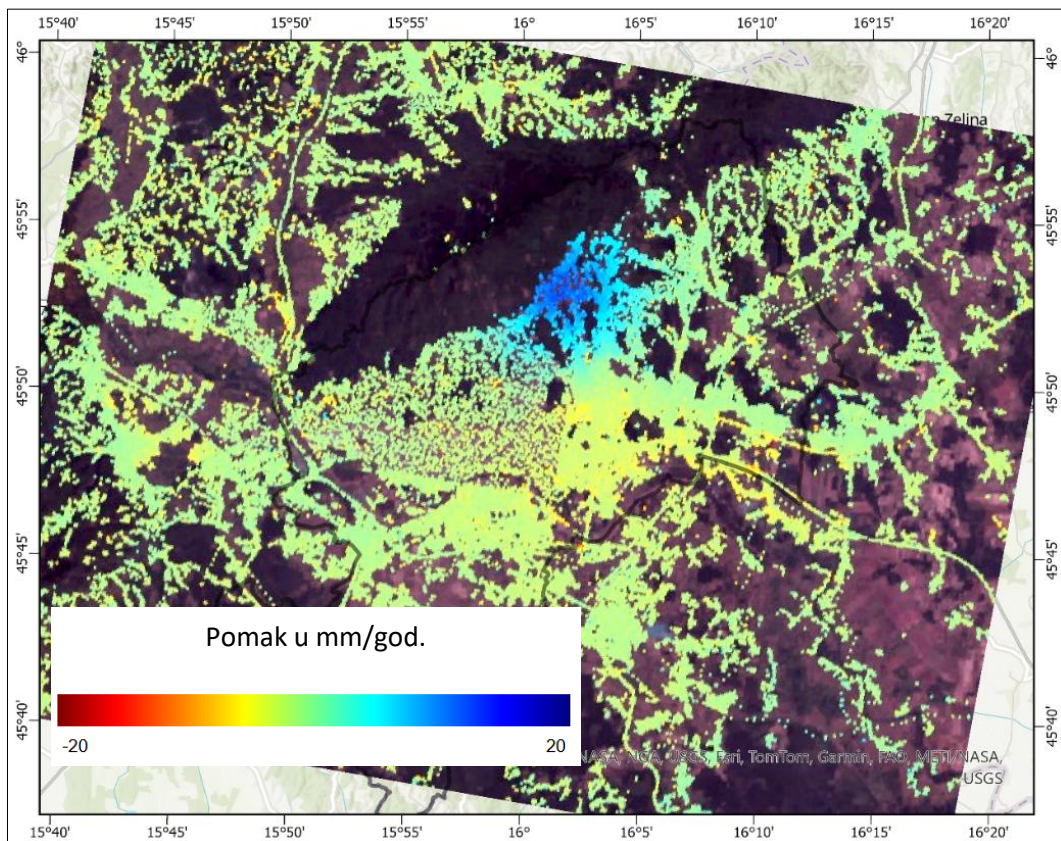


Slika 21. Prostorna raspodjela intenziteta glavnog zagrebačkog potresa iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020). Intenzitet (eng. intensity) je prikazan na dnu slike na ljestvici od I do X+.

Slika 22 prikazuje kartu oštećenja objekata naširem zagrebačkom području te u centru grada. Ova karta se temelji na modificiranim podacima Europske svemirske agencije (ESA), programa Copernicus Sentinel, a koje je analizirao NASA-in JPL/Caltech tim ARIA (Markušić i dr., 2020). Isječak karte na slici 23 prikazuje relativni vertikalni pomak tla u mm/god. uslijed potresa koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine za područje grada Zagreba.



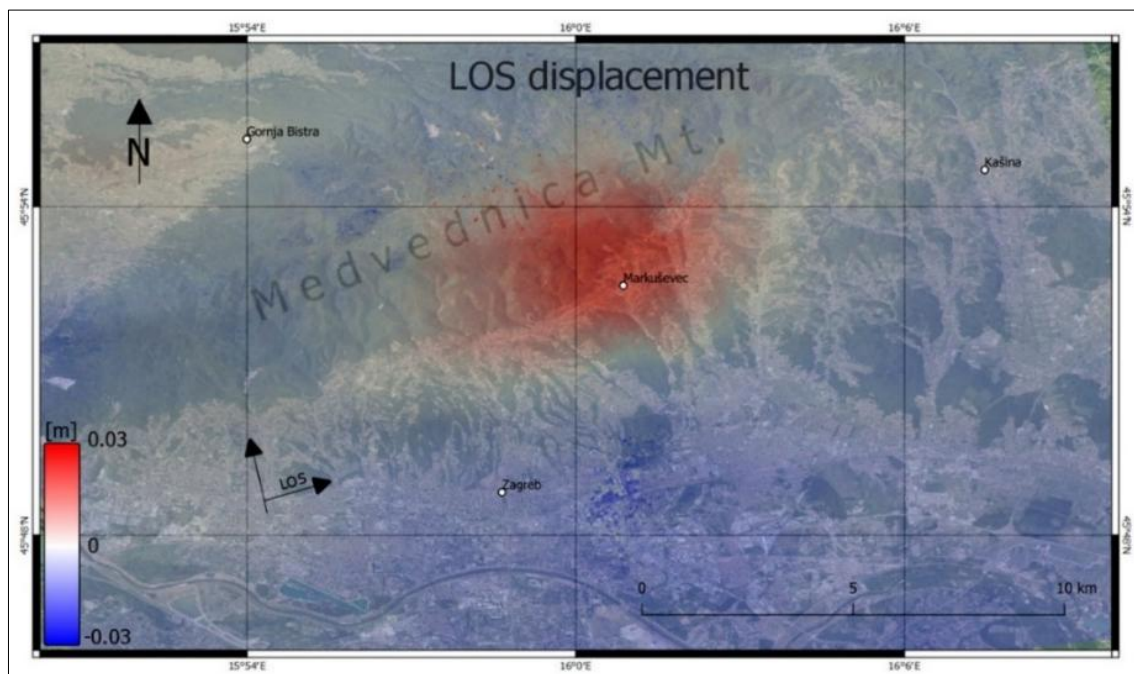
Slika 22. Oštećenja građevina nakon zagrebačkog potresa (Markušić i dr., 2020).



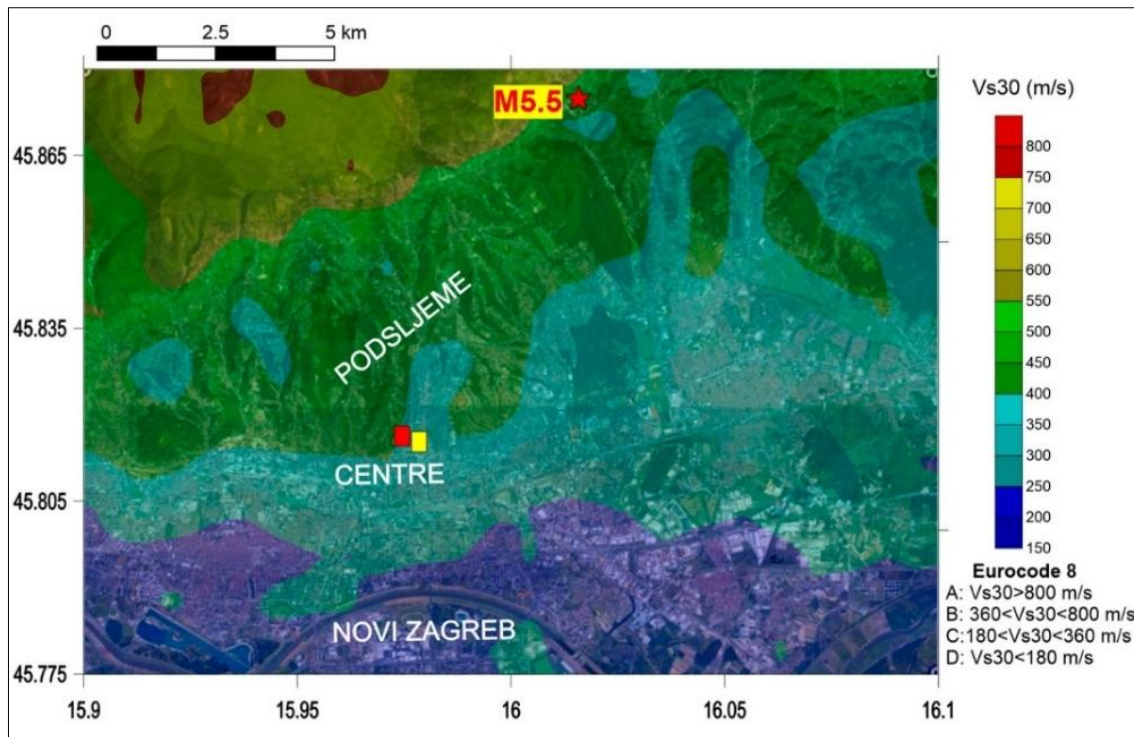
Slika 23. Relativni pomak tla (mm/god) uzrokovan potresom koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine u Zagrebu; preuzeto s internetskog servisa EGM (eng. European Ground Motion Service). Plava boja u legendi predstavlja pozitivan, a crvena negativan vertikalni pomak.

U području Podsljemenske zone vidljivo je područje u kojemu je zabilježen pozitivan pomak u približnom rasponu od 5 – 15 mm. Karta je izrađena na temelju obrade InSAR (eng. Interferometric Synthetic Aperture Radar) podataka prema internetskom servisu EGM (eng. European Ground Motion Service) Europske agencije za zaštitu okoliša EEA (eng. European Environment Agency). To je tehnika u daljinskim istraživanjima, koja koristi više radarskih snimaka istog područja, snimljenih u različito vrijeme za mjerenje promjena nadmorske visine s milimetarskom točnošću (URL 4). Promjene nadmorske visine se najbolje primjećuju na umjetnim površinama (zgrade, prometnice i druge građevine), dok je na prirodnim površinama teže primijetiti pomak. Područja označena zelenom bojom predstavljaju površine bez pomaka, područja označena plavom predstavljaju pozitivan, a područja označena žutom i crvenom bojom predstavljaju negativan pomak. Na temelju diferencijalnog faznog kuta između dvije SAR slike procijenjeno je područje najveće deformacije uslijed potresa iz 22. ožujka 2020. god. (Markušić i dr., 2020).

Na slici 24 prikazana je karta interferograma koja prikazuje koseizmičku deformaciju u smjeru linije vida – LOS (eng. line of sight), a iz koje je moguće prepoznati najpogođenije područje, također u Podsljemenskoj zoni. Na slici 25 prikazana je procijenjena vrijednost brzine V_{S30} na temelju aproksimacije topografskog nagiba.



Slika 24. Interferogram koji prikazuje koseizmičku deformaciju nakon potresa iz 22. ožujka 2020. godine u smjeru linije vida – LOS pomak (eng. line of sight displacement) (iz: Markušić i dr., 2020).



Slika 25. Procijenjena vrijednost brzine V_{s30} prema Eurokodu 8 (Bisch i dr., 2012) na temelju horizontalnog ubrzanja (iz: Markušić i dr., 2020).

Vrijednosti V_{s30} su podijeljene u razrede prema Eurokodu 8 (Bisch i dr., 2012). Nelinearni model amplifikacije lokacije izrađen je na temelju parametra lokacije (brzina V_{s30}) i intenziteta ulaznog kretanja stijena (vršna akceleracija tla na osnovnoj stijeni – PGA_{ROCK}) (Markušić i dr., 2020).

Za razliku od Petrinjskog potresa, kada su zabilježeni brojni slučajevi likvefakcija koseizmičkih pukotina i klizišta (Amoroso i dr., 2025; Pollak i dr., 2021), nakon zagrebačkog potresa značajni seizmički efekti lokalnog tla nisu zabilježeni. Razlog tome može biti ispodprosječna količina oborina i niska razina podzemnih voda, zbog čega je saturacija sedimenata na padinama i u aluvijalnim naslagama bila niža, a time i porni tlak, zbog čega je vjerojatnost sloma bila manja (Obermeier, 1994; Veinović i dr., 2007; Amoroso i dr., 2025).

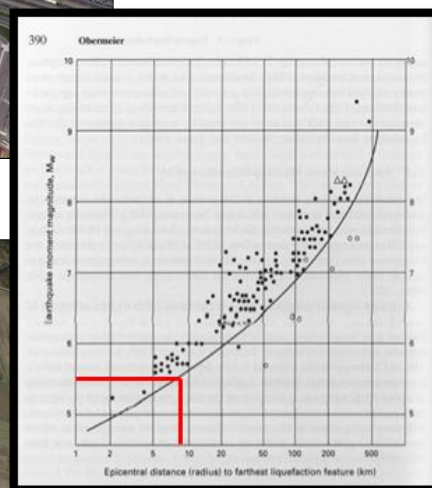
Mogući dokazi likvefakcija u istočnom dijelu Zagreba vidljivi su na Google Earth satelitskoj snimci iz svibnja 2020. godine (Slika 26a), a iste pojave na ranijoj snimci iz ožujka 2020. godine (Slika 26b) nisu vidljive. Ove pojave su primijećene relativno kasno u odnosu na zagrebački potres 2020. godine te nisu pravovremeno istražene, a kasnije su maskirane antropogenim aktivnostima. Analiza dijagrama koji povezuje postignutu momentnu magnitudu i epicentralnu udaljenost (Slika 26c; Obemeier, 1994) ukazuje na to da je na toj lokaciji pojava likvefakcija ipak bila moguća.



a



b



c

Slika 26. Moguća pojava likvefakcija u istočnom dijelu Zagreba; GoogleEarth satelitska snimka iz ožujka 2020. godine (a) i iz svibnja 2020. godine (b). Dijagram ovisnosti pojave likvefakcija o udaljenosti od epicentra i magnitudi potreca (c) (Obermeier 1994).

2.3.2. KARTE SEIZMIČKE OPASNOSTI

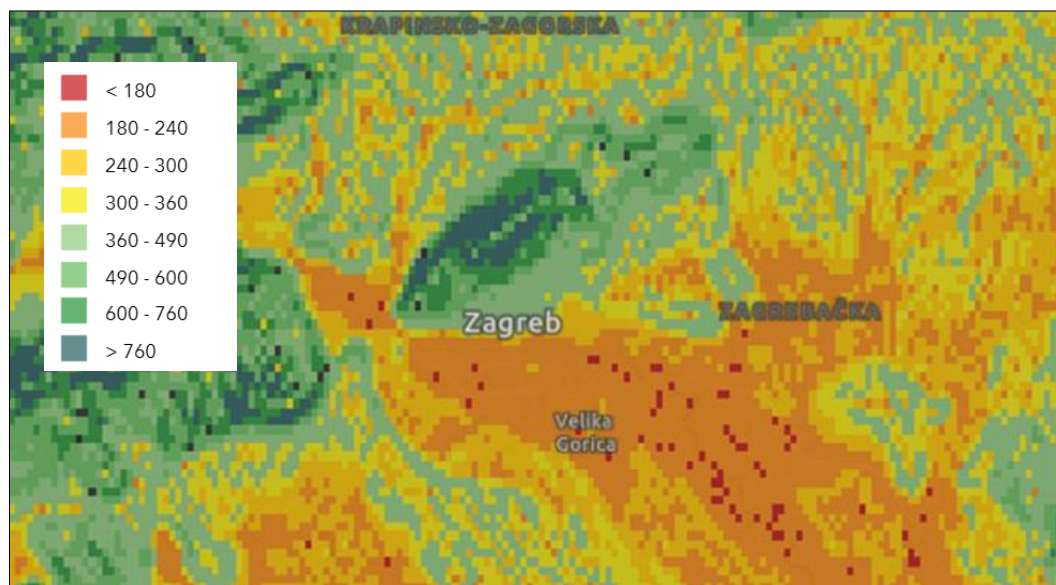
Detaljna karta seizmičke opasnosti od presudne je važnosti za procjenu rizika, planiranje seizmički otporne gradnje i smanjenje utjecaja seizmičkih efekata. Za područje grada Zagreba do sada nije izrađena cjelovita karta seizmičke opasnosti. Za izradu karte seizmičke mikrozonacije, a koja je osnova buduće karte opasnosti, potrebno je uzeti u obzir postojeće karte opasnosti, kao i dosadašnja istraživanja na istraživanom području.

Dostupne karte seizmičke mikrozonacije i opasnosti zagrebačkog područja obuhvaćaju dio ili cijelo područje grada, a izrađene su na temelju različitih setova podataka, primjenom različitih metodologija te u različitoj rezoluciji., a to su:

1. GLOBALNA HIBRIDNA KARTA VS₃₀,
2. KARTA POTRESNIH ZONA REPUBLIKE HRVATSKE,
3. KARTA TEKTONSKE AKTIVNOSTI GRADA ZAGREBA,
4. PRELIMINARNA KVALITATIVNA KARTA ZONIRANJA ZAGREBAČKOG PODRUČJA PO POTENCIJALU LIKVEFAKCIJE,
5. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE PODSLJEMENSKE ZONE GRADA ZAGREBA,
6. KARTA ZONIRANJA PODRUČJA GRADA ZAGREBA S DIFERENCIRANIM GEOLOŠKIM KOMPLEKSIMA.

2.3.2.1. GLOBALNA HIBRIDNA KARTA VS₃₀

Na internetskom servisu (URL 5) dostupna je Globalna hibridna karta prosječne brzine posmičnih valova u vršnih 30 metara (VS₃₀) rezolucije 1x1 km (Heath i dr., 2020; Slika 27).



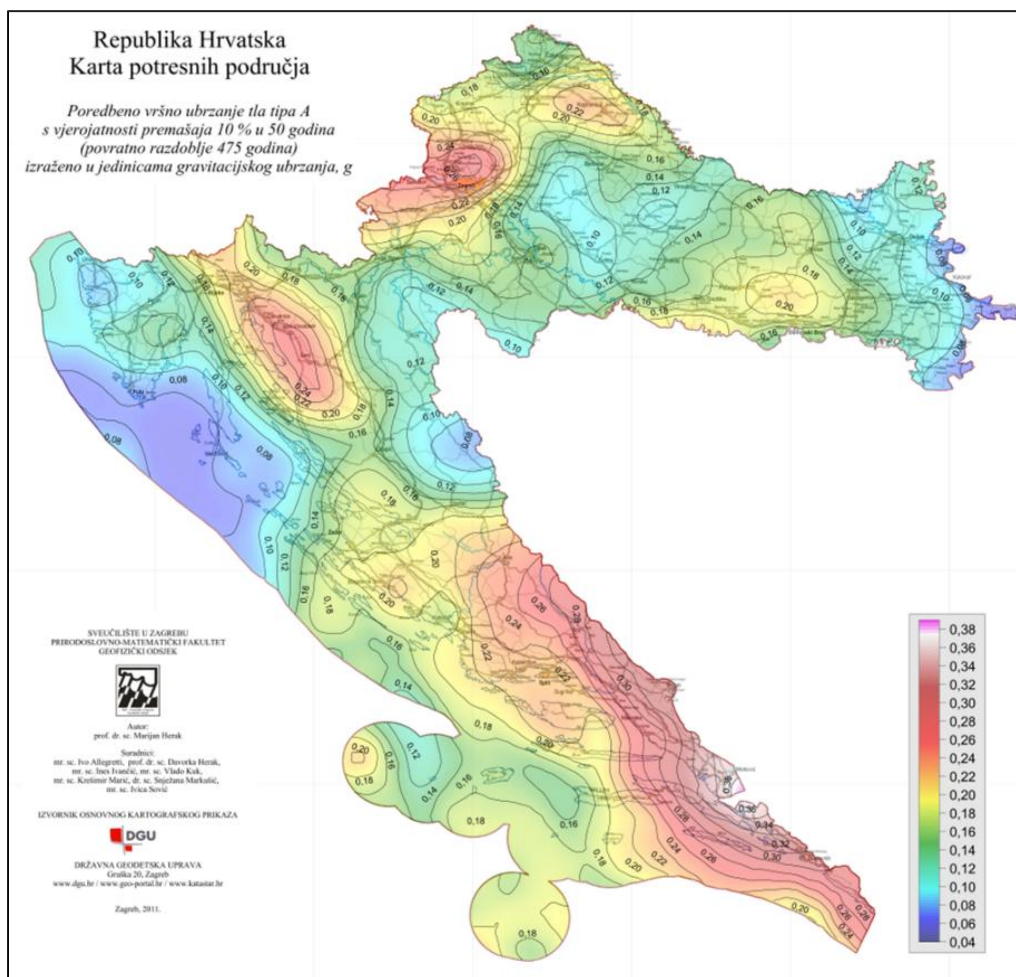
Slika 27. Isječak iz globalne hibridne karte prosječnih brzina posmičnih valova u vršnih 30 metara (Heath i dr., 2020). U legendi (desno) su procijenjene vrijednosti brzine VS₃₀.

Izrađena je na temelju dijelova regionalnih karata (lokalnih studija provedenih na području Sjedinjenih Američkih Država i dr.) te zadanom postavkom temeljenom na topografskom nagibu tla. Na područjima gdje nisu provedene detaljne studije ova karta se temelji isključivo

na nagibu tla dobivenom iz digitalnog modela reljefa. Koristi za općenite procjene vrijednosti V_{S30} koje možemo očekivati u određenom području, no za pouzdanije procjene je potrebno provesti detaljnija istraživanja, a koja uključuju seizmička i geofizička mjerenja, kao i druge metode.

2.3.2.2. KARTA POTRESNIH ZONA REPUBLIKE HRVATSKE

Karta potresnih zona Republike Hrvatske (Herak, M. i dr., 2011; Slika 28) prikazuje očekivano vršno ubrzanje tla (PGA) za povratna razdoblja od 95, 225 i 475 godina za cijelo područje Republike Hrvatske na osnovnoj stijeni.



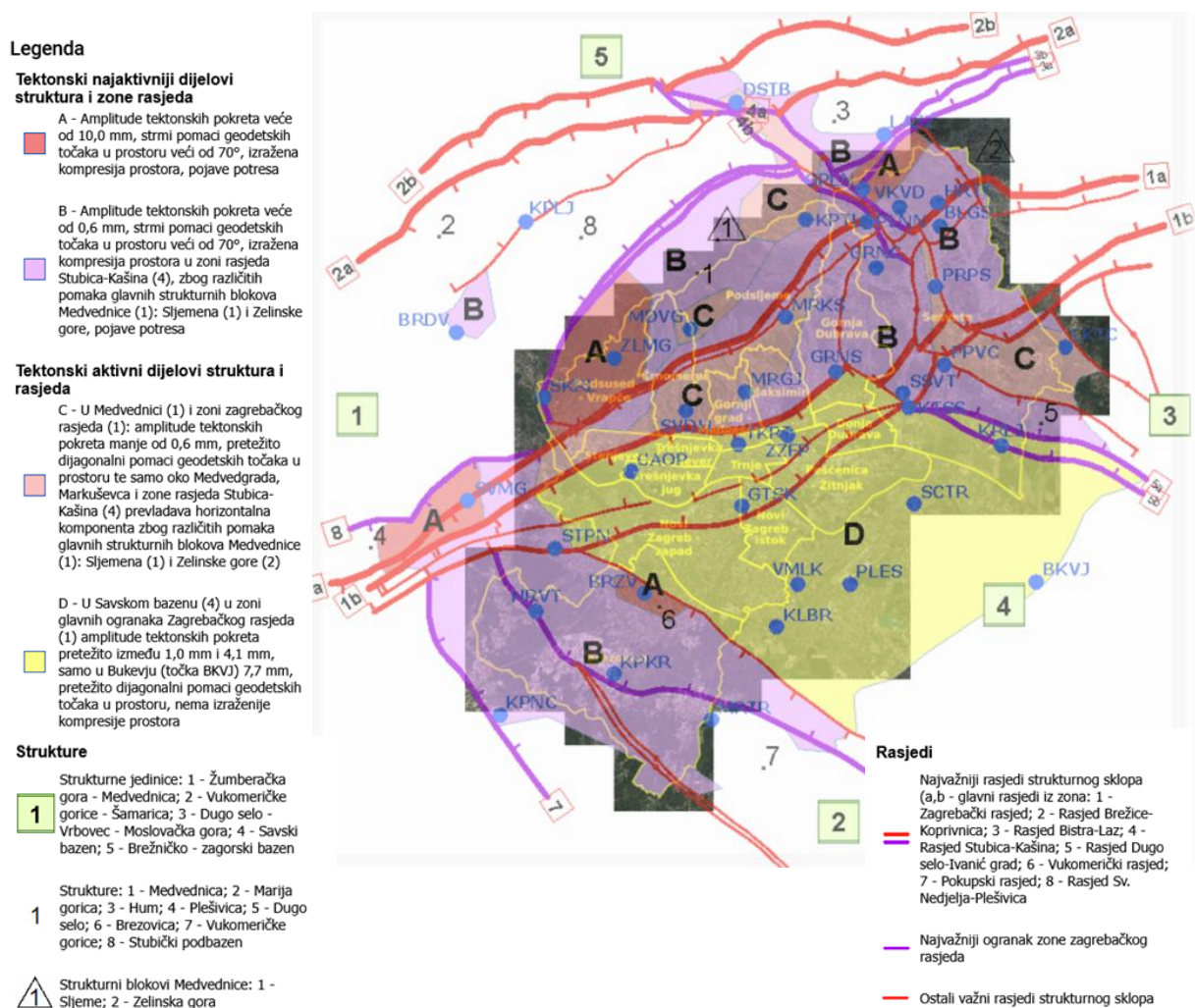
Slika 28. Karta potresnih područja Republike Hrvatske za očekivanu vrijednost vršnog ubrzanja tla za povratno razdoblje od 475 godina na osnovnoj stijeni (Herak, M. i dr., 2011).

Karta se odnosi na osnovnu stijenu, odnosno tlo tipa A, prema europskom standardu za projektiranje seizmički otpornih konstrukcija Eu 8 (Bisch i dr., 2012). Za izračun su korišteni podatci o magnitudama, lokacijama epicentara potresa na području Republike Hrvatske i

okolnih zemalja. Primjerice, očekivano vršno ubrzanje u Zagrebu za povratni period od 475 god. varira (ovisno o području) između 0,22 – 0,26 g. Karta je izrađena 2011. godine, tako da u izračune nisu uključena dva jaka potresa iz 2020. godine (zagrebački i petrinjski). Koristi se za geotehnička istraživanja i projektiranje, za statičke proračune i dr., a dostupna je na mrežnim stranicama Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (URL 6).

2.3.2.3. KARTA TEKTONSKE AKTIVNOSTI GRADA ZAGREBA

Za administrativno područje grada Zagreba dostupna je karta tektonske aktivnosti (Đapo i dr., 2020; Slika 29).



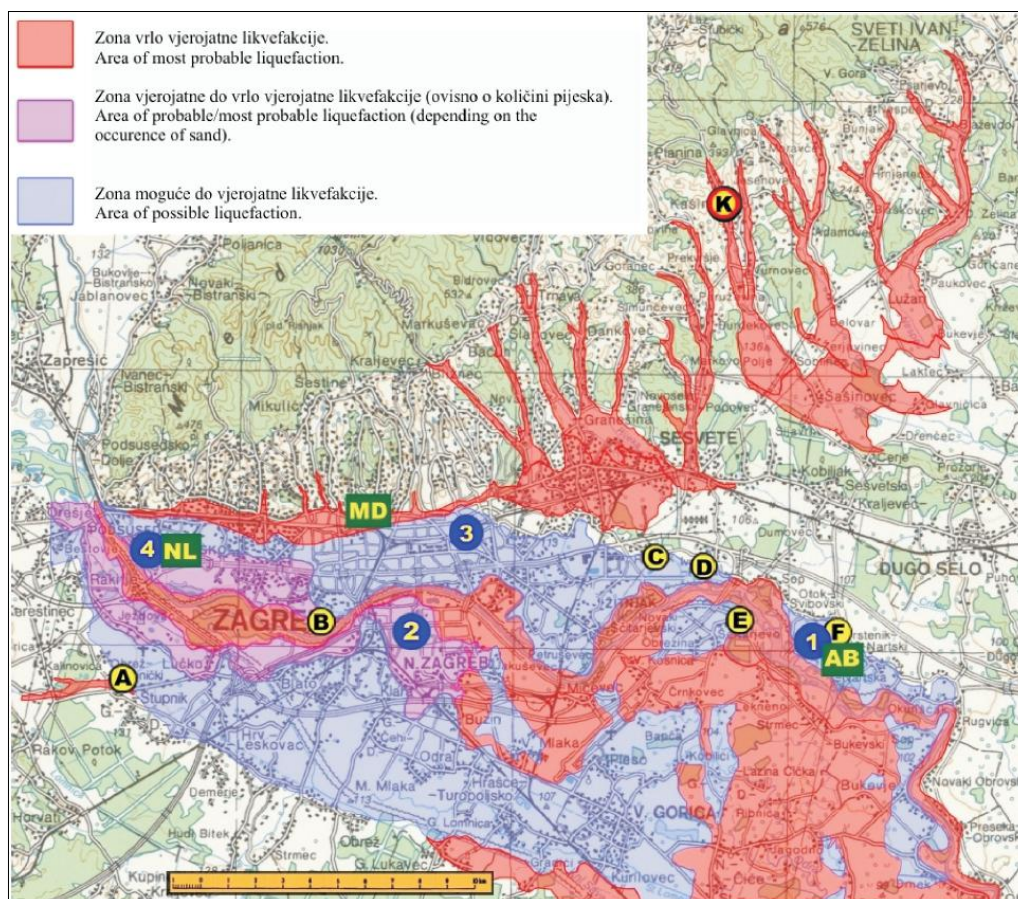
Slika 29. Isječak iz karte tektonske aktivnosti grada Zagreba (Đapo i dr., 2020).

Karta je temeljena na geodetskim mjerenjima i geološkoj interpretaciji regionalnih rasjeda (Đapo i dr., 2020). Podijeljena je na zone A, B, C i D, koje su definirane amplitudama

tektonskih pokreta od 0,6 – 10 mm godišnje i vrsti pomaka geodetskih točaka. Osim navedenih zona karta prikazuje regionalne strukturne jedinice, lokalne strukture, rasjede i točke geodetskih mjerenja. Dostupna je na mrežnim stranicama Zagrebačke infrastrukture prostornih podataka u okviru Geotehničkog katastra (URL 7).

2.3.2.4. PRELIMINARNA KVALITATIVNA KARTA ZONIRANJA ZAGREBAČKOG PODRUČJA PO POTENCIJALU LIKVEFAKCIJE

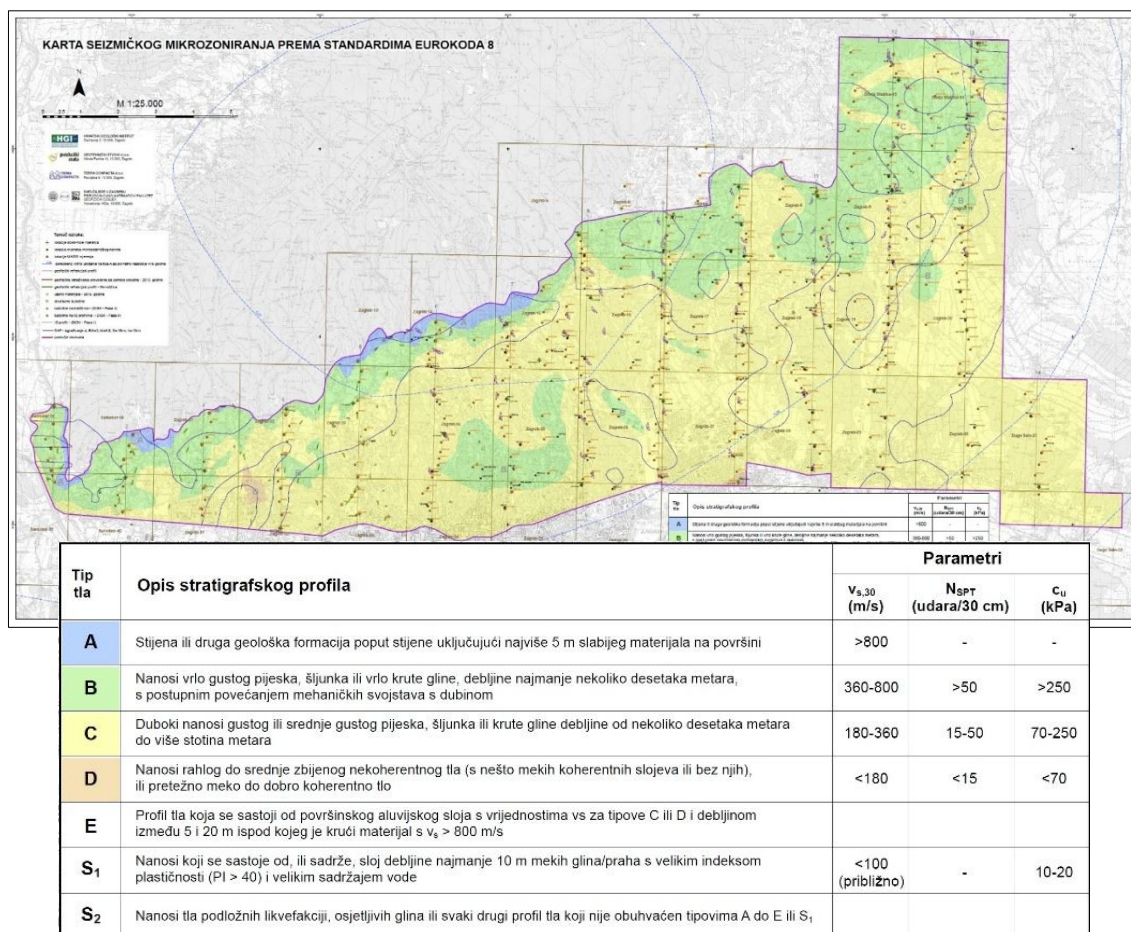
Na slici 30 prikazana je Preliminarna kvalitativna karta zoniranja zagrebačkog područja po potencijalu likvefakcije (Veinović i dr., 2007). Karta prikazuje područje grada Zagreba i okolice koje karakteriziraju aluvijalne naslage, klasificirane u 3 zone (vrlo vjerojatne, vjerojatne i moguće pojave likvefakcije) na temelju povijesnih podataka o pojavi likvefakcija (potres iz 1880. godine), hidrogeoloških i stratigrafskih podataka, procjeni područja maksimalnog dosega likvefakcija te geološkom mikromodelu pojave likvefabilnih materijala.



Slika 30. Preliminarna kvalitativna karta zoniranja zagrebačkog područja po potencijalu likvefakcije s lokacijama gdje je dokumentirana pojava likvefakcije uslijed zagrebačkog potresa iz 1880. godine (Veinović i dr., 2007).

2.3.2.5. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE PODSLJEMENSKE ZONE GRADA ZAGREBA

Najdetaljnije istraživanje na istraživanom području bila je Inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone (Miklin i dr., 2007, 2018), a koja je uključivala geofizičku studiju i izradu karte seizmičke mikrozonacije sjevernog dijela Zagreba (Miklin i dr., 2019; Slika 31).



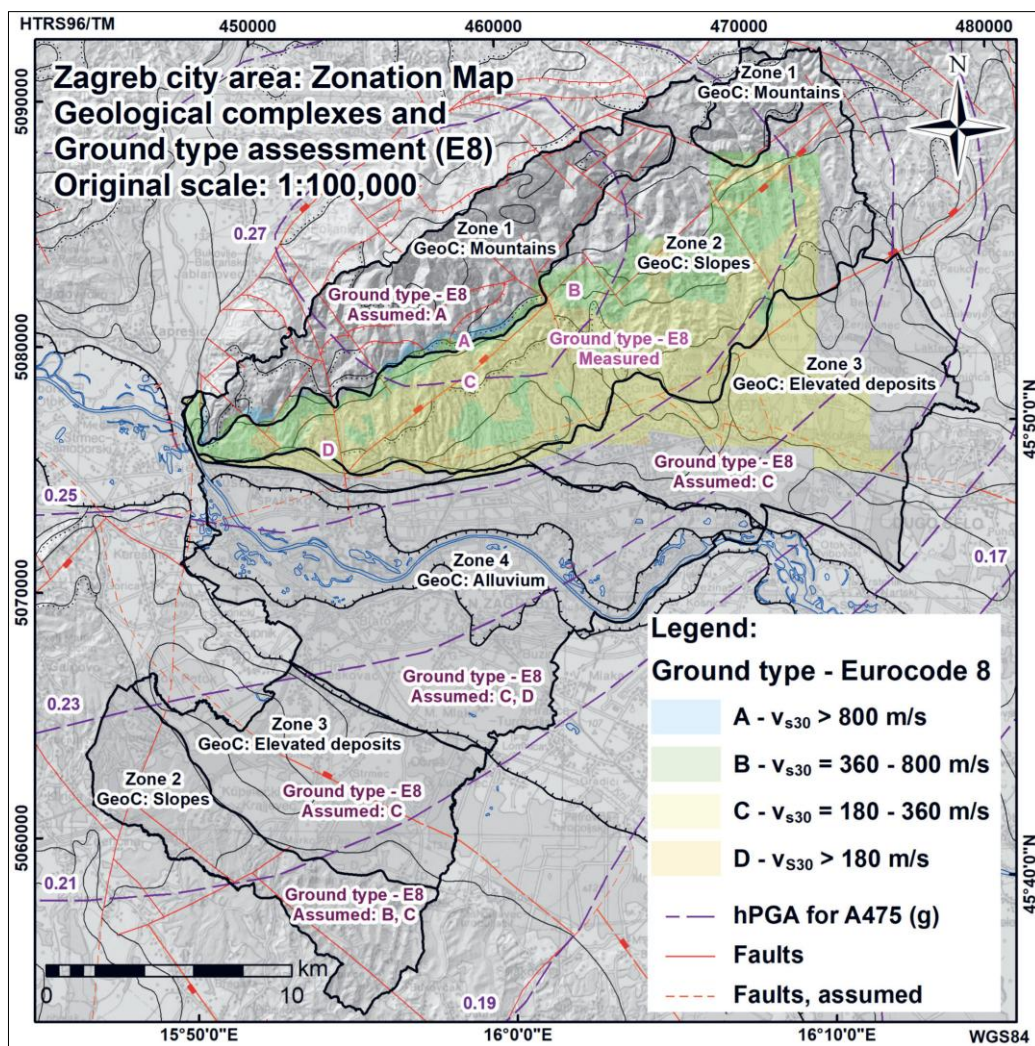
Slika 31. Karta seizmičke mikrozonacije Podsljemenske zone grada Zagreba prema standardima Eurokoda 8 (Miklin i dr., 2019).

Na karti su prikazane vrijednosti horizontalnog vršnog ubrzanja tla (hPGA) za tip tla A za povratno razdoblje od 475 godina, izražene u dijelovima ubrzanja sile teže g (standardnog ubrzanja Zemljine gravitacije, ekvivalentnog g sili) – prikazane ljubičastim izolinijama. Karta je izrađena na temelju interpretacije oko 650 HVSR točaka mjerenja i oko 380 MASW profila.

Ova karta je rezultat višegodišnjih istraživanja geohazarda na području grada Zagreba (npr. Jurak i dr., 2008; Herak, M. i dr., 2013; Padovan i dr., 2021) i provedbe nekoliko studija u kojima je izrađena Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone (DIGK) Faza I i Faza II (Miklin i dr., 2007; 2018).

2.3.2.6. KARTA ZONIRANJA PODRUČJA GRADA ZAGREBA S DIFERENCIRANIM GEOLOŠKIM KOMPLEKSIMA I PROCJENOM TIPA TLA PREMA EUROKODU 8 – EC8

Karta zoniranja grada Zagreba s diferenciranim geološkim kompleksima i procjenom tipa tla i procjenom tipa tla prema Eurokodu 8 – EC8 (Podolszki i dr., 2025; Slika 32) je izrađena na temelju procjene tipa tla prema očekivanim karakteristikama obzirom na geološke podatke.



Slika 32. Karta zoniranja područja grada Zagreba s diferenciranim geološkim kompleksima i procjenom tipa tla prema Eurokodu 8 (Podolszki i dr., 2025).

Podijeljena je na 4 zone prema prosječnoj brzini posmičnih valova (V_{s30}), odnosno prema kategorijama tipova tla A, B, C i D definiranih u Eurokodu 8 (Bisch i dr., 2012) te prema geomorfološkim karakteristikama terena (planinska, padinska, uzdignuta i aluvijalna zona), gdje svaka zona ima jedan ili više poligona. Na temelju analize geoloških karata izdvojene su geološke jedinice grupirane u kategorije stijena koje se razlikuju prema glavnim litološkim karakteristikama i njihovim procijenjenim dubinama, a mogu se usporediti s geofizičkim parametrima.

3. PODATCI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. SEIZMOLOŠKA MJERENJA

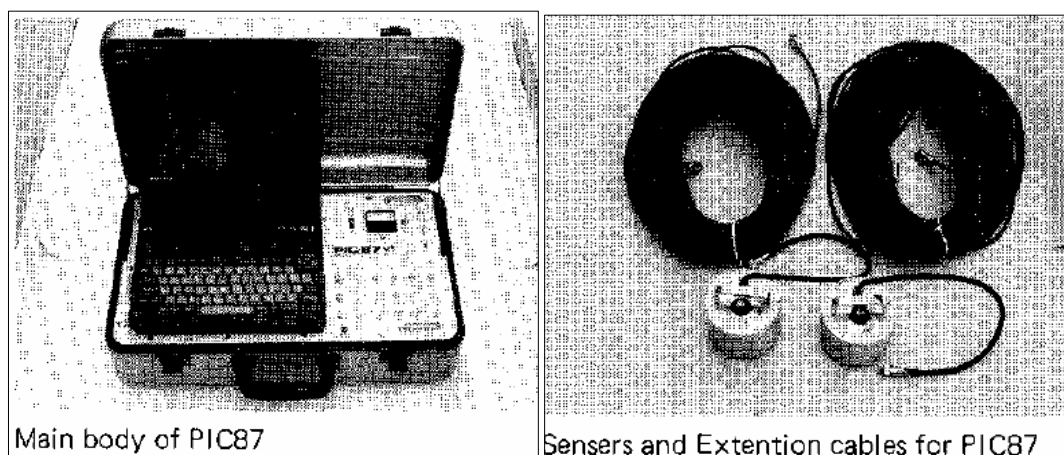
U ovom istraživanju su korištene neinvazivne metode geofizičkih terenskih mjerenja s ciljem definiranja geofizičkih parametara lokalnog tla. HVSR (*eng. Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) je metoda temeljena na spektralnom omjeru površinskih seizmičkih valova, a MASW (*eng. Multichannel Analysis of Surface Waves*) metoda koja se temelji na višekanalnoj analizi površinskih valova. HVSR metoda se izvodi pasivnim snimanjem mikroseizmičkog nemira, dok se MASW metoda izvodi snimanjem površinskih seizmičkih valova uz upotrebu seizmičkog izvora (udarca čekića u metalnu ploču). U odnosu na klasičnu refleksijsku ili refrakcijsku seizmiku, to su relativno “mlade” metode ali koje danas predstavljaju standard u inženjerskoj seizmologiji i mikrozonaciji.

3.1.1. HVSR MJERENJA

HVSR metoda se temelji na mjerenju ambijentalnih vibracija tla – šuma (mikroseizmičkog nemira), odnosno analizi spektralnog omjera između njihovih horizontalnih i vertikalne komponente, pri čemu vrhovi tog omjera odražavaju rezonanciju slojeva tla (u širem geološkom smislu stijene). Mikroseizmički nemir mjeri se u tri smjera, dobivaju se spektri za dvije horizontalne i jednu vertikalnu komponentu, a zatim se prosječni horizontalni spektar dijeli vertikalnim (H/V). Pretpostavlja se postojanje izraženog seizmičkog impedancijskog kontrasta između slabo vezanih/nevezanih i litificiranih stijena; frekvencija na kojoj HVSR krivulja ima dominantni vrh povezana je s temeljnim rezonantnim periodom tla, a time i s dubinom do podloge i prosječnom brzinom posmičnih valova.

Počeci ideje omjera horizontalnog i vertikalnog spektra mikroseizmičkog nemira sežu u radove Nogoshija i Igarashija početkom 1970-ih godina, koji su prvi pokazali da se iz ambijentalnih vibracija može dobiti informacija o rezonantnoj frekvenciji tla. Teorijski radovi (Nogoshi i Igarashi, 1971; Nakamura 1989; Bard, 1998) pokazuju da HVSR ambijentalnog šuma pouzdano locira rezonantnu frekvenciju kad postoji značajan kontrast brzine i gustoće između slojeva. Metoda je postala široko poznata tek nakon rada Yutake Nakamure (1989), pa se u literaturi često naziva i “Nakamura metoda”; od tada se intenzivno primjenjuje za procjenu lokalnih uvjeta tla širom svijeta.

Pasivno mjerenje mikroseizmičkog nemira, koje je analizirano primjenom Nakamura metode primarno je korišteno za procjenu karakteristika dinamičkog odziva tla i dinamičkih parametara građevina na željezničkim linijama japanske tvrtke JR (Japan Railways) u duljini od približno 1500 km. U tu svrhu Yutaka Nakamura je konstruirao prijenosni uređaj Portable Intelligent Collector (PIC 87) (Nakamura, 1989; Slika 33).

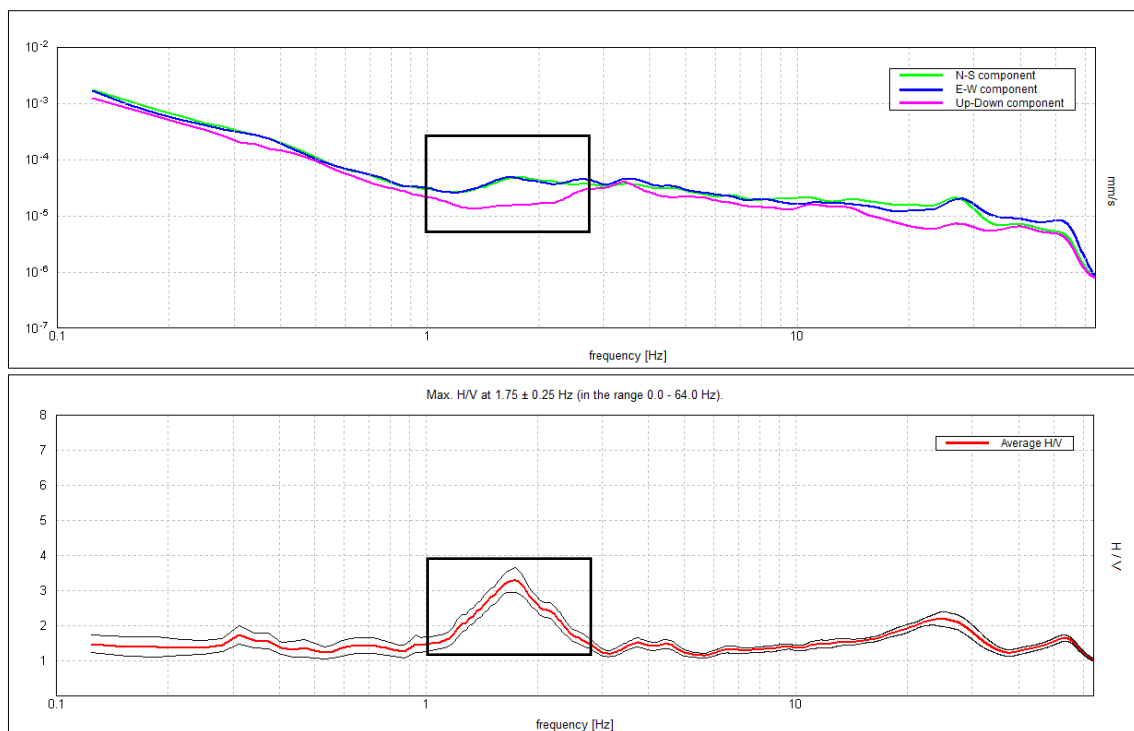


Slika 33. Prijenosni uređaj za mjerenje ambijentalnih vibracija PIC 87 (Nakamura, 1989).

Za mjerenja mikroseizmičkog nemira se koriste digitalni seizmografi koji mogu imati više velocimetrijskih i akcelerometrijskih kanala u raznim konfiguracijama, ovisno o proizvođaču. Mjerenja se izvode u trajanju od minimalno 20 minuta (u novijim istraživanjima 30 do 60 minuta), uz stopu uzorkovanja od 128 Hz. Za izračun H/V krivulje koriste se specijalizirani softveri, gdje većina proizvođača razvija vlastite aplikacije za obradu i interpretaciju podataka.

Osim komercijalnih softvera, za određene setove podataka koriste se softveri otvorenog koda, kao npr. Geopsy (Wathelet i dr., 2020), a koji je razvijen u skladu sa smjernicama za procjenu lokalnih uvjeta tla SESAME (eng. *Site EffectS assessment using Ambient Excitations*) i interpretaciju H/V krivulja (SESAME, 2004).

Karakteristična je pojava vrha (eng. *peak*) na H/V krivulji koji predstavlja osnovnu frekvenciju temeljnog tla – f_0 (temeljnu rezonantnu frekvenciju), koja odgovara glavnom seizmičkom horizontu. Pojava nižeg vrha na H/V krivulji predstavlja sekundarnu frekvenciju – f_1 te odgovara sekundarnom seizmičkom horizontu. Kako bi se eliminirao antropogeni i atmosferski utjecaj, usporedno s H/V krivuljom se interpretira spektralna krivulja, na kojoj se dio s najvećim odstupanjem horizontalnih i vertikalnog spektra poklapa s vrhom na H/V krivulji (SESAME, 2004; Stanko i Markušić, 2020). Rezultantne krivulje (Slika 34) sastoje se od dva vodoravna (zelena i plava linija) i okomitog spektra (ružičasta linija) te H/V krivulje.



Slika 34. Primjer spektralne krivulje frekvencije horizontalnih (zelena i plava linija) i vertikalnog spektra (ružičasta linija) u točki mjerenja ZGN_248. Mjesto gdje su horizontalni i vertikalni spektar najviše razmaknuti (u crnom okviru) označava temeljnu (rezonantnu) frekvenciju (f_0), koja na H/V krivulji predstavlja vršnu vrijednost omjera horizontalne i vertikalne komponente.

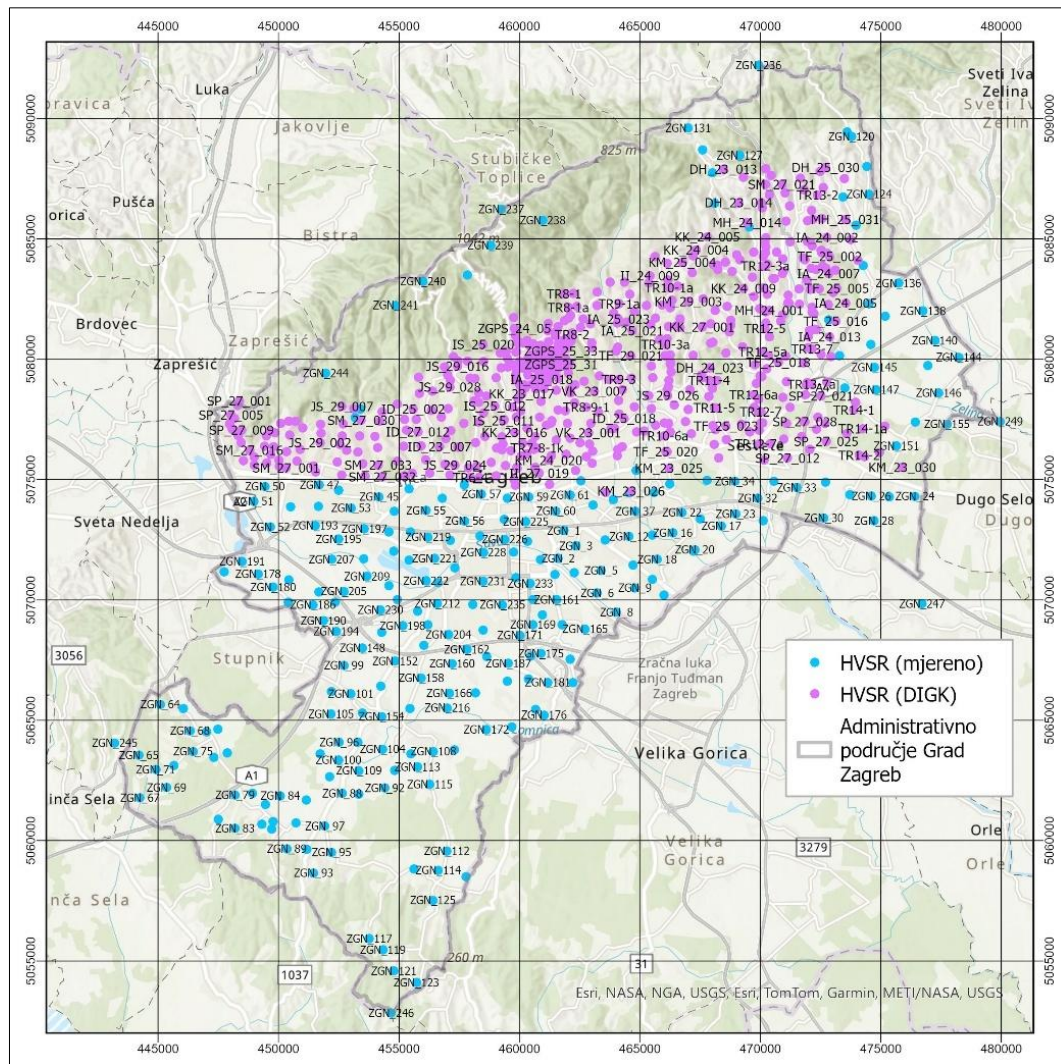
U ovom radu korišten je softver Grilla (URL 8) za izračun spektralnog omjera horizontalne i vertikalne frekvencije (H/V krivulja) za 250 točaka mjerenja i 120 točaka iz ranije studije Detaljne inženjerskogeološke karte i pripadajuće karte seizmičke mikrozonacije podsljemenske zone grada Zagreba (Miklin i dr., 2019). Dodatnih 430 arhivskih točaka mjerenja iz iste studije interpretirano je pregledom kreiranih H/V i spektralnih krivulja.

Popis mjerenih točaka nalazi se u PRILOGU I, HVSR i spektralne krivulje mjerenih točaka nalaze se u PRILOGU II, a popis arhivskih točaka se nalazi u PRILOGU III. Za mjerenja mikrosezmičkog nemira korišten je digitalni seizmograf MOHO Tromino (URL 9; Slika 35), s brzinom uzorkovanja od 128 Hz i trajanja snimanja od 20 minuta po točki mjerenja.



Slika 35. Digitalni tomograf MOHO Tromino.

Na temelju interpolacije interpretiranih vrijednosti f_0 izrađuju se karte temeljne rezonantne frekvencije, koje predstavljaju ulazni podatak za kartu seizmičke mikrozonacije kakva je izrađena u ovom istraživanju. Na slici 36 prikazan je položaj točaka HVSR mjerenja prikupljenih u ovom istraživanju te točaka iz studije *Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba* (Miklin i dr., 2007, 2018).



Slika 36. Položaj točaka HVSR mjerenja (ZGN_1 – ZGN_250) prikupljenih tijekom 2024. godine u ovom istraživanju – plavo te točaka preuzetih iz ranije studije (Miklin i dr., 2007, 2018) – ljubičasto.

3.1.2. MASW MJERENJA

MASW je geofizička metoda koju su razvili Park, C. B. i dr. (1999), a temelji se na analizi površinskih valova i činjenici da su površinski valovi disperzivni, tj. da im se brzina mijenja promjenom frekvencije (Park, C. B. i dr., 1999; Miller i dr., 1999). Površinski valovi (Rayleighjevi i Loveovi valovi) čine najveći dio energije (67% ili više) u seizmičkom zapisu (Bard, 1998; SESAME, 2004). Rayleighjevi valovi nastaju interferencijom P-valova i

vertikalno polariziranih S-valova. Kreću se duž površine, a njihovo gibanje čestica je retrogradno (u smjeru suprotnom od smjera kretanja kazaljki na satu) te u obliku elipse (Wathelet i dr., 2020). Kod površinskih valova različite frekvencije (i valne duljine) putuju različitim brzinama u heterogenom mediju. Veće valne duljine (niže frekvencije) prodiru dublje i putuju brže kroz čvršće materijale (stijena/tvrdo tlo), dok manje valne duljine (više frekvencije) prodiru pliće i putuju sporije. Dubina istraživanja izravno je proporcionalna valnoj duljini (veća valna duljina znači veću dubinu). Instrument bilježi valne oblike pomoću niza geofona (*engl. multichannel*), a signal se dobiva aktivno (udarcem čekića), što omogućuje stvaranje valova, a niz geofona (obično 24 ili više) ih snima (Park, C. B. i dr., 1999; Miller i dr., 1999). Podatci se iz vremenske domene transformiraju u frekvencijsko-faznu domenu (f-v), čime se dobiva disperzijska krivulja. Iz dobivene eksperimentalne disperzijske krivulje se inverzijom izračunava profil brzine posmičnih valova (V_s) u funkciji dubine (Wathelet i dr., 2020).

Brzina posmičnog vala direktan je pokazatelj krutosti materijala (Park, C. B. i dr., 2007; Miller i dr., 1999). Točnije, postupak dobivanja brzine transverznog ili posmičnog (S) vala iz fazne brzine površinskog vala sastoji se od snimanja površinskog vala, konstrukcije disperzijske krivulje snimljenog površinskog vala te izrade 1D profila raspodjele brzina transverzalnih valova iz disperzijske krivulje, odnosno modela brzine. Disperzijska krivulja predstavlja ovisnost brzine vala na površini i valne duljine odnosno frekvencije. Za kreiranje modela promjene brzina transverzalnih valova po dubini primjenjuje se inverzno modeliranje (Miller i dr., 1999; Park, Y. i Agnon, 2019).

Metoda aktivne višekanalne analize površinskih valova (MASW) može se koristiti zajedno s metodom pasivnih višepostajnih mjerenja mikrosezmičkog nemira MAM (*eng. Microtremor Array Measurements*) za seizmičku analizu disperzije površinskih valova za generiranje profila brzine/dubine (Park, C. B. i dr., 2007) s većom preciznošću i dubinom. MAM podrazumijeva simultano višepostajno HVSR snimanje više instrumenata distribuiranih linijski ili u određenom rasporedu, s time da se od dobivenih H/V krivulja uzima prosječna za interpretaciju (Aki, 1957, Okada, 2003). Mjerenjima MASW metodom dobivaju se brzine posmičnog vala (V_s), a za analize se najčešće koriste prosječne brzine posmičnog vala u gornjih 30 metara V_{s30} (za detaljnije studije mogu se izračunati prosječne brzine posmičnog vala u gornjih 5 ili 15 metara – V_{s5} , V_{s15}). Rasponi vrijednosti V_{s30} klasificirani su prema Eurokodu 8, Projektiranje potresne otpornosti građevina (Bisch i dr., 2012), gdje se navode kategorije tla tipa A, B, C, D, E, S1 i S2 (Tablica 3).

Tablica 3. Klasifikacija tla prema Eurokodu 8 koji obuhvaća skupinu normi za konstrukcijsko i geotehničko projektiranje građevina (CEN, 2004).

Tip tla	Opis stratigrafskog profila	V_{S30} (m/s)	N_{SPT} (udarac/30 cm)	C_u (kPa)
A	Stijena i 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 s vrijednosti V_{S30} prema tipu C ili D i debljinom između 5 i 20 m, ispod kojeg je krući materijal s vrijednostima $V_{S30} > 800$ m/s			
S1	Tlo sadrži najmanje 10 m debeo sloj mekane gline s visokim plastičnim indeksom ($PI > 40$) i viskom sadržajem vode	<100 (indikativni pokazatelj)	<100 (približno)	10-20
S2	Tlo podložno likvefakciji s osjetljivim glinama ili bilo koji drugi profil tla koji nije uključen u kategorije A-E ili S1			

U ovom istraživanju su u južnom dijelu administrativnog područja Grada Zagreba provedena MASW-MAM mjerenja u svrhu definiranja dubine kvartarnih naslaga. Za obradu i tumačenje podataka korišten je računalni program Seisimager (URL 10), a mogu se koristiti i specijalizirani programi za obradu i interpretaciju seizmoloških podataka kao što su: Geopsy (Wathelet i dr., 2020), i sl., ovisno o korištenoj opremi, tj. formatu ulaznih podataka dobivenih mjerenjima. Za mjerenja je korišten bežični sustav za geofizička mjerenja Atom Geometrics

koji uključuje snimanje aktivnom i pasivnom metodom, geofone, metalnu ploču i čekić od 10 kg (URL 11; Slika 37), a popis geofizičkih profila ZGP_1 – ZGP_9 nalazi se u Tablici 4.

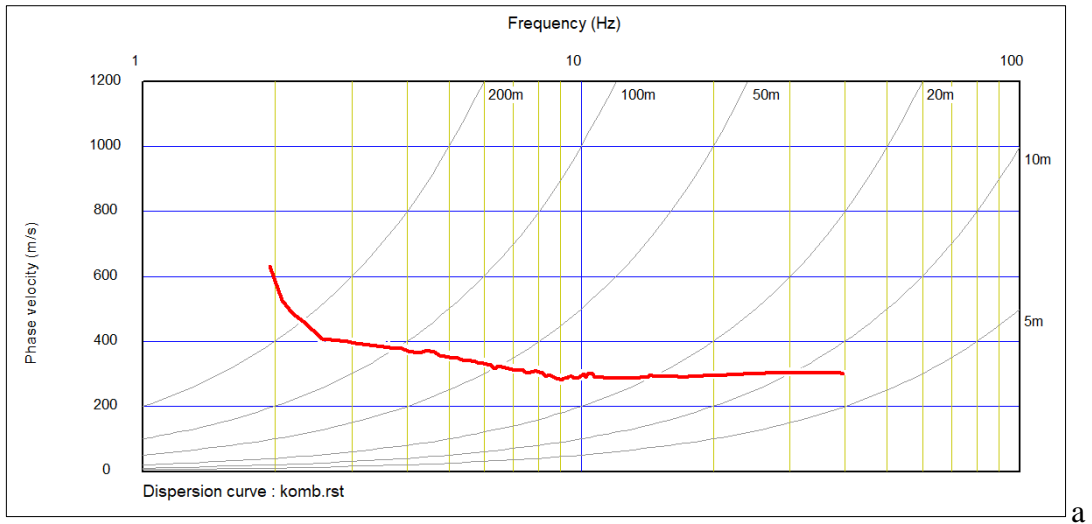


Slika 37. Sustav za seizmološka mjerenja Geometrics.

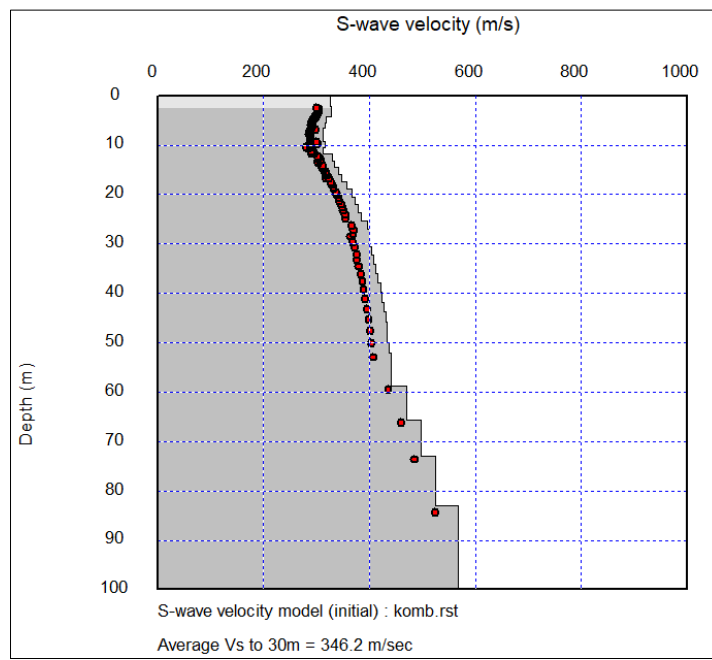
Tablica 4. Popis geofizičkih profila ZGP_1 – ZGP_9, njihov položaj i lokacija.

točka	X	Y	lokacija
ZGP_1	448570.65	5058876.54	Franje
ZGP_2	450085.29	5060274.64	Pandaki
ZGP_3	450987.89	5060930.50	Kupinečki Kraljevec
ZGP_4	463861.95	5075555.65	Ravnice
ZGP_5	454795.53	5063387.04	Strmec
ZGP_6	456901.94	5065036.14	Brezovička cesta, kanal
ZGP_7	458589.28	5066637.40	Mala Mlaka
ZGP_8	460799.07	5069176.80	Dugave
ZGP_9	462470.27	5072293.28	Savica Šanci

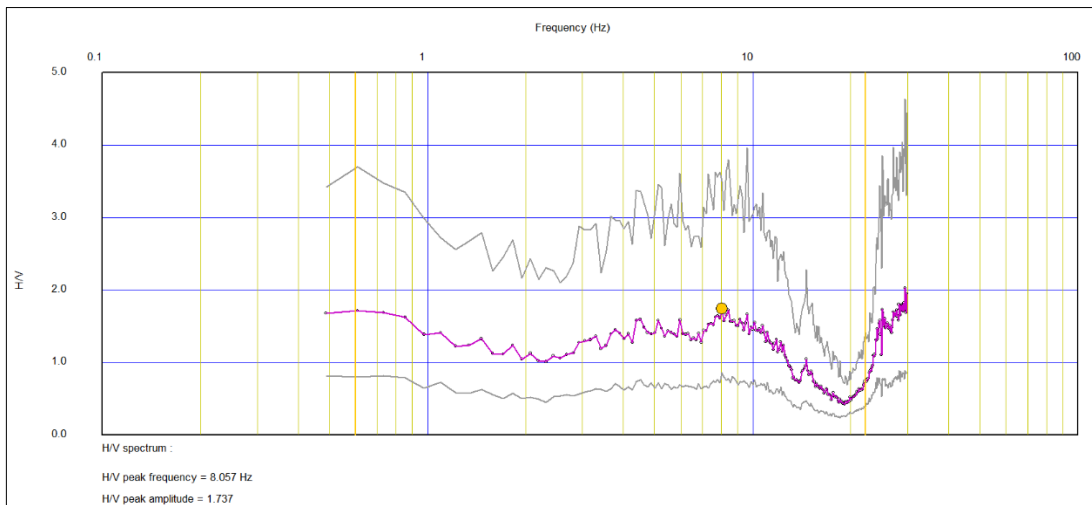
Geofizički profili snimljeni su na ukupno devet pozicija u južnom dijelu grada (Tablica 4) do maksimalne dubine od oko 120 m. Kombinacija aktivnog (MASW) u gornjem dijelu (do 30 m) i pasivnog MAM mjerenja u dubljem dijelu (30 – 120 m) doprinosi pouzdanosti dubljih profila. Na Slici 38 prikazan je rezultat MASW mjerenja u točki ZGP_6, a rezultati mjerenja (Geofizički profili ZGP_1 – ZGP_9) nalaze se u PRILOGU IV.



a



b

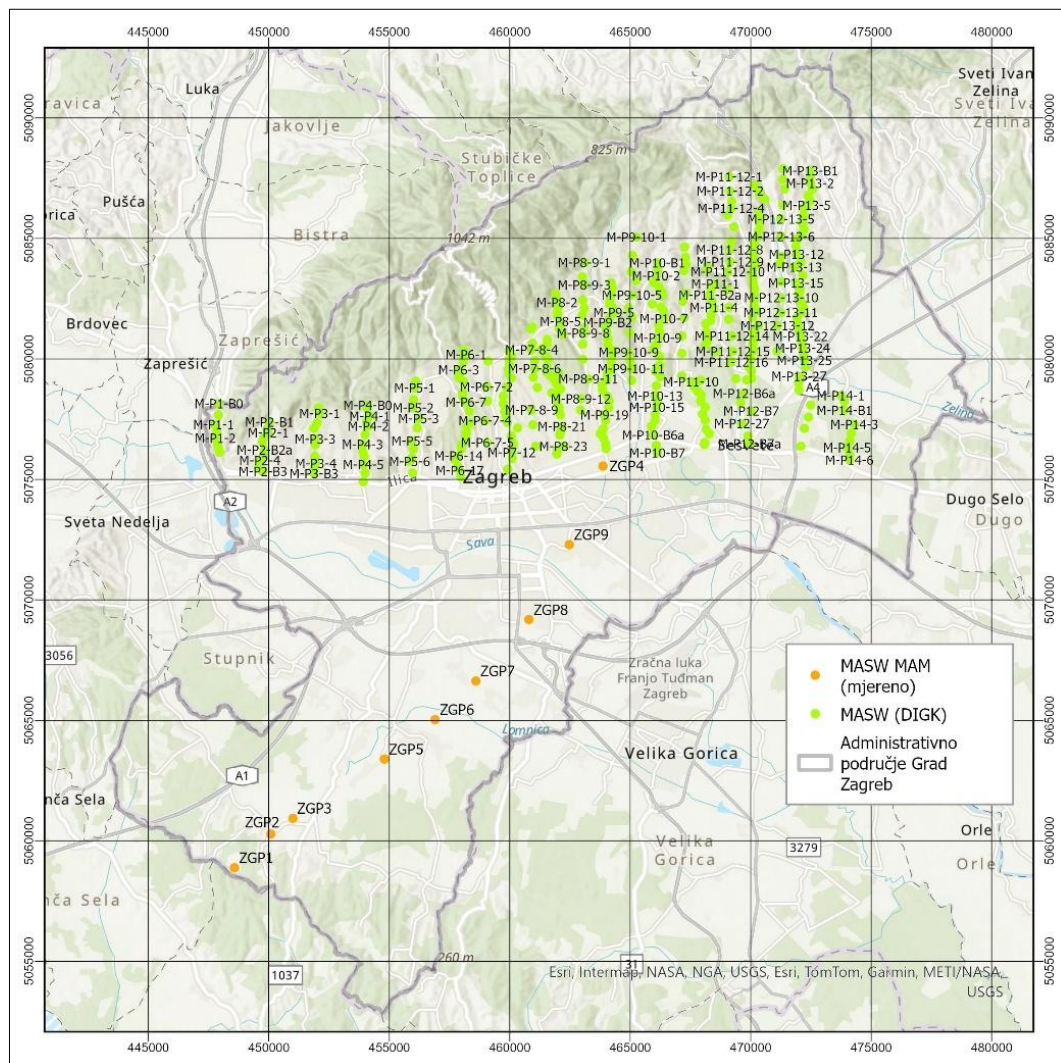


c

Slika 38. Rezultat MASW mjerenja u točki ZGP_6: disperzijska krivulja (a), model brzine posmičnog vala (b) i H/V krivulja (c).

Na temelju interpolacije vrijednosti V_{s30} izrađuju se karte brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara, koje predstavljaju ulanzi podatak za kartu seizmičke mikrozonacije kakva je izrađena u ovom istraživanju. Vrijednosti brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{s30}) mogu se dobiti MASW mjerenjima ili izračunati iz vrijednosti temeljne rezonantne frekvencije f_0 , na način koji će biti opisan u sljedećem potpoglavlju.

Osim tih izračunatih vrijednosti, koje odgovaraju pozicijama HVSR mjerenja (Slika 36), u ovom radu korišteno je oko 380 točaka MASW mjerenja iz studije Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba (DIGK) (Slika 39; Miklin i dr., 2019). U PRILOGU V nalazi se popis točaka MASW mjerenja iz studije Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba (DIGK) (Miklin i dr., 2019).



Slika 39. Položaj geofizičkih profila ZGP_1 – ZGP_9 (žuto) te MASW točaka mjerenja iz studije DIGK (Miklin i dr., 2019) (zeleno) u koordinatnom sustavu HTRS-96.

3.2. IZRAČUN PROSJEČNE BRZINE POSMIČNIH VALOVA I DUBINE DO OSNOVNE STIJENE

U opsežnoj literaturi o HVSR-u opće je prihvaćeno da vršne frekvencije spektra HVSR-a odgovaraju plićim sedimentnim strukturama i obrnuto, da niže frekvencije HVSR-a ukazuju na dublje sedimente (Stanko i Markušić, 2020). U Tablici 5 prikazani su tipični rasponi rezonantne frekvencije f_0 , parametar lokalnog tla V_{S30} , procijenjen prema mjerenjima MASW, SRF i HVSR u usporedbi s procijenjenim dubinama osnovne stijene i litološkog sastava temelju Geološke karte Republike Hrvatske 1:300000 (GKRH, 2009; Stanko i Markušić, 2020).

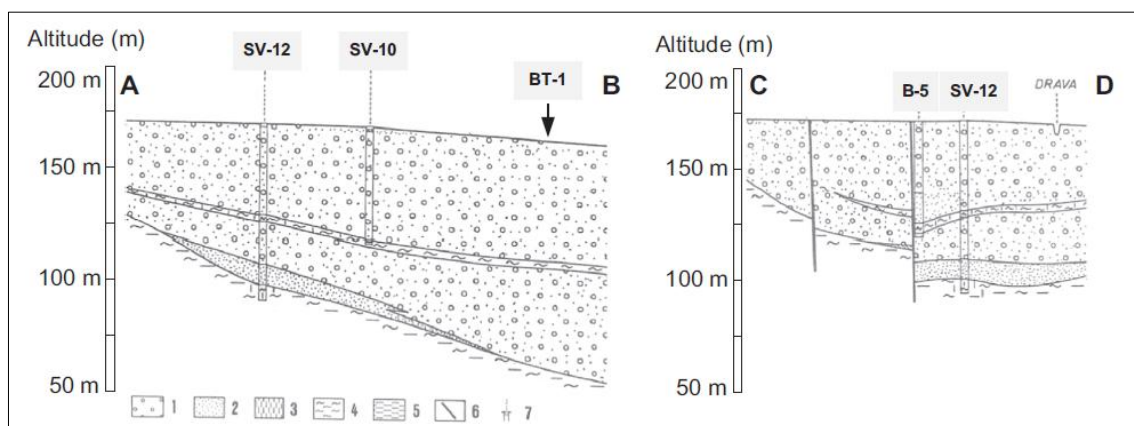
Tablica 5. Rasponi parametara lokalnog tla; temeljne rezonantne frekvencije (f_0), srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{S30}) i dubinama osnovne stijene u usporedbi s litološkim sastavom na temelju GKRH, 2009 (Stanko i Markušić, 2020).

Rasponi temeljne rezonantne frekvencije (Hz)	Raspon V_{S30} (m/s)	Raspon dubina osnovne stijene od dubljih prema plićim (m)	Geološka starost i litološki opis
$f_0 < 1.0$ (min 0.58)	183-268	110-233	Holocen; aluvijalne i diluvijalno-proluvijalne naslage; šljunci, pijesci i glina. Pleistocen; aluvijalne, fluvijalne naslage, les; šljunci, pijesci, silt i glina.
$1 < f_0 < 2$	215-320	55-130	Pliocen i gornji miocen; gline i pijesci
$2 < f_0 < 4$	238-464	16-85	Gornji miocen i pliocen; gline i pijesci Srednji miocen; klastične i karbonatne naslage Oligocen i donji miocen; klastične naslage i vulkanske stijene Palaeogen–neogen; vapnenačke breče
$4 < f_0 < 10$	298-556	9-38	Eocen; fliš
$10 < f_0 < 30$	424-720	2-18	Palaeocen–eocen; foraminiferski vapnenci Gornja i donja kreda; karbonati
Ravna krivulja HVSR	$V_{S30} \geq 800$	Prema pojedinom izdanku	Paleozoik; magmatske i metamorfne stijene

Pri odabiru metode konzultirane su slične studije u kojima su mjerenja prikupljena s jednim ili više instrumenata simultano raspoređenima u različite rasporede (Del Monaco i dr., 2013; Di Giulio i dr., 2021; Stanko i dr., 2016., 2017.a, 2017.b, 2019), a zbog veličine područja i kako bi podatci bili usklađeni s ranijom studijom odabrana je metoda s jednim instrumentom po mjernejoj točki. Osim osnovne frekvencije (f_0), u nekim područjima je interpretacijom H/V krivulja moguće izdvojiti sekundarnu frekvenciju (f_1) i vrlo rijetko frekvencije nižih redova (f_n). Frekvencije nižeg reda mogu odražavati pliće slojeve, odnosno proslojke sitnozrnatih sedimenata unutar slijeda aluvijanih naslaga, kao što je utvrđeno npr. u Varaždinu (Slika 40; Stanko i dr., 2017b). Usporedbom s bušotinskim podacima, gdje u litološkim profilima ukupna prosječna debljina šljunka s proslojcima gline iznosi 50-100 m, stvarna debljina aluvijalnih naslaga (h) procijenjena je temeljem relacije:

$$h = V_{S30}/4f$$

(Pitilakis, 2007).



Slika 40. Litološki profili gradskog područja Varaždina. Tumač: 1 – šljunak; 2 – pijesak; 3 – mulj; 4 – glina; 5 – nepropusne stijene; 6 – pretpostavljeni rasjed; 7 – bušotina (Urumović i dr., 1990; arhiva Geotehničkog fakulteta u Varaždinu).

U ovom istraživanju vrijednosti osnovne rezonantne frekvencije (f_0) izdvojene su na oko 800 točaka na području grada Zagreba. Osim toga, vrijednosti sekundarne rezonantne frekvencije (f_1) izdvojene su na oko 250 točaka u južnom dijelu grada. Vrijednosti f_0 korištene su za izračun prosječne brzine posmičnog vala u gornjih 30 m od površine (V_{S30}) i dubine do osnovne stijene (*eng. bedrock*) (H_{800}), koristeći empirijske odnose kako slijedi:

$$V_{S30} = e^{5,34+0,46 \cdot \ln(f_0)} \quad H_{800} = 134,37 * f_0^{-1,127}$$

(Stanko i Markušić, 2020).

Na temelju interpolacije točaka mjerenja, odnosno izdvojenih i izračunatih vrijednosti geofizičkih parametara (f_0 , V_{S30} i H_{800}) izrađene su odgovarajuće karte. Za interpolaciju točkastih podataka korišten je alat za inverzno ponderiranje udaljenosti – IDW (eng. Inverse Distance Weight; Philip i Watson, 1982; Watson i Phillip, 1985) dostupnog unutar Spatial Analyst paketa računalnog programa ArcGIS Pro. To je funkcija inverzne vrijednosti udaljenosti, gdje površina koja se interpolira predstavlja površinu varijable ovisne o lokaciji (URL 12). Zbog različitih vrsta podataka pri interpolaciji je korišten kvadratni eksponent, predodređena vrijednost unutar alata, kako bi prikaz položaja podataka na karti bio što točniji. Nedostatak ovakvog pristupa je pojava ekstrema, koji predstavljaju točke izraženih vrijednosti, a prilikom interpolacije su ostale vidljive u odnosu na okolne točke.

3.3. USMJERENI HVSR

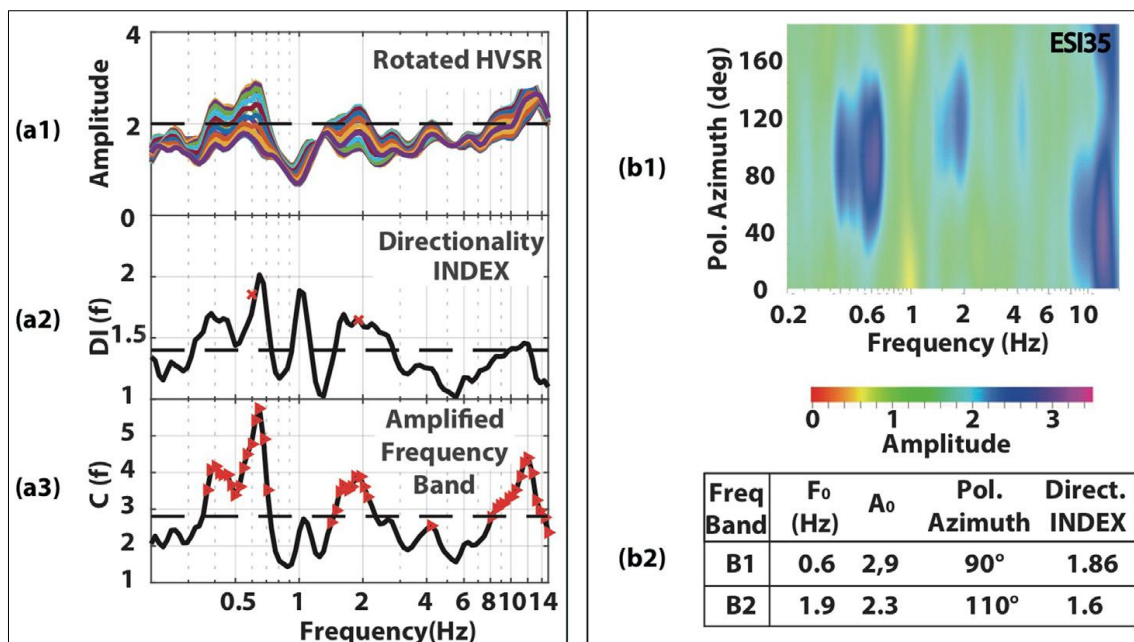
Osim za interpretaciju seizmičkih horizonata, mjerenja mikrosezmičkog nemira mogu se koristiti za interpretaciju orijentacije geoloških struktura, odnosno rasjeda i pukotina. Pischiutta i dr. (2022) prezentiraju metodologiju temeljenu na interpretaciji usmjerenog HVSR (eng. directional HVSR) mjerenja. Promatra se usmjereni pojačanje (amplifikacija) HVSR krivulje i horizontalna polarizacija na dijagramu smjera. Izračun HVSR-a dobije se rotiranjem dviju horizontalnih komponenti i prikazuje u frekvencijskoj domeni. Uspoređuje se analiza matrice kovarijance u vremenskoj domeni te analiza polarizacije u vremensko-frekvencijskoj domeni.

Za procjenu frekvencijskog pojasa u kojem pada najveće pojačanje, uzima se u obzir parametar $C(f)$, kako je definirano u jednadžbi:

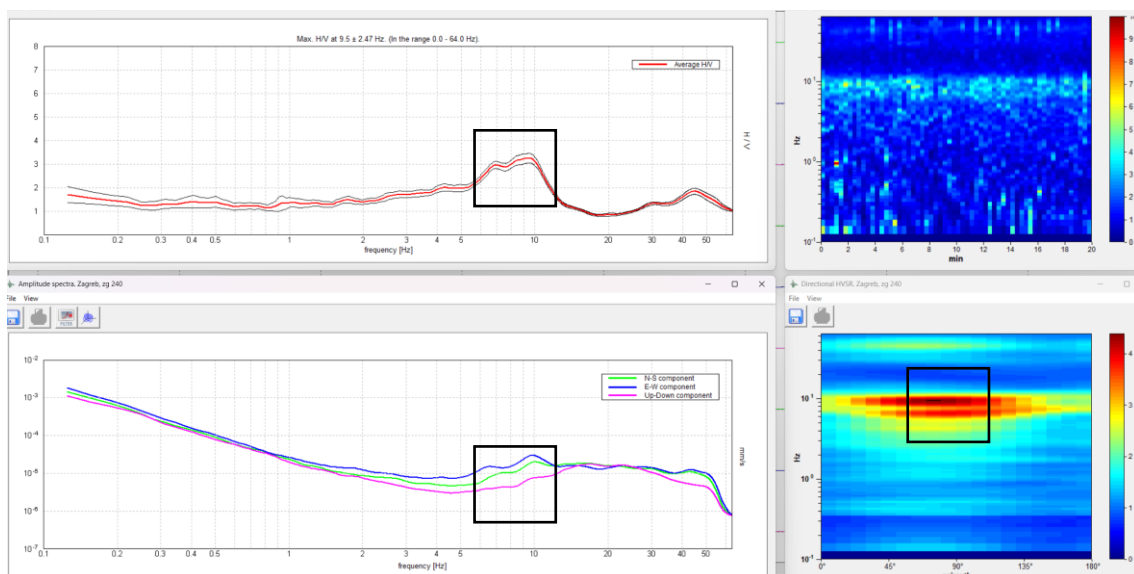
$$C(f) = \frac{(MaxHV)^2}{MinHV}$$

(Pischiutta i dr., 2022)

Na određenim frekvencijama rotirane HVSR krivulje javljaju se povišene amplitude koje se podudaraju s indeksom smjera (Pischiutta i dr., 2022; Slika 41). Na slici 42 prikazan je primjer HVSR mjerenja na točki ZGN_240 s karakterističnim dvostrukim vrhom (eng. peak) koji ukazuje na smjer pojačanja po azimutu od otprilike 75°.



Slika 41. Usmjerenno pojačanje (amplifikacija) HVSR krivulje i horizontalna polarizacija na dijagramu smjera (iz Pischiutta i dr., 2022).

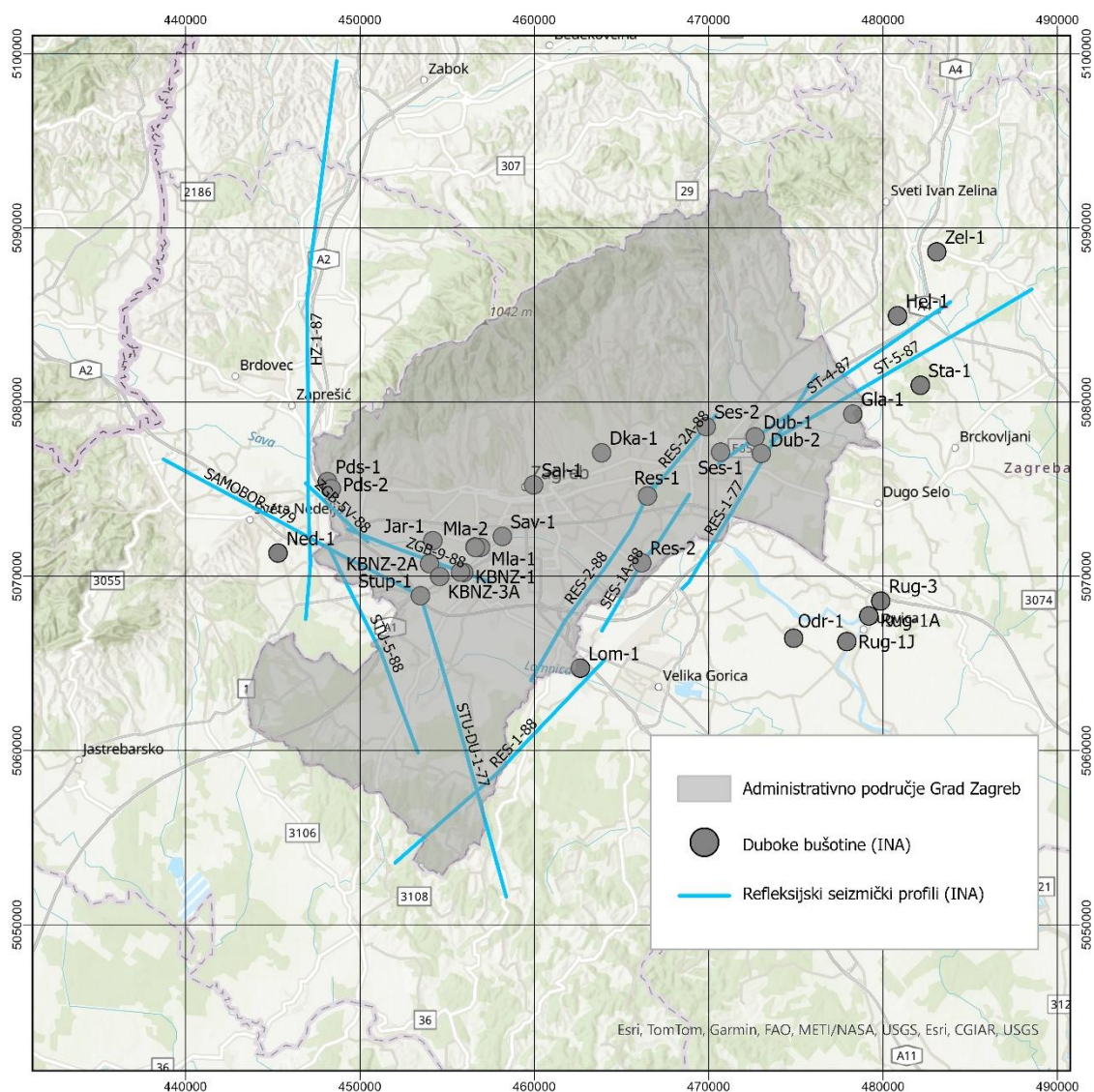


Slika 42. Primjer HVSR mjerenja na kojem je vidljiv smjer pojačanja za azimut od oko 75°.

3.4. REFLEKSIJSKI GEOFIZIČKI PROFILI I DUBOKE BUŠOTINE

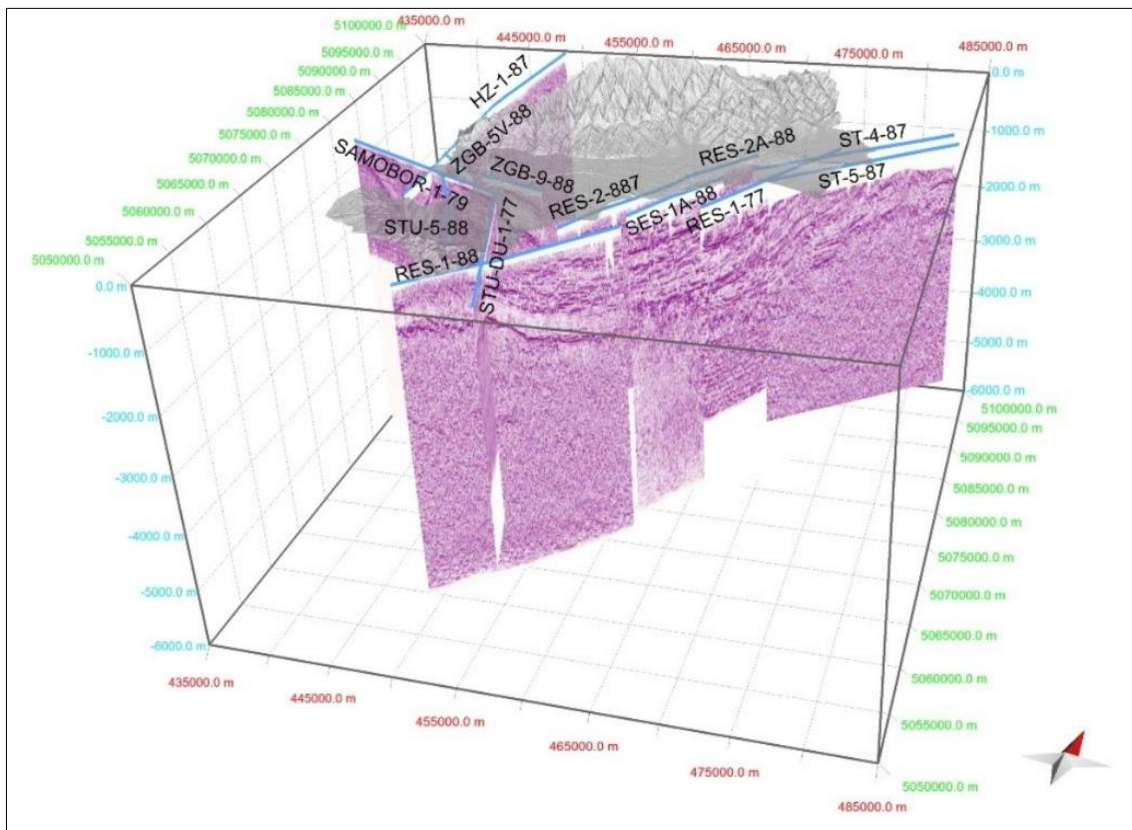
U ovom istraživanju korišteni su seizmički refleksijski profili i bušotinski podatci koje je prikupila tvrtka Ina d.d. (tadašnja Industrija Nafta) iz Zagreba za potrebe istraživanja ugljikovodika i potencijala eksploatacije geotermalne energije u razdoblju približno od 1970. do 1990. godine, a ustupila za potrebe ovog rada Agencija za ugljikovodike iz Zagreba (AZU).

Bušotinski podatci uključuju izvedbena, lokacijska, geološka, paleontološka, stratigrafska, strukturno geološka, laboratorijska, karotažna i druga izvješća (ovisno o bušotini), zatim logove i karotažne dijagrame te kod nekih bušotina podatke o intervalnim brzinama, koji su omogućili pretvorbu iz vremenske u dubinsku domenu i izradu geološkog modela. Seizmički refleksijski profili nalaze se u SEG-Y formatu, standardu za unos u softver za interpretaciju i izradu geoloških modela. Popis svih korištenih dubokih bušotina (uključujući interpretirane masterlogove – izvješća o vrsti izbušenog materijala i dubini tijekom bušenja) nalazi se u PRILOGU VI, a popis refakcijskih seizmičkih profila nalazi se u PRILOGU VII. Položaj interpretiranih refakcijskih seizmičkih profila i dubokih bušotina prikazan je na slici 43.



Slika 43. Položaj dubokih bušotina i interpretiranih refleksijskih seizmičkih profila (AZU) u odnosu na administrativno područje grada Zagreba.

Seizmički refrakcijski profili su interpretirani u svrhu razumijevanja stratigrafskih i tektonskih odnosa geoloških jedinica koje grade zagrebačko područje. U dvostrukom vremenu – TWT (*eng. Two Way Time*) interpretirani su sljedeći refleksijski seizmički profili: HZ-1-87, RES-1-77, RES-1-88, RES-2-88, RES-2A-88, SAMOBOR-1-79, SES-1A-88, ST-5-87, STU-1-DU-1-77, ZGB-5V-86 i ZGB-9_88, njihove interpretacije nalaze se u PRILOGU X, a njihov položaj je prikazan na slici 44.



Slika 44. Položaj interpretiranih refleksijskih seizmičkih profila (AZU) u odnosu na administrativno područje grada Zagreba (u vremenskoj domeni – TWT).

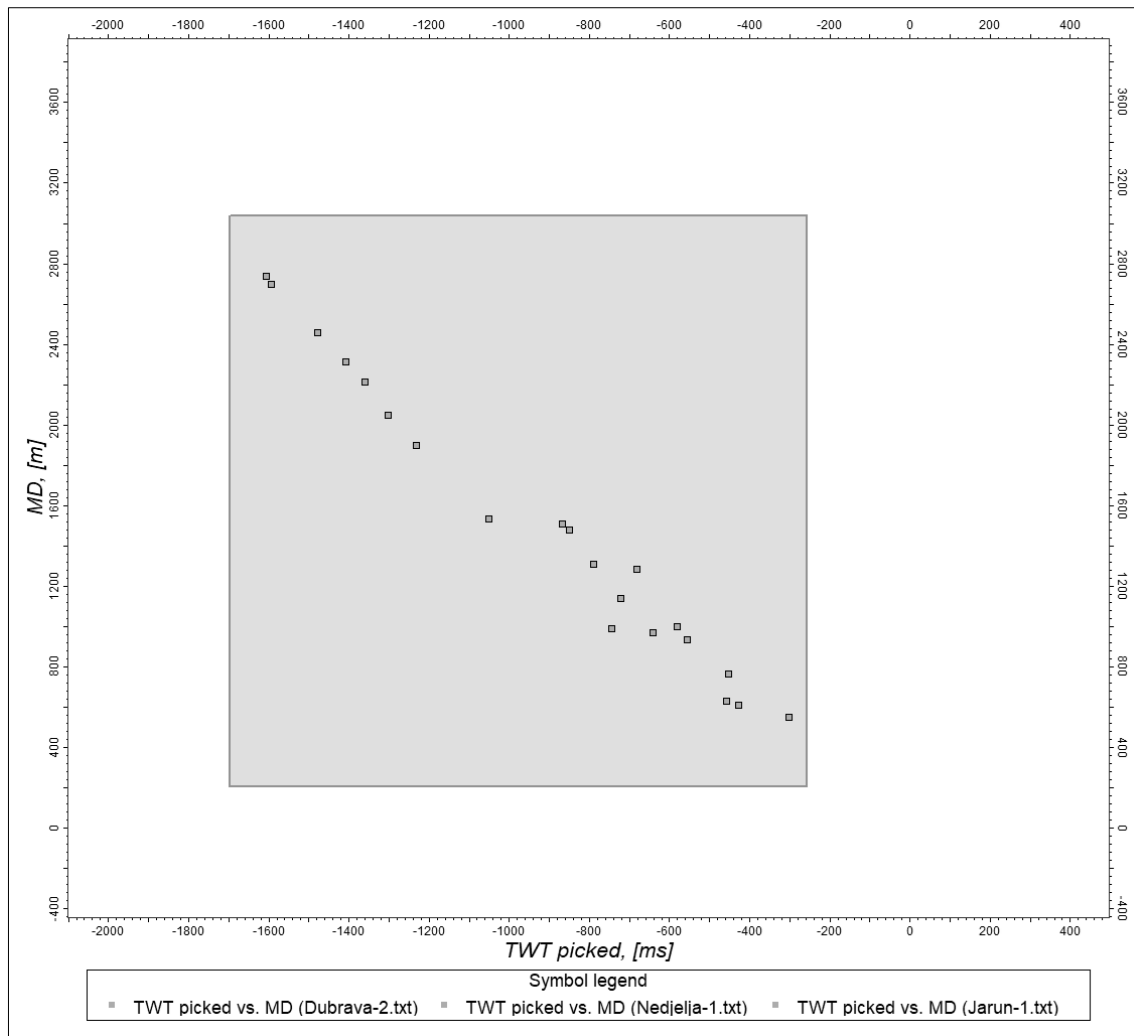
Geološki model izrađen je na temelju modela brzina na području gdje su postojali bušotinski podatci o intervalnim brzinama. Većina interpretiranih bušotina nalazi se u središnjem dijelu administrativnog područja Zagreba i istočno od grada, a dubina im varira od 530 m u zapadnom dijelu do 3300 m na istoku. Razlog leži u tome što se Savski bazen produbljuje u smjeru istoka, a isto tako postupno raste debljina sedimenata. Geološki model je izrađen u dubinskoj domeni samo za južni dio administrativnog područja grada Zagreba, zbog ograničenja podataka, dok su refleksijski profili u vremenskoj domeni interpretirani u širem području. Za vizualizaciju, interpretaciju i izračune korišten je računalni program Petrel 2020, a za geološko modeliranje korišten je računalni program Move 2019.

3.4.1. PRETVORBA SEIZMIČKIH REFLEKSIJSKIH PROFILA IZ VREMENSKE U DUBINSKU VERTIKALNU DOMENU

U svrhu što realističnije rekonstrukcije strukture sedimentnog bazena, nužno je uspostaviti pouzdan odnos između vremena i dubine, koji primarno ovisi o brzini širenja seizmičkih valova kroz stijenu. Brzina longitudinalnih (kompresijskih) valova određena je elastičnim svojstvima i gustoćom stijena, pri čemu ključnu ulogu imaju parametri poput poroznosti, granulometrije, stupnja sortiranosti, sadržaja fluida, kompakcije te dubine i starosti naslaga (Sheriff i Geldart, 1995; Yilmaz, 2001). U tom smislu, pretvorba iz vremena u dubinu provodi se izradom modela brzina koji parametrizira vertikalni slijed stijena, najčešće kroz definiranje intervalnih brzina po stratigrafskim jedinicama (Yilmaz, 2001; Dix, 1955).

Metodološki pristup uključuje interpretaciju seizmičkih horizonata u vremenskoj domeni, korelaciju s podacima iz bušotina, izračun intervalnih brzina te njihovu prostornu interpolaciju, primjerice kriging metodom, uz primjenu strukturnih karata kao sekundarnih varijabli. Na temelju generiranih karata intervalnih brzina izrađuje se trodimenzionalni model brzina, koji omogućuje transformaciju seizmičkog volumena u dubinsku domenu. U određenim bušotinama provedena su mjerenja intervalne brzine. Točnije, mjerene su dvostruke brzine na određenim dubinama u bušotini. Intervalne brzine izražavaju se preko dvostrukog vremena nailaska seizmičkog vala – TWT, što označava vrijeme potrebno da seizmički val dođe od mjesta izvora na površini do određene dubine u bušotini i natrag do površine (geofona). Intervalna brzina izračunava se na području oko bušotina koje sadrže podatke o mjerenju intervalne brzine na određenim dubinama u bušotini, a prosječna intervalna brzina može se procijeniti za cijelo istraživano područje. Promjenom litologije mijenja se intervalna brzina koja u pravilu raste s dubinom. Interpretacijom seizmičkih refleksijskih profila i usporedbom s litološkim opisima iz bušotina te podacima o mjerenju intervalne brzine moguće je zaključiti o stratigrafiji probušenih naslaga (Rukavina, 2021; Špelić, 2023).

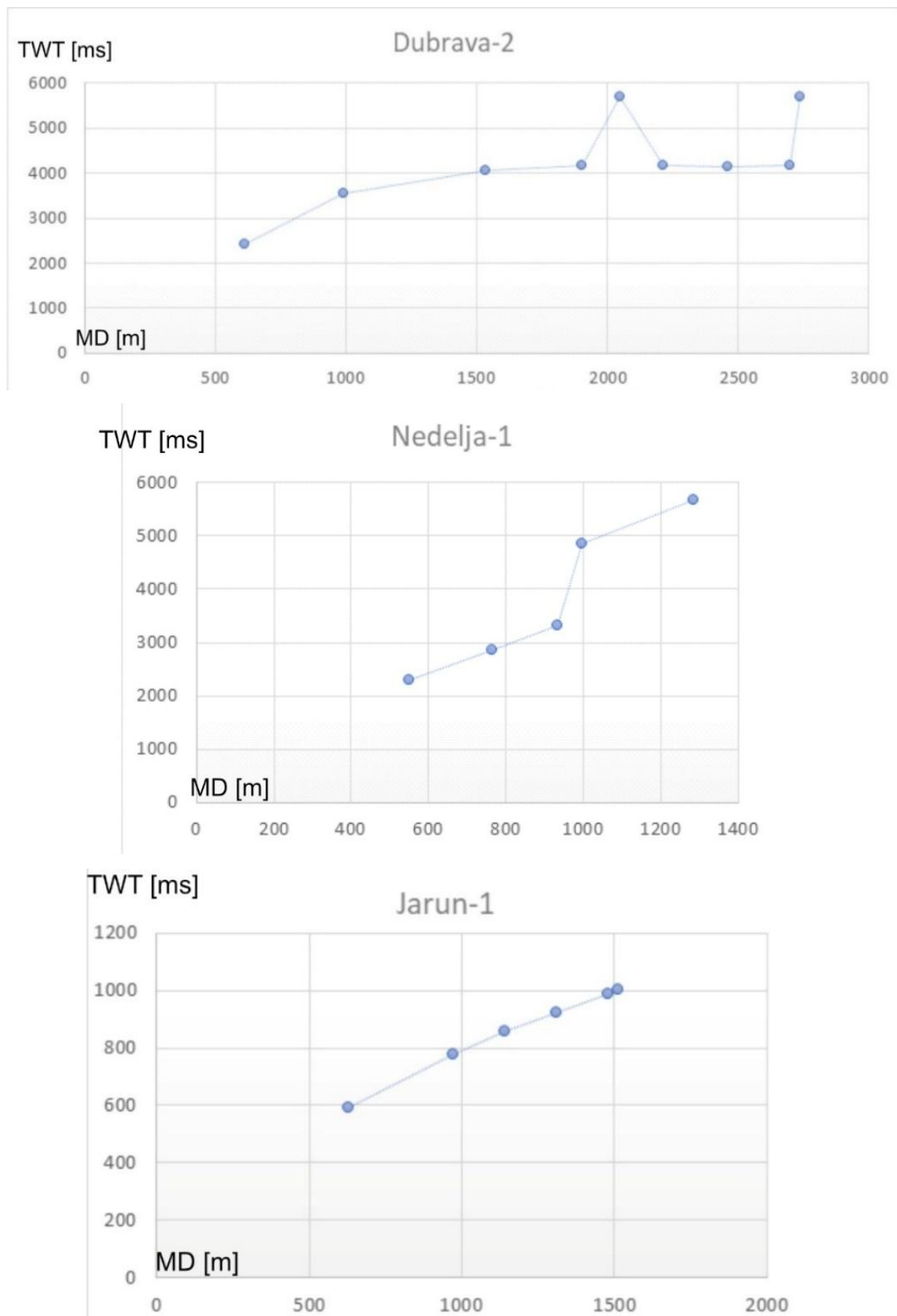
U ovom istraživanju korišten je intervalni model s konstantnim brzinama zbog nedovoljnog broja bušotina s podacima o izmjenjenim brzinama. Budući da se radi o relativno velikom području i malom broju bušotina, točnost u ovom slučaju nije najpouzdanija, no za potrebe ovog istraživanja može se smatrati zadovoljavajućom. Zahvaljujući tim podacima moguće je izračunati prosječnu intervalnu brzinu u dubinskom profilu (Slika 45).



Slika 45. Izračun prosječne intervalne brzine na temelju karotažnih mjerenja. MD (eng. Prikaz prosječnihmeasured depth) predstavlja dubinu od površine, a TWT (eng. Two Way Time) – dvostruko vrijeme nailaska seizmičkih valova.

Pretvorba seizmičkih podataka iz vremenske u dubinsku vertikalnu domenu omogućila je interpretaciju i kartiranje stratigrafskih i strukturnih odnosa, modeliranje kvartarnih, pliocenskih i miocenskih litostratigrafskih jedinica te njihovog kontakata s predneogenskom podlogom – temeljnim gorjem. Paralelno sa stratigrafskim modeliranjem izdvojeni su potencijalno aktivni rasjedi u svrhu izrade seizmotektonskog modela te za usporedbu sa seizmološkim podacima o položaju žarišta potresa.

Prema tome, prva zona odgovara kvartarnim naslagama, druga zona odgovara skupno miocenskim i pliocenskim naslagama, dok je treća zona karakretizirana najvećim brzinama i odgovara stijenama podloge – temeljnom gorju. Na temelju podataka iz bušotina Dubrava-2, Jarun-1 i Nedjelja-1 (Tablica 6) konstruirani su grafikoni intervalnih brzina za navedene bušotine (Slika 46).



Slika 46. Grafikoni intervalnih brzina bušotina Dubrava-2, Jarun-1 i Nedelja-1. prikazuju odnos intervalne brzine izražene u dvostrukom vremenu (eng. Two Way Time – TWT) (ms) i dubine (m).

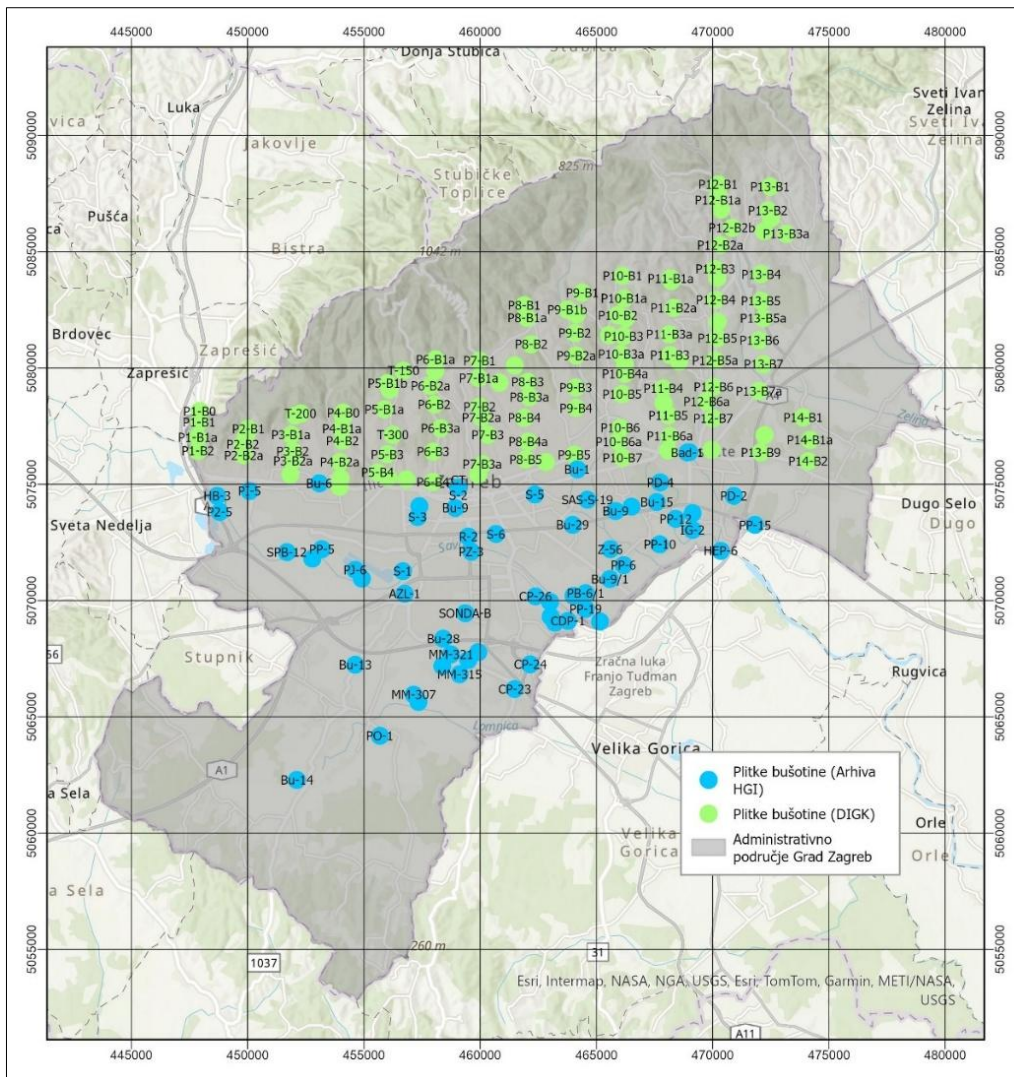
Tablica 6. Izračun prosječne intervalne brzine na temelju karotažnih mjerenja.

Bušotina	Dubina	Intervalna brzina	Zona	Prosječna brzina (m/s)
Dubrava-2	610	2420	1.	2420
	991	3550	2.	2821
	1535	4050		
	1900	4170		
	2050	5690		
	2215	4170		
	2460	4140		
	2698	4180		
	2738	5710		
Jarun-1	630	594	2.	2821
	970	776		
	1140	856		
	1310	924		
	1480	986		
	1510	1002		
Nedelja-1	550	2310	2.	2821
	765	2870		
	935	3330		
	998	4850		
	1284	5680	3.	5680

Grafikoni na slici 46 prikazuju odnos dvostrukih vremena intervalne brzine u dvostrukom vremenu nailaska seizmičkog signala (TWT), koja se izražava u milisekundama (ms) i dubine izražene u metrima (m). Usporedbom nagiba krivulja, geološkog modela i litoloških podataka o bušotinama procijenjena je prosječna brzina za tri medija, tj. zone koje odgovaraju geološkim sredinama.

3.5. INTERPRETACIJA PODATAKA IZ PLITKIH BUŠOTINA

U ovom istraživanju korišteni su podaci iz plitkih bušotina, koji su uključuju inženjerskogeološke bušotine iz studije Detaljna inženjerskogeološka karta 1:5000 (Miklin i dr., 2007, 2018), a koje je ustupio Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje Grada Zagreba te hidrogeološke bušotine pronađene u arhivi Hrvatskoga geološkog instituta (HGI) i u dostupnoj literaturi (Slika 47).



Slika 47. Položaj inženjerskogeoloških bušotina (zeleno: Miklin i dr., 2007, 2018) i hidrogeoloških bušotina (plavo: Arhiva HGI).

Inženjerskogeološke bušotine (Miklin i dr., 2007, 2018) organizirane su u detaljne strukturirane i unificirane logove koji sadrže osnovne podatke o lokaciji, datumu i vremenu, izvođačima, ukupnoj dubini bušenja, stratigrafske opise i determinaciju probušenih naslaga. Većina hidrogeoloških bušotina su već bile interpretirane, odnosno sadržavale su osnovne podatke o lokaciji te podatke o dubinama vodonosnika, a samo neke od njih su sadržavale podatke o ukupnoj dubini bušenja.

Stratigrafski opisi korišteni su za interpretaciju dubina pleistocenskih i holocenskih naslaga, a interpretirane dubine koristile su se za usporedbu sa seizmičkim horizontima f_0 i f_1 . Popis inženjerskogeoloških bušotina zajedno s usporedbom dubina osnovne stijene i seizmičkog horizonta f_0 nalazi se u PRILOGU VIII, a popis hidrogeoloških zajedno s usporedbom dubina holocenskih naslaga i seizmičkog horizonta f_1 nalazi se u PRILOGU IX.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Seizmološka mjerenja provedena su u širem području istraživanja, odnosno na području Grada Zagreba, Zagrebačke i Krapinsko-zagorske županije. Koordinate provedenih HVSR mjerenja nalaze se u PRILOGU I, a koordinate točaka mjerenja iz prijašnje studije (Miklin 2008, 2017) nalaze se u PRILOGU III.

Rezultati provedenih HVSR mjerenja (spektralna i H/V krivulja za točke ZGN_1 – ZGN_250) se nalaze u PRILOGU II, a rezultati MASW-MAM mjerenja (točke ZGP_1 – ZGP_9) nalaze se u PRILOGU IV, a prikazuju 1D model brzina posmičnog vala u odnosu na dubinu (a), disperzijsku krivulju MASW mjerenja koja prikazuje frekvenciju (Hz) u odnosu na faznu brzinu površinskog vala (m/s) (b) i H/V krivulju mjerenja mikro seizmičkog nemira koja prikazuje frekvenciju (Hz) u odnosu na omjer horizontalne i vertikalne komponente mjerenja (c).

Na temelju interpretiranih rezultata seizmoloških mjerenja (PRILOZI I, II i IV) i dostupnih arhivskih geofizičkih podataka (PRILOZI III i V) izrađene su ulazne karte geofizičkih parametara: karta temeljne rezonantne frekvencije, karta prosječne brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara, karta dubine do osnovne stijene istraživanog područja, a usporedbom karata geofizičkih parametara i pojednostavljene geološke karte izrađena je preliminarna karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba.

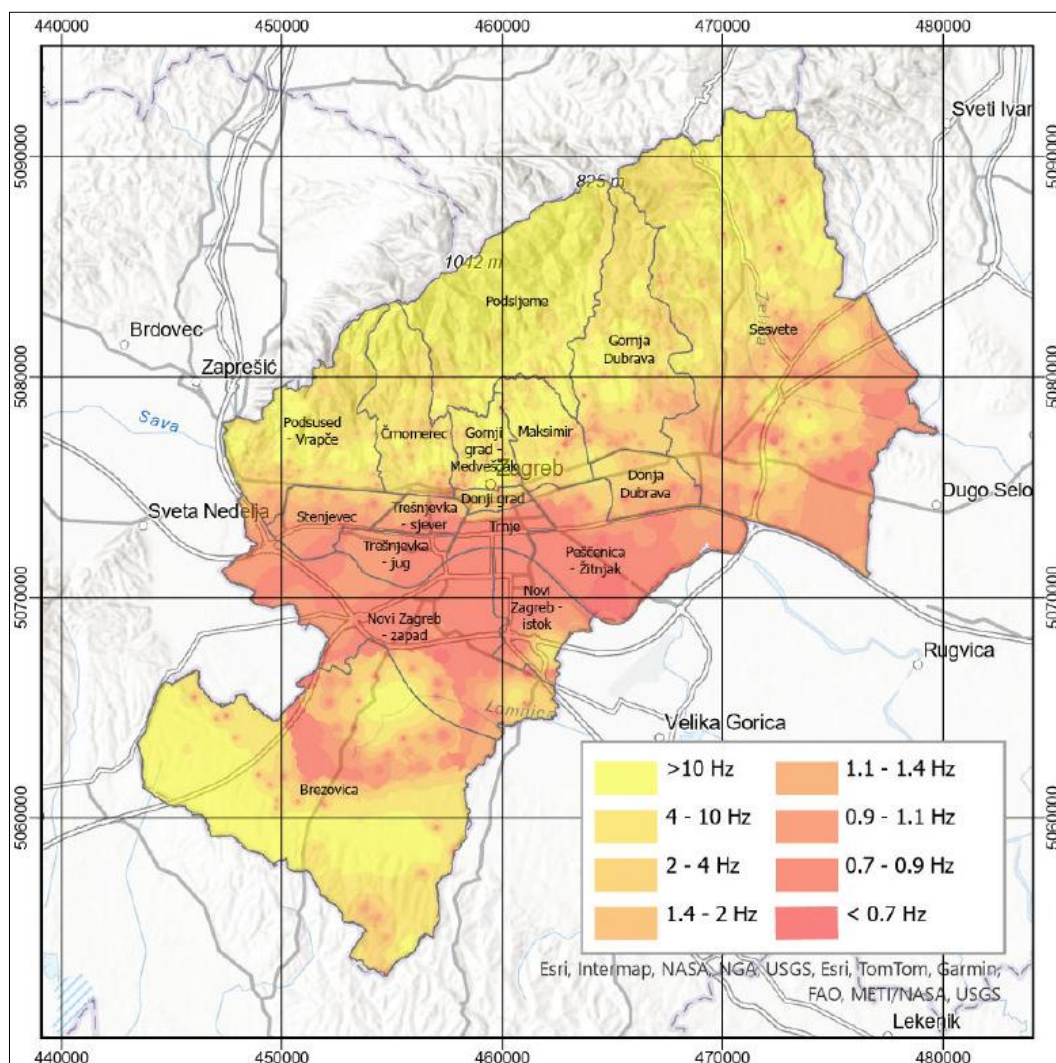
Geološki model zagrebačkog područja izrađen je na temelju interpretacije podataka iz dubokih bušotina (PRILOG VI) i refleksijskih seizmičkih profila (PRILOG VII). Za usporedbu modeliranih horizonata korišteni su plitki bušotinski podatci (PRILOG VIII).

U svrhu procjene usporedbe raspodjele seizmičke energije izrađena je karta distribucije magnituda potresa, a u svrhu definiranja površina podložnih na sekundarne seizmičke efekte i geohazarde (likvefakcije i klizišta) izrađena je karta nagiba terena. Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba i potencijalno aktivnih rasjeda zagrebačkog područja (PRILOG XI) izrađena je prostornom analizom uz upotrebu težinskih faktora na temelju karata geofizičkih parametara, pojednostavljene geološke karte, karte nagiba terena i karte distribucije magnituda potresa. Ulazne karte, Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba i geološki modeli Zagrebačkog područja će biti opisani u sljedećim podpoglavljima.

4.1. ULAZNE KARTE

4.1.1. KARTE GEOFIZIČKIH PARAMETARA

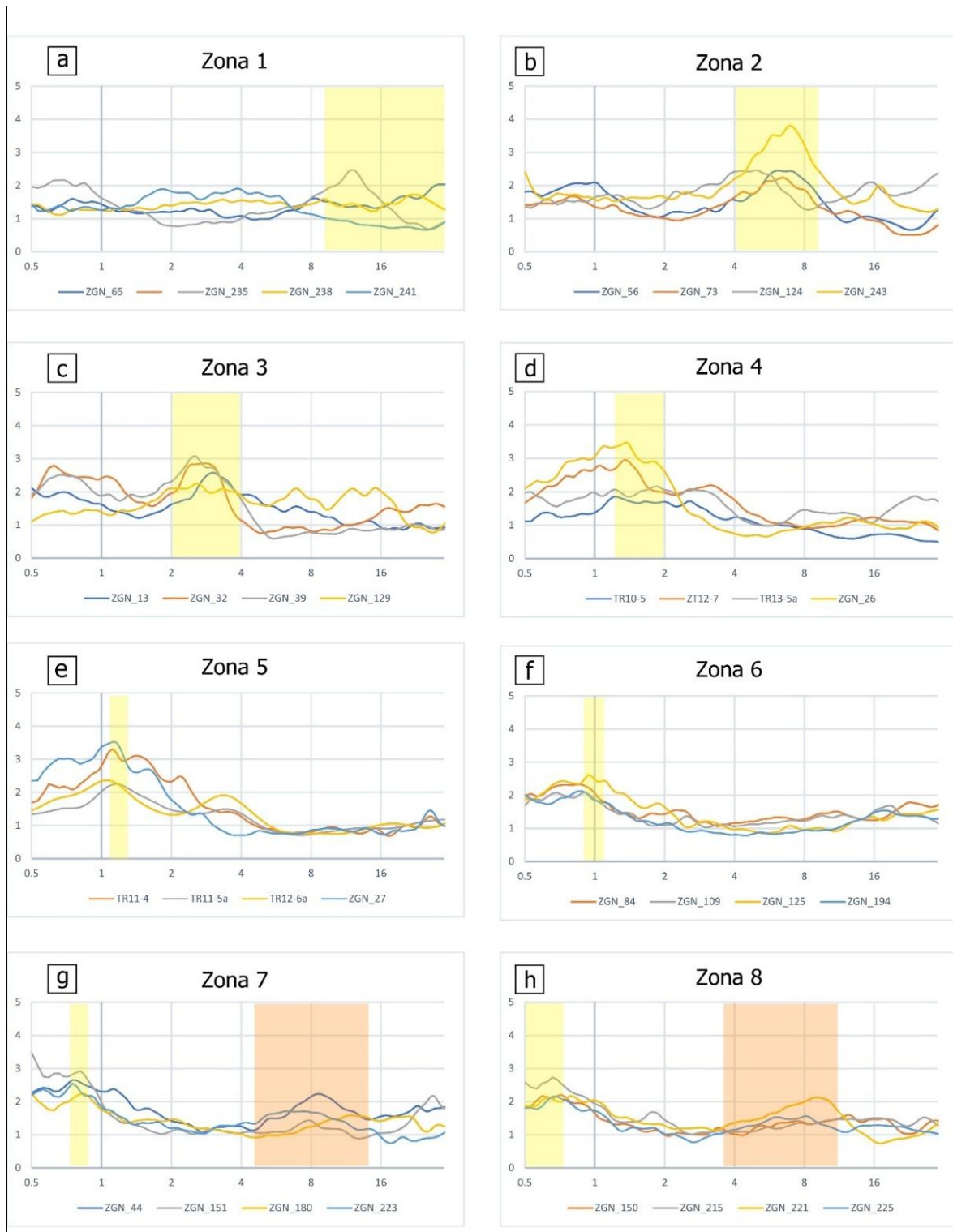
Karte geofizičkih parametara (f_0 , V_{s30} i H_{800}) su ulazne karte koje su korištene u višekriterijskoj prostornoj analizi s težinskim faktorima za izradu prvo preliminarne, a u konačnici i završne karte seizmičke mikrozonacije. Na temelju interpretiranih vrijednosti f_0 izrađena je karta temeljne rezonantne frekvencije tla (Slika 48).



Slika 48. Karta temeljne rezonantne frekvencije tla – f_0 za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.

Vrijednosti f_0 podijeljene su u osam klasa temeljem analize snimljenih mjerenja u usporedbi s podacima o prosječnoj brzini posmičnog vala u gornjih 30 m od površine prema Eurokodu 8 (Bisch i dr., 2012) i revidiranom Eurokodu 8 iz 2021. (Paolucci i dr., 2021).

Na temelju ponavljajućih uzoraka krivulje HVSR mjerenja kategorizirane su u osam skupina koje definiraju seizmički homogena područja (SHP zone; slika 49).



Slika 49. Tipične krivulje HVSR-a za zone SHP 1 do SHP 8 – žuta boja predstavlja intervale temeljne frekvencije – f_0 , a narančasta intervale sekundarne frekvencije – f_1 .

Osim vrijednosti f_0 , u zonama 7 i 8 vidljiv je uzorak ponavljanja za vrijednosti sekundarne rezonantne frekvencije – f_1 .

SHP zona 1 – pretežito ravne H/V krivulje ili vrijednosti f_0 veće od 10 Hz (Slika 50a). Vrijednost V_{S30} veća je od 800 m/s, a vrijednost H_{800} odgovara dubini manjoj od 10 metara do temeljne stijene.

SHP zona 2 – vrijednosti f_0 između 4 i 10 Hz (Slika 50b), V_{S30} u rasponu od 650 do 800 m/s, a temeljna stijena je na dubini od oko 30 metara.

SHP zona 3 – vrijednosti f_0 između 2 i 4 Hz (Slika 50c), vrijednosti V_{S30} između 500 i 650 m/s, a podloga se nalazi na dubini od oko 60 m.

SHP zona 4 – vrijednosti f_0 između 1,4 i 2 (Slika 50d), vrijednosti V_{S30} između 360 i 500 m/s, a temeljna stijena je na dubini od oko 90 metara.

SHP zona 5 – vrijednosti f_0 su između 1,1 i 1,4 Hz (Slika 50e), vrijednosti V_{S30} u rasponu od 280 do 360 m/s, a temeljna stijena se nalazi na dubini od oko 120 metara.

SHP zona 6 – vrijednosti f_0 između 0,9 i 1,1 Hz (Slika 50f), te vrijednostima V_{S30} između 220 i 280 m/s, a temeljna stijena nalazi se na dubini od oko 150 metara.

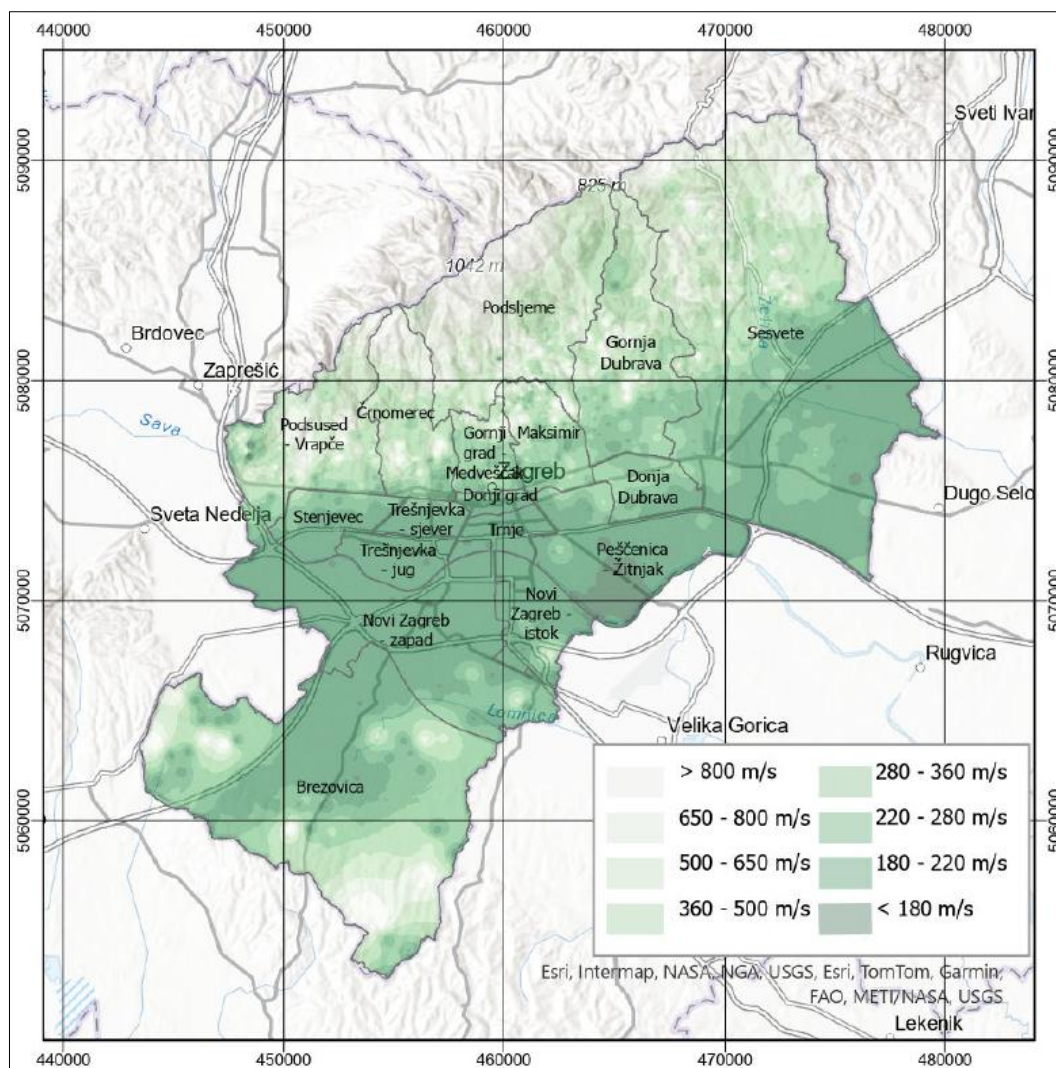
SHP zona 7 – vrijednosti između 0,7 i 0,9 Hz (Slika 50g), V_{S30} vrijednosti između 180 i 220 m/s, a temeljna stijena nalazi se na dubini od oko 200 m.

SHP zona 8 – vrijednosti f_0 niže su od 0,7 Hz (Slika 50h), vrijednosti V_{S30} niže od 180 m/s, a H_{800} odgovara dubini većoj od 200 metara do temeljne stijene.

Karta temeljne rezonantne frekvencije tla (Slika 49) prikazuje distribuciju vrijednosti f_0 unutar administrativnog područja grada Zagreba. Uz prisutnost manji ekstrema, vrijednosti su distribuirane relativno ravnomjerno, s logičnom podjelom na zone.

Najviše vrijednosti f_0 (> 4 Hz) zabilježene su u sjevernim dijelovima Zagreba, na južnim obroncima Medvednice, koji obuhvaćaju veći dio gradskih četvrti Podsused – Vrapče, Črnomerec, Podsljeme, Gornji grad – Medveščak, djelomično Maksimir ali i južni dio četvrti Brezovica koji se nalazi na sjevernim obroncima Vukomeričkih gorica. Sjeverni dio četvrti Brezovica, kao i južni dijelovi četvrti Sesvete i Gornja Dubrava te četvrt Donja Dubrava karakteriziraju nešto niže vrijednosti f_0 (1.1 – 4 Hz), dok su u četvrtima Stenjevec, Trešnjevka – jug, Trešnjevka – sjever, Donji grad, Trnje, Novi Zagreb – zapad, Novi Zagreb – istok i Peščenica – Žitnjak izmjerene najniže vrijednosti f_0 (> 1.1 Hz).

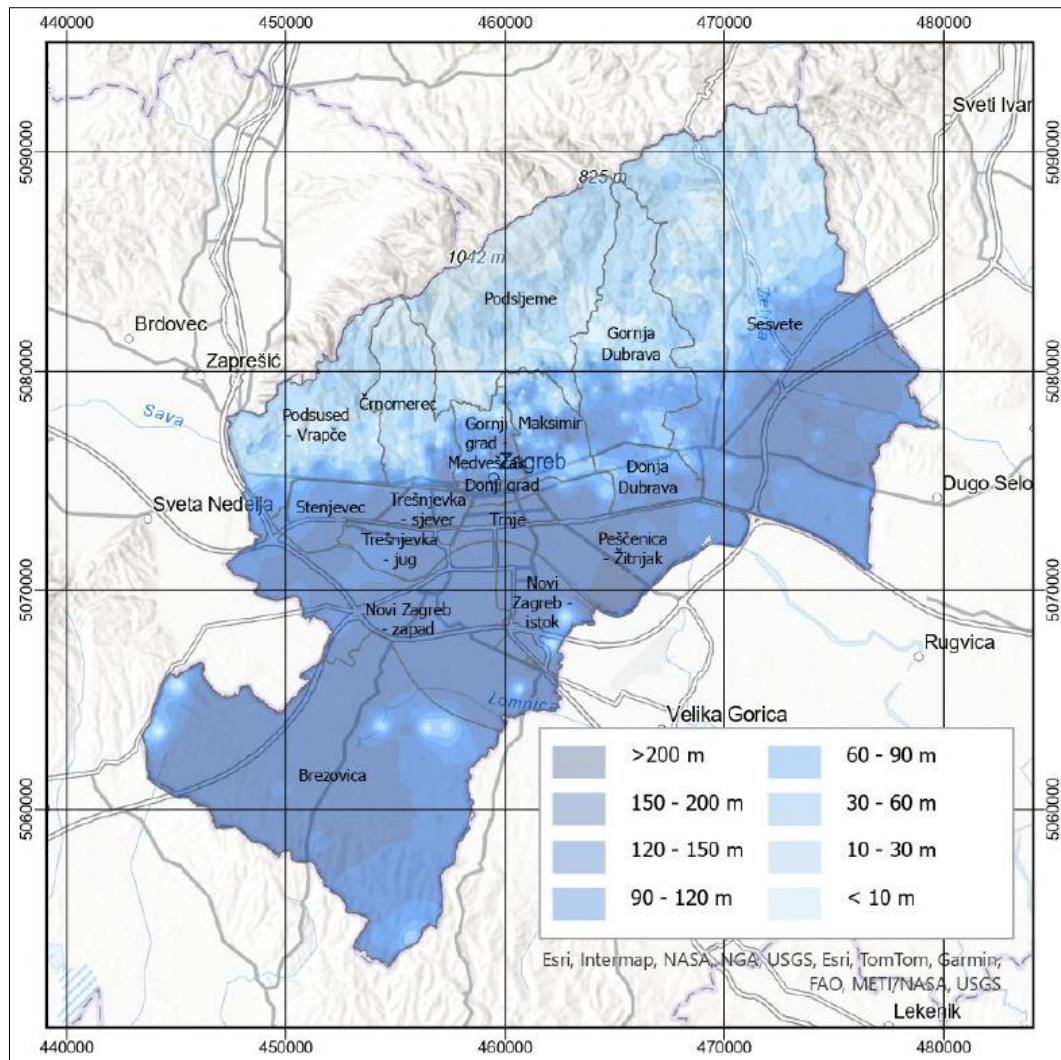
Karta prosječne brzine posmičnih valova u gornjih 30 m (Slika 50) prikazuje vrijednosti V_{S30} , klasificirane prema kategorijama Eurokoda 8 (Bisch i dr., 2012) i revidiranog Eurokoda iz 2021. (Paolucci i dr., 2021).



Slika 50. Karta brzine posmičnih valova u gornjih 30 m – V_{S30} za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.

Distribucija vrijednosti V_{S30} je nešto drukčija u odnosu na distribuciju vrijednosti f_0 . Prisutnost ekstrema je manja, a vrijednosti V_{S30} su očekivano najviše na južnim obroncima Medvednice i u dijelovima Vukomeričkih gorica na području gradskih četvrti Podsused – Vrapče, Črnomerec, Podsljeme, Gornji grad – Medveščak te djelomično četvrti Maksimir i Brezovica. Dijelovi četvrti Brezovica, Sesvete i Gornja Dubrava te četvrt Donja Dubrava karakteriziraju nešto niže vrijednosti V_{S30} , dok su najniže vrijednost također zabilježene u četvrtima Stenjevec, Trešnjevka – jug, Trešnjevka – sjever, Donji grad, Trnje, Novi Zagreb – zapad, Novi Zagreb – istok i Peščenica – Žitnjak.

Karta dubina do osnovne stijene (Slika 51) predstavlja dubinu seizmičkog horizonta f_0 gdje brzina posmičnog vala prelazi 800 m/s, a kategorizirana je prema istim intervalima kao i karta temeljne rezonantne frekvencije (Slika 48).

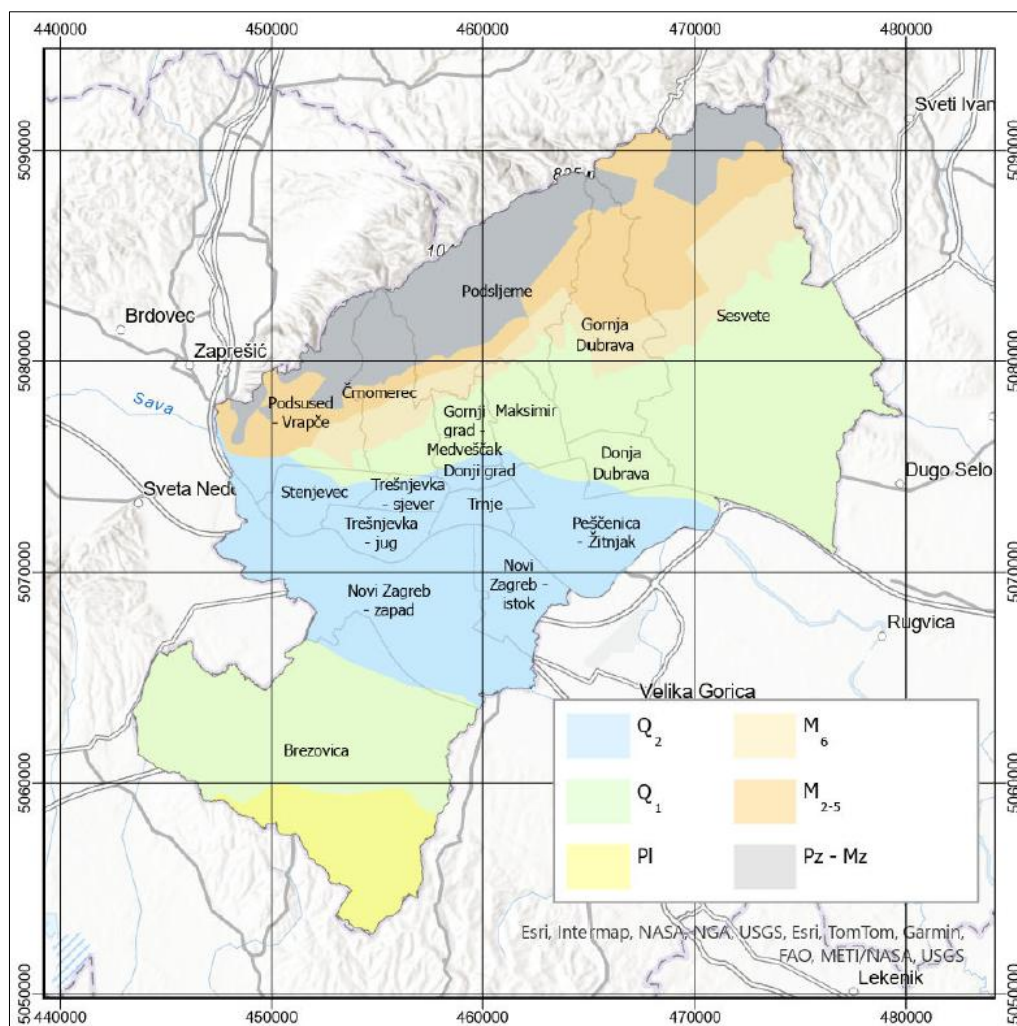


Slika 51. Karta dubine do stijenske podloge – H_{800} za administrativno područje grada Zagreba s podjelom na gradske četvrti.

Distribucija vrijednosti H_{800} je slična distribuciji vrijednosti V_{s30} u sjevernom dijelu grada, gdje je stijenska podloga (osnovna stijena) plića, a to su gradske četvrti Podsused – Vrapče, Črnomerec, Podsljeme, Gornji grad – Medveščak te djelomično četvrti Maksimir, Sessvete i Gornja Dubrava. Ostale gradske četvrti karakterizira dublja osnovna stijena, s izuzetkom nekoliko ekstrema unutar gradskih četvrti Brezovica i Novi Zagreb – istok, Peščenica – Žitnjak i Donja Dubrava, koji mogu biti rezultat odabrane metode interpolacije, interpretacije mjerenja, metode izračuna ili geološkog horizonta, koji pri gustoći mjerenja približno 500 x 500 m nije moguće prikazati.

4.1.2. POJEDNOSTAVLJENA GEOLOŠKA KARTA

S obzirom na kompleksnu geološku građu i različite materijale koji grade geološke jedinice, za izradu preliminarne karte seizmičke mikrozonacije grada Zagreba bilo je potrebno uzeti u obzir dostupne geološke podatke. Pojednostavljena geološka karta temeljena je na Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:300.000 (GKRH). Geološke jedinice, koje inače predstavljaju kvalitativne podatke, kvantificirane su u šest klasa prema očekivanim geofizičkim parametrima ranije opisanih geoloških jedinica (Slika 52).

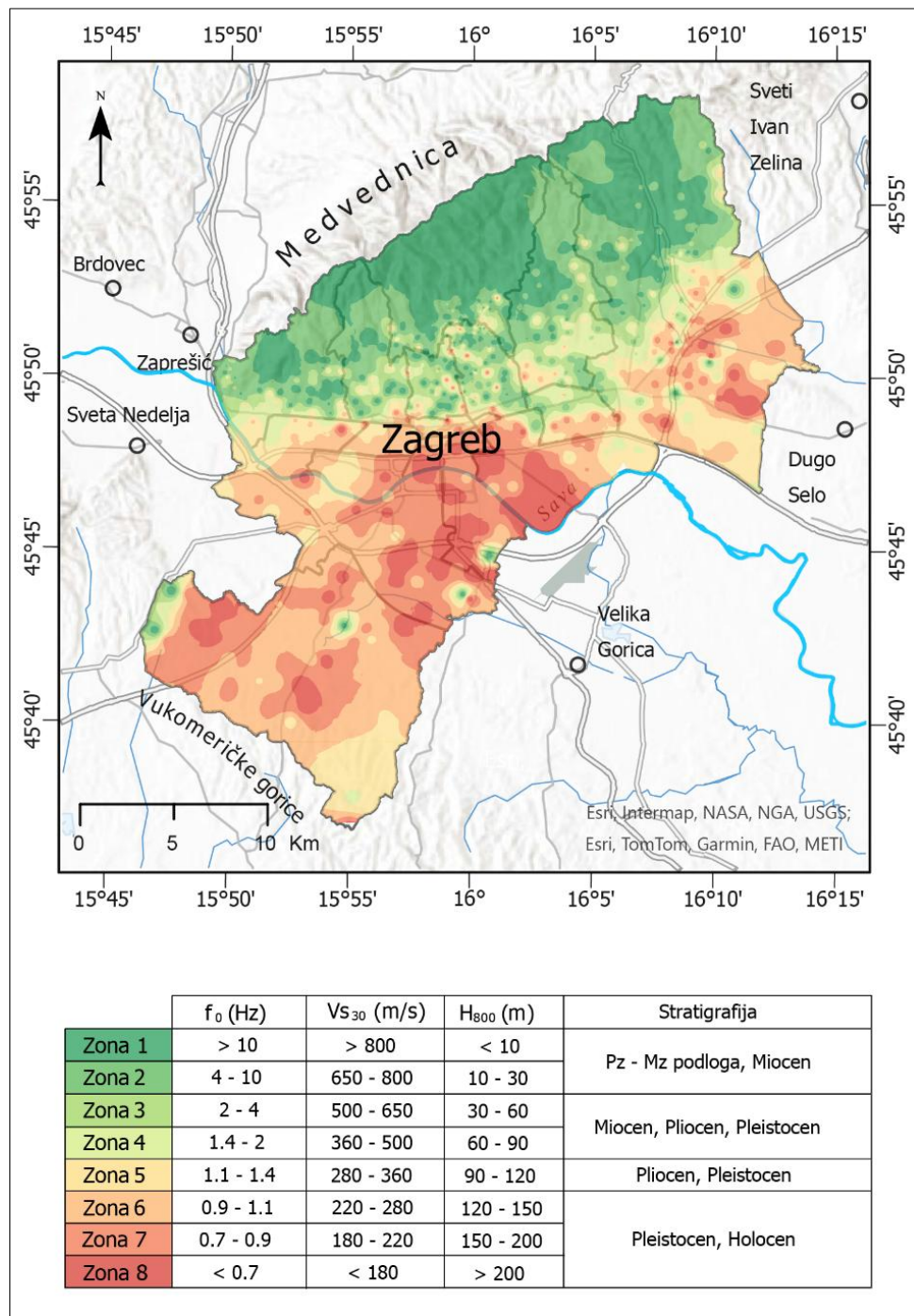


Slika 52. Pojednostavljena geološka karta administrativnog područja grada Zagreba. Geološke jedinice su klasificirane prema očekivanim geofizičkim parametrima: 1 – holocenske naslage (Q₂), 2 – pleistocenske naslage (Q₁), 3 – pliocenske naslage (Pl), 4 – gornjomiocenske naslage (M₆), 5 – donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M₂₋₅) i 6 – stijene temeljnog gorja.

Najviši dijelovi Medvednice pripadaju temeljnom gorju, a uz njih se nalazi pojas miocenskih sedimenata, dok se liocenske naslage se nalaze samo u najjužnijem dijelu grada. Holocenske naslage nalaze se u središnjem dijelu Zagreba, sjeverno i južno od rijeke Save, a na njih se nastavljaju pleistocenske naslage, koje zauzimaju najveću površinu.

4.1.3. PRELIMINARNA KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA

Preliminarna karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba (Slika 53; Belić i dr., 2025) temelji se na višekriterijskoj analizi ulaznih karata geofizičkih parametara f_0 , V_{s30} i H_{800} , kao i pojednostavljene geološke karte.



Slika 53. Preliminarna karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba prikazuje raspodjelu homogenog seizmičkog ponašanja – SHP zone (iz Belić i dr., 2025).

Podijeljena je na osam zona homogenog seizmičkog ponašanja – SHP zone, na temelju analize HVSR krivulja koje odražavaju raspone temeljne frekvencije (f_0), prosječne brzine posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{S30}), procijenjene dubine do stijenske podloge (H_{800}) te s obzirom na njihovu stratigrafsku pripadnost (Slika 53).

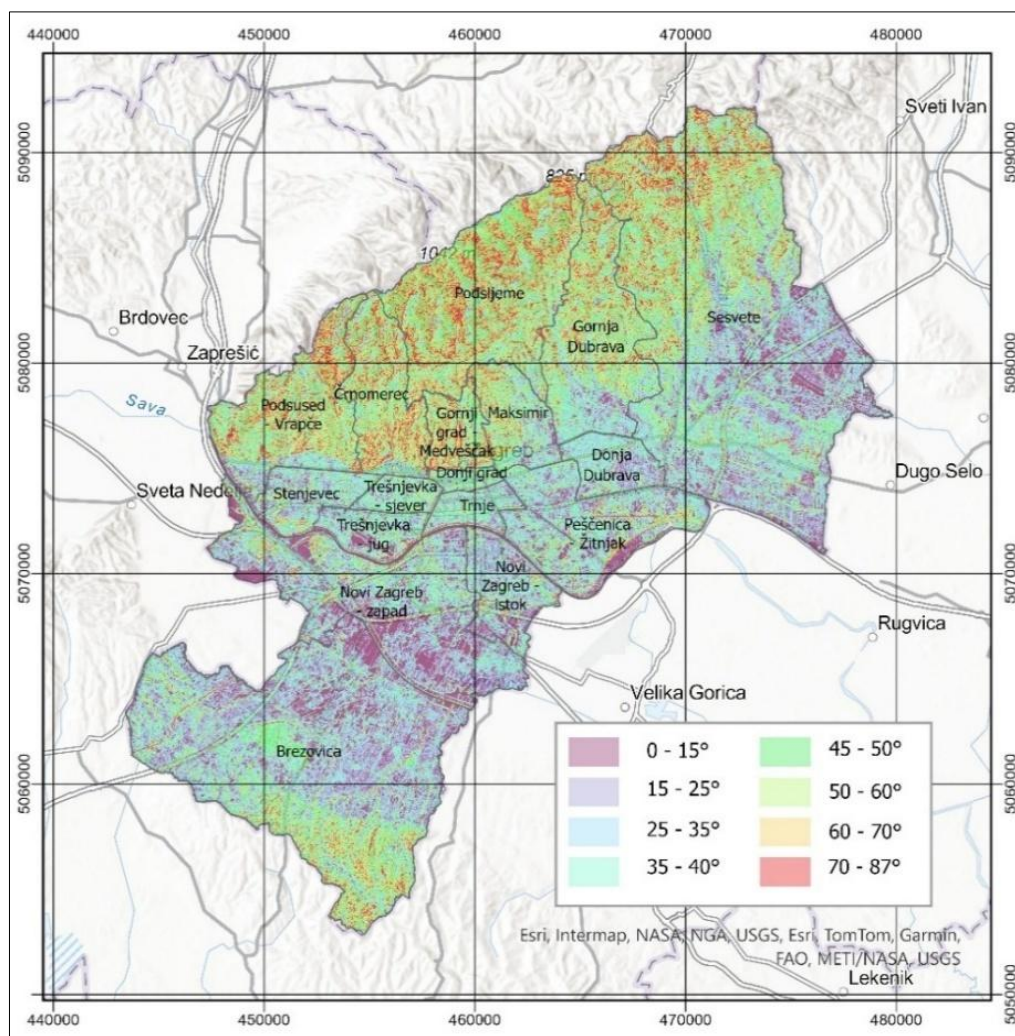
Pri izradi karte korišten je alat *Weighed Sum* dostupan unutar paketa *Spatail Analyst* računalnog programa *ArcGIS Pro* (URL 13) koji se temelji na težinskim faktorima kojima se rasterski slojevi (ulazne karte) množe i zatim međusobno zbrajaju. U ovom slučaju svaki raster pomnožen je s faktorom 0.25, kako bi se dobio ujednačen rezultat geofizičkih i geoloških parametara i pojednostavljene geološke karte. Za klasifikaciju zona korištena je metoda geometrijskog intervala, koja je razvijena za prikazivanje kontinuiranih setova podataka, a temelji se na geometrijskom nizu (eksponencijalna funkcija) kako bi se minimizirao zbroj kvadrata razlika u svakoj klasi. Ovakva klasifikacija je idealna za neravnomjerno raspoređene vrijednosti ulaznih karata, kao što je bio slučaj u ovom istraživanju.

Distribucija SHP zona teoretski odgovara zbroju ulaznih karata, pa slijedi distribuciju geofizičkih parametara f_0 , V_{S30} i H_{800} , kao i geoloških klasa. U sjevernom dijelu Zagreba, na južnim obroncima Medvednice, gdje su stijene temeljnog gorja na površini očekivano dominira SHP zona 1, s najvišim vrijednostima f_0 (> 10 Hz) i $V_{S30} > 800$ m/s) te najnižim vrijednostima H_{800} (< 10 m). Prema klasifikaciji Eurokoda 8, ova zona pripada kategoriji A. Osim na sjeveru, ova zona se javlja u obliku nekoliko ekstrema u južnom i istočnom dijelu grada te u području Podsljemenske zone grada Zagreba. SHP zona 2 se nastavlja na najveću površinu prve zone, prema jugu, a na nju se nastavljaju SHP zone 3 i 4 te tvore manje površine ili zone oko spomenutih ekstrema.

Prema klasifikaciji Eurokoda 8, SHP zone 2, 3 i 4 pripadaju kategoriji B i pokazuju sljedeće vrijednosti: $f_0 = 1.4 - 10$ Hz; $V_{S30} = 360 - 800$ m/s; $H_{800} = 10 - 90$ m. SHP zona 5 tvori nekoliko većih površina na krajnjim južnim, zapadnim i istočnim dijelovima grada, a zajedno sa SHP zonama 6 i 7, koje se na nju nastavljaju, predstavlja srednje vrijednosti f_0 , V_{S30} i H_{800} ($f_0 = 0.7 - 1.4$ Hz; $V_{S30} = 180 - 360$ m/s; $H_{800} = 90 - 200$ m) te prema klasifikaciji Eurokoda 8 zajedno pripadaju kategoriji C. SHP zona 8 tvori veće površine u južnim i istočnim dijelovima grada, kao i nekoliko ekstrema području Podsljemenske zone grada Zagreba. Karakterizirana je najnižim vrijednostima f_0 (< 0.7 Hz) i V_{S30} (> 18 m/s) te najvišim vrijednostima H_{800} (< 200 m), a prema klasifikaciji Eurokoda 8 pripada kategoriji D. Konačna verzija karte seizmičke mikrozonacije grada Zagreba biti će opisana u potpoglavlju 4.2.

4.1.4. KARTA NAGIBA TERENA

U svrhu definiranja površina podložnih na sekundarne seizmičke efekte i geohazarde (likvefakcije i klizišta) izrađena je Karta nagiba terena (Slika 54). Za izradu karte korišten je digitalnog model reljefa (DMR) koji je za potrebe istraživanja ustupila Državna geodetska uprava (DGU). To je rasterski set podataka prostorne rezolucije 10 cm, a za potrebe izrade karte nagiba tla odabrana je rezolucija 10 m, kako bi se uskladila s ostalim setovima podataka.



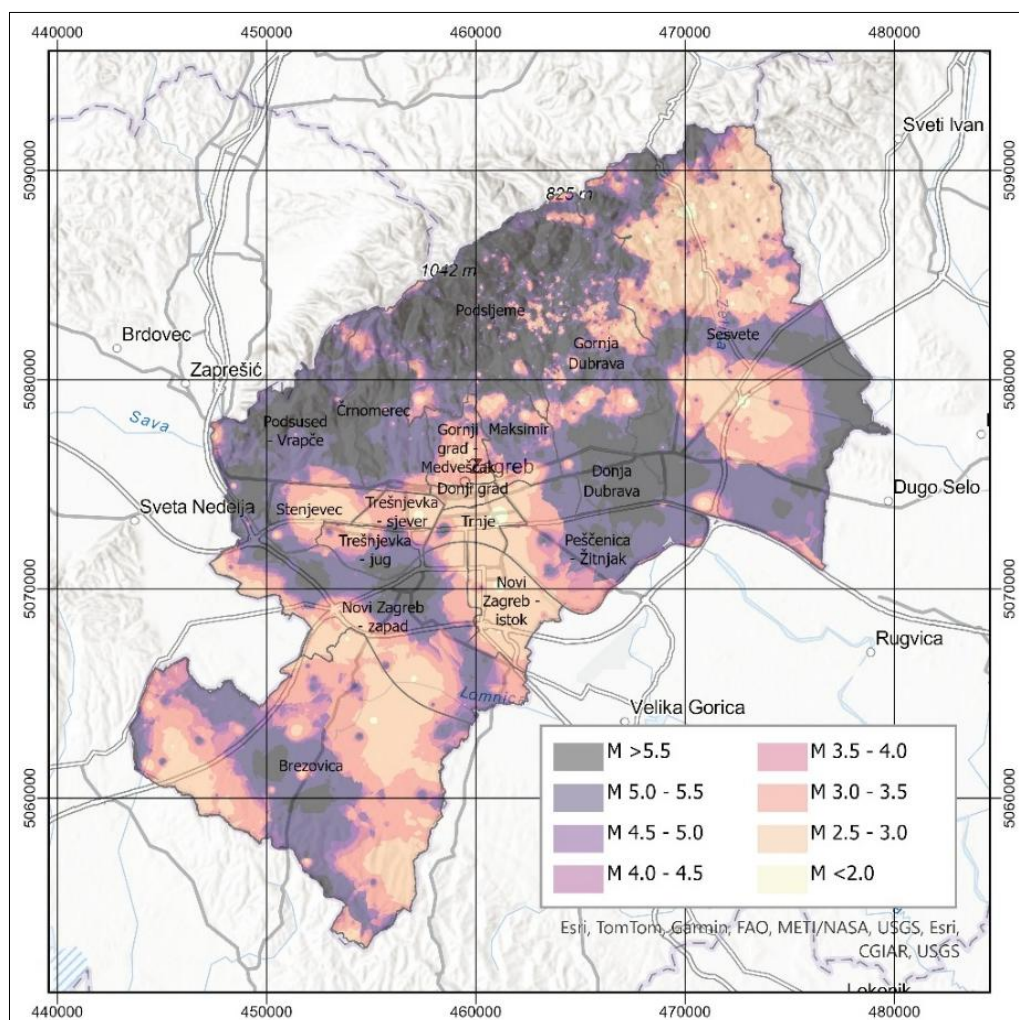
Slika 54. Karta nagiba tla na području unutar administrativnih granica grada Zagreba. Nagib terena je podijeljen u osam klasa: 0-15°, 15-25°, 25-35°, 35-40°, 40-50°, 50-60°, 60-70° i 70-87°.

Zbog relativno visoke rezolucije, distribucija vrijednosti nagiba je dosta raspršena na području unutar administrativnih granica grada Zagreba, budući da je u toj rezoluciji (10 m) moguće prikazati i veće građevine (npr. nasip rijeke Save, odlagalište otpada Jakuševac itd.). Općenito se može reći da je najveća koncentracija strmije nagnutih površina na južnim obroncima

Medvednice i na sjevernim obroncima Vukomeričkih gorica, dok se najmanje nagnute površine nalaze u dolini rijeke Save, te u krajnje istočnom dijelu grada.

4.1.5. KARTA PROSTORNE RAZDIOBE MAGNITUDA POTRESA

Karta prostorne razdiobe magnituda potresa (Slika 55) je izrađena u svrhu procjene usporedbe raspodjele seizmičke energije na širem zagrebačkom području. Izrađena je na temelju podataka iz Hrvatskog kataloga potresa (eng. Croatian Earthquake Catalogue – CEC) (Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999) dobivena je interpolacijom točaka žarišta na širem zagrebačkom području (Slika 18) u duljem vremenskom razdoblju, a prema vrijednostima njihovih magnituda.



Slika 55. Karta prostorne razdiobe magnituda potresa na području unutar administrativnih granica grada Zagreba. Vrijednosti magnituda su podijeljene u osam klasa: <2.5, 2.5-3.0, 3.0-3.5, 3.5-4.0, 4.0-4.5, 4.5-5.0, 5.0-5.5 i >5.5.

Distribucija magnituda potresa većih od 5 je u skladu s položajem njihovih žarišta, a zone utjecaja magnituda u rasponu od 2.5 – 5.0 su raspoređene oko najviših magnituda, s izuzetkom nekoliko ekstrema. S druge strane, potresi magnituda manjih od 2.5 vide se isključivo u obliku manjih površina i ekstrema, bez vidljive pravilne razdiobe.

4.2.KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA

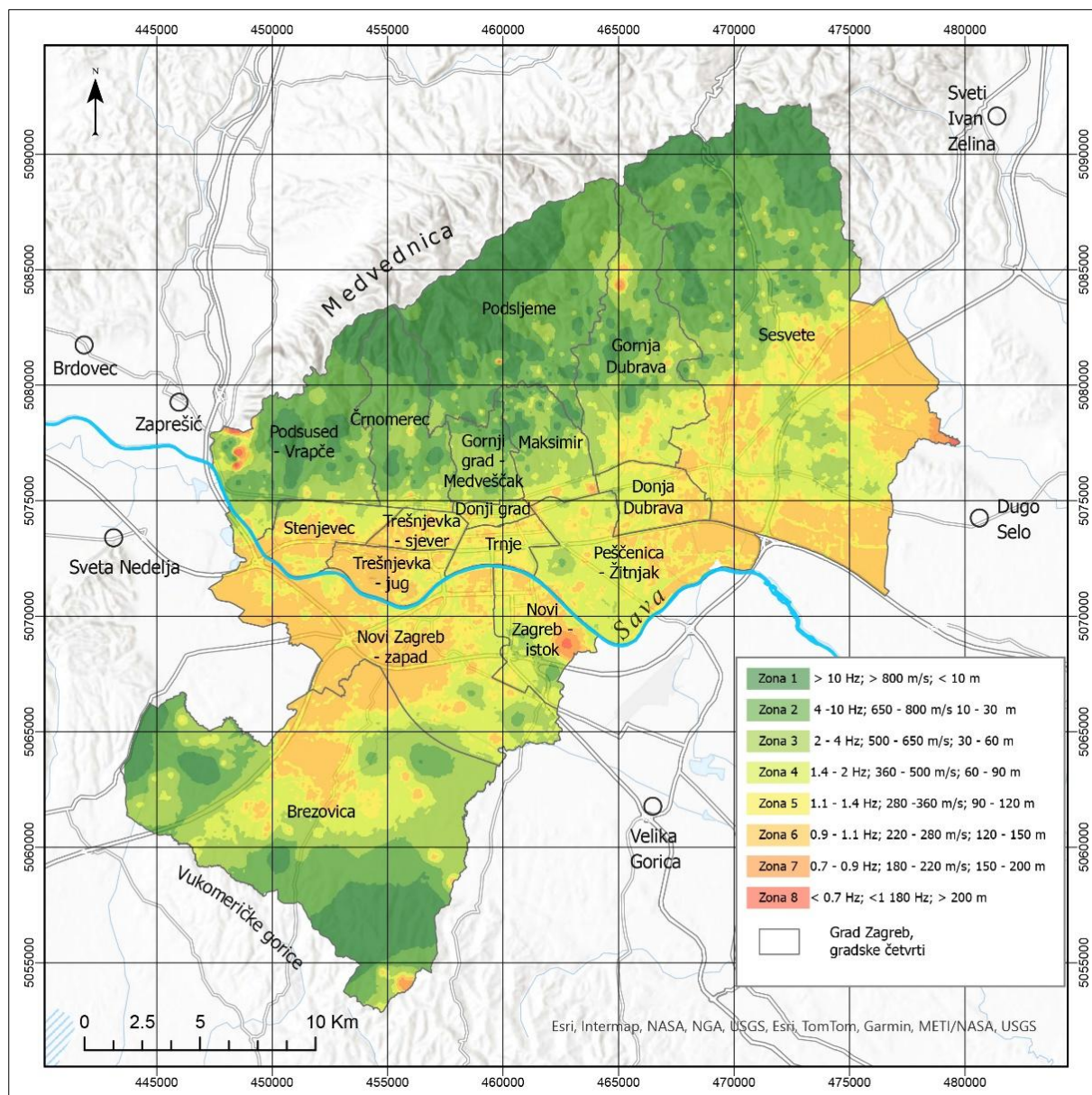
Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba izrađena je na temelju prostorne analize s težinskim faktorima ulaznih karata geofizičkih parametara f_0 , V_{S30} , H_{800} i pojednostavljene geološke karte (Slike 48, 50, 51 i 52) te karte nagiba terena (slika 54) i karte prostorne raspodjele magnituda potresa (Slika 55). Za izradu karte korišten je alat *Weighed Sum* računalnog programa *ArcGIS Pro* (URL 13)

Slično kao kod izrade preliminarne karte seizmičke mikrozonacije (Slika 53; Belić i dr., 2025) koristili su se jednaki omjeri težinskih faktora, zbog razlike u klasifikaciji ulaznih karata i razlike u njihovim mjernim jedinicama koje se međusobno zbrajaju. Kako bi se očuvali ti omjeri (vrijednosti f_0 variraju između 0.7 i 10 Hz, vrijednosti V_{S30} variraju između 180 i 800 m/s, vrijednosti H_{800} variraju između 10 i 200 m, vrijednosti geoloških klasa variraju između 1 i 6 – kvantificirane, vrijednosti nagiba terena variraju između 5 i 87°, a vrijednosti magnituda potresa variraju između 2.0 i 5.5 MSK), korišteni su jednaki omjeri.

Seizmička mikrozonacija provedena je uzimajući u obzir sljedeće ključne parametre: dominantnu frekvenciju tla (f_0), prosječnu brzinu posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{S30}), debljinu naslaga do seizmičkog kontrasta (H_{800}), geološku podlogu, nagib terena te lokalnu seizmičnost (magnitudu). Budući da se navedeni parametri značajno razlikuju po rasponima vrijednosti i mjernim jedinicama, provedena je njihova normalizacija, čime je omogućeno njihovo međusobno zbrajanje bez narušavanja relativnih doprinosa.

Na temelju integriranog modela izdvojene su zone različitog stupnja seizmičkog pojačanja, pri čemu se područja s nižim vrijednostima V_{S30} , većim debljinama mekih naslaga (H_{800}) i nižim dominantnim frekvencijama (f_0) svrstavaju u zone s većim potencijalom pojačanja seizmičkih valova. Suprotno tome, područja s većim vrijednostima V_{S30} i plićim čvrstim podlogama klasificirana su kao stabilnije seizmičke zone s manjim očekivanim amplifikacijskim učincima.

Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba (Slika 56), odnosno njena konačna verzija je glavni rezultat ovog istraživanja.



Slika 56. Karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba s raspodjelom seizmičkih zona 1-8 prema gradskim četvrtima administrativnog područja grada.

Klasifikacija seizmičkih zona temeljena je na kombinaciji dobivenih indeksa pogodnosti i pripadnosti kategorijama tla prema Eurokodu 8, koje uključuju:

Tip A – stijensko tlo ili vrlo tvrda stijenska podloga ($V_{s30} > 800$ m/s);

Tip B – vrlo zbijena tla ili slabo raspucana stijena ($V_{s30} = 360\text{--}800$ m/s);

Tip C – srednje zbijena tla ($V_{s30} = 180\text{--}360$ m/s);

Tip D – slabo zbijena tla ($V_{s30} < 180$ m/s).

Ovakav pristup omogućuje sustavno i transparentno definiranje seizmičkih zona, što je ključno za procjenu seizmičkog hazarda i planiranje otpornosti građevina u skladu s normama Eurokoda 8:

Seizmička zona 1 – vrijednosti f_0 veće od 10 Hz, vrijednost V_{S30} veća je od 800 m/s, a vrijednost H_{800} odgovara dubini manjoj od 10 metara do temeljne stijene. Kategorija tla tipa A (EC-8).

Seizmička zona 2 – vrijednosti f_0 između 4 i 10 Hz, V_{S30} u rasponu od 650 do 800 m/s, a temeljna stijena je na dubini od oko 30 metara. Kategorija tla tipa B (EC-8).

Seizmička zona 3 – vrijednosti f_0 između 2 i 4 Hz, vrijednosti V_{S30} između 500 i 650 m/s, a podloga se nalazi na dubini od oko 60 m. Kategorija tla tipa B (EC-8).

Seizmička zona 4 – vrijednosti f_0 između 1,4 i 2, vrijednosti V_{S30} između 360 i 500 m/s, a temeljna stijena je na dubini od oko 90 metara. Kategorija tla tipa B (EC-8).

Seizmička zona 5 – vrijednosti f_0 su između 1,1 i 1,4 Hz, vrijednosti V_{S30} u rasponu od 280 do 360 m/s, a temeljna stijena se nalazi na dubini od oko 120 metara. Kategorija tla tipa C (EC-8).

Seizmička zona 6 – vrijednosti f_0 između 0,9 i 1,1 Hz, te vrijednostima V_{S30} između 220 i 280 m/s, a temeljna stijena nalazi se na dubini od oko 150 metara. Kategorija tla tipa C (EC-8).

Seizmička zona 7 – vrijednosti između 0,7 i 0,9 Hz, V_{S30} vrijednosti između 180 i 220 m/s, a temeljna stijena nalazi se na dubini od oko 200 m. Kategorija tla tipa C (EC-8).

Seizmička zona 8 – vrijednosti f_0 niže su od 0,7 Hz, vrijednosti V_{S30} niže od 180 m/s, a H_{800} odgovara dubini većoj od 200 metara do temeljne stijene. Kategorija tla tipa D (EC-8).

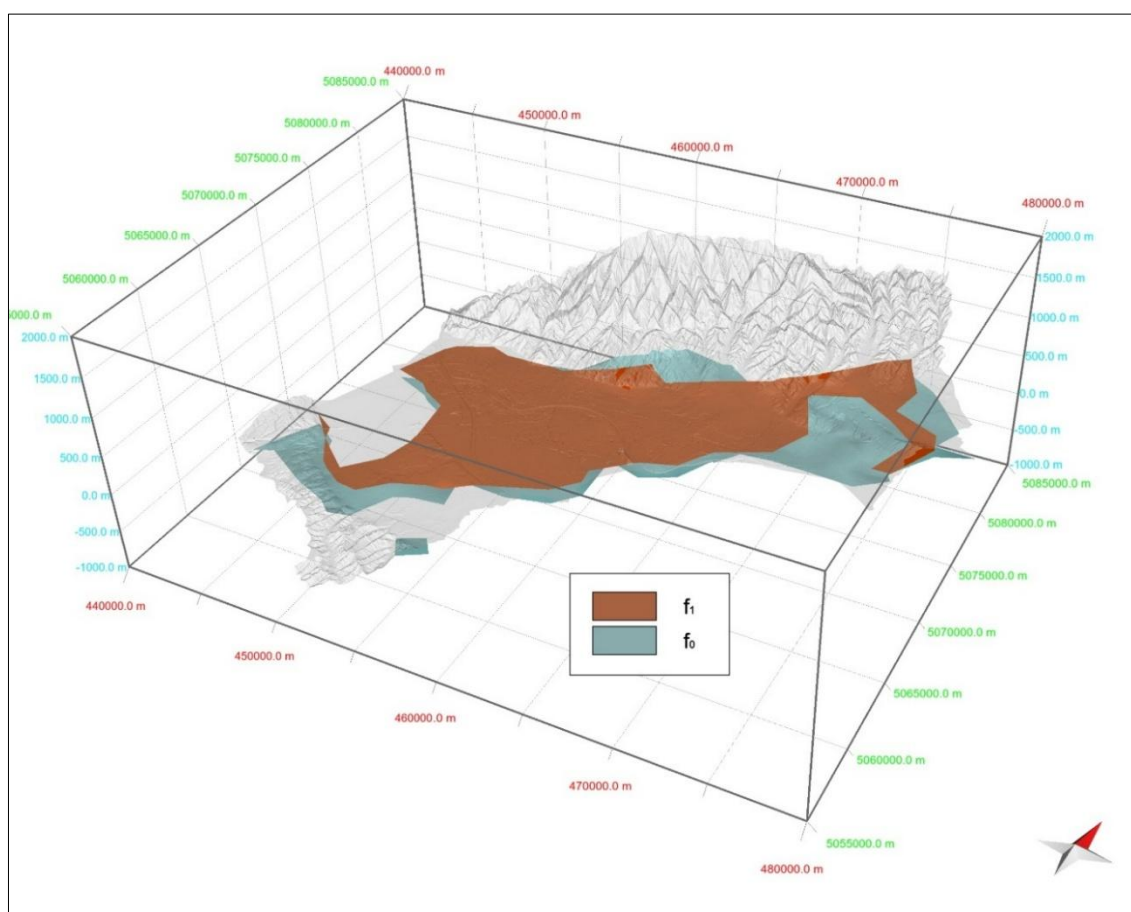
4.3. GEOLOŠKI MODEL ZAGREBAČKOG PODRUČJA

Geološki model zagrebačkog područja izrađen je na temelju prikupljenih i arhivskih geofizičkih podataka te dostupnih geoloških podataka (bušotina i refleksijskih seizmičkih profila), a u svrhu međusobne usporedbe i usporedbe sa seizmološkim podacima o položaju i magnitudi hipocentara potresa, a izdvojeni su sljedeći skupovi podataka:

1. SEIZMIČKI HORIZONTI
2. GEOLOŠKI HORIZONTI
3. POTENCIJALNO AKTIVNI RASJEDI

4.3.1. SEIZMIČKI HORIZONTI

Vrijednosti osnovne frekvencije izdvojene se za cijelo područje grada (za oko 800 lokacija), dok su vrijednosti sekundarne frekvencije izdvojene na oko 225 lokacija u južnom dijelu grada. Dubina seizmičkog horizonta f_1 na tom dijelu Zagreba procijenjena je između 5 i 40 metara, dok je dubina seizmičkog horizonta f_0 između 60 i 200 metara (ovisno o pojedinačnoj lokaciji). Na temelju interpretacije HVSR podataka, te izračuna dubina izrađen je plitki geološki model seizmičkih horizonata f_0 i f_1 zagrebačkog područja (Slika 57).



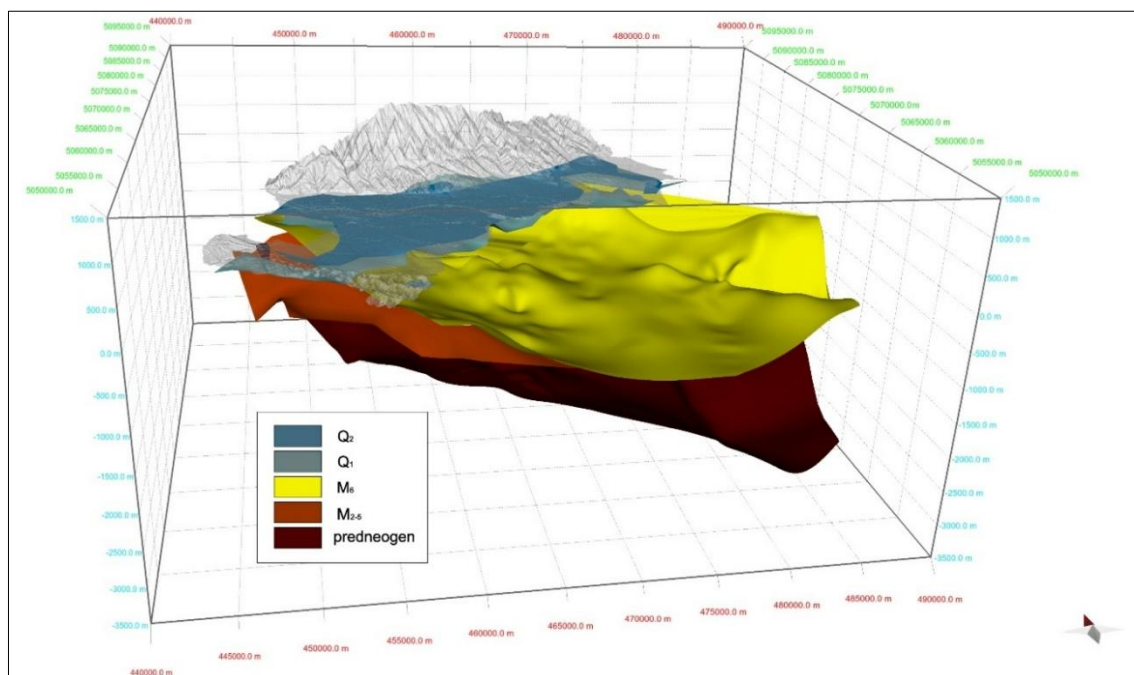
Slika 57. Seizmički horizonti područja unutar administrativnih granica grada Zagreba.

Usporedbom s plitkim bušotinskim podatcima (PRILOZI VIII i IX) može se zaključiti da seizmički horizont f_1 odgovara podini holocenskih naslaga (Q_2), a manjim dijelom i podini pleistocenskih naslaga (Q_1), ovisno o lokaciji bušotine. Budući da je maksimalna dubina plitkih bušotina oko 90 metara, samo na nekoliko lokacija, nije bilo moguće usporediti seizmički horizont f_0 čija dubina varira između 60 i 200 metara.

Usporedba s dubokim bušotinama i refleksijskim seizmičkim profilima (PRILOZI VI i VII) nije bila moguća budući da u bušotinama i na profilima nije zabilježen površinski dio naslaga (u prosjeku do 200 metara, ovisno o lokaciji).

4.3.2. GEOLOŠKI HORIZONTI

S ciljem razumijevanja stratigrafskih i tektonskih procesa izdvojene su litostratigrafske jedinice koje se mogu pratiti na površini Medvednice i Vukomeričkih gorica te u sedimentnom bazenu koji se nalazi ispod aluvijalne ravnice u južnom dijelu Zagreba. Geološki horizonti izdvojeni su na temelju njihovih litoloških i očekivanih geomehaničkih karakteristika. Na Slici 58 prikazani su modelirani geološki horizonti u odnosu na administrativno područje grada Zagreba s vertikalnim uvećanjem 5 puta.



Slika 58. Geološki horizonti u odnosu na administrativno područje grada Zagreba s vertikalnim uvećanjem 5 puta. Tamno plavo – holocenske naslage (Q₂), Svijetlo plavo – pleistocenske naslage (Q₁), Žuto – gornjomiocenske naslage (M₆), Narančasto – donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M₂₋₅) i Crveno – stijene temeljnog gorja.

Za izradu interpretaciju refleksijskih seizmičkih profila, klasifikaciju litostratigrafskih jedinica dubokih bušotina, pretvorbu iz vremenske u dubinsku vertikalnu domenu te izradu horizonata korišten je računalni program Petrel 2020, a za prikaz geoloških horizonata korišten je računalni program Move 2019. S obzirom na relativno malu debljinu pleistocenskih naslaga

(maksimalno 90 metara) i relativno veliku dubinu gornjomiocenskih naslaga (više od 200 metara) niti ovaj model nije bilo moguće usporediti sa seizmičkim horizontom f_0 .

Korelacijom geoloških karata, interpretiranih refleksijskih seizmičkih profila, litostratigrafskih jedinica dubokih bušotina te litostratigrafskih opisa plitkih inženjerskogeoloških i hidrogeoloških bušotina izdvojeni su sljedeći geološki horizonti:

- TEMELJNO GORJE ILI PREDNEOGENSKE STIJENE
- DONJI I SREDNJI MIOCEN (M_{2-5})
- GORNJI MIOCEN (M_6)
- PLEISTOCEN (Q_1)
- HOLOCEN (Q_2)

4.3.3. POTENCIJALNO AKTIVNI RASJEDI

Potencijalno aktivni rasjedi su rasjedne strukture koje pokazuju geomorfološke, geološke ili seizmološke indikacije aktivnosti tijekom kasnog pleistocena ili holocena, ali za koje ne postoji nedvosmislen dokaz recentnog pomaka, kao što je slučaj sa seizmogenim izvorima (Wu i Hu, 2024; Trifonov i Kozhurin, 2010). Oslobođanjem energije tijekom glavnog udara može doći do redistribucije naprezanja i aktivacije okolnih rasjeda, što rezultira pojavom naknadnih potresa (Wu i dr., 2017; Im i Avouac, 2023). Zbog toga su njihov položaj i orijentacija ključni za procjenu seizmičkog hazarda i planiranje u urbanim područjima (Trifonov i Kozhurin, 2010; Wu i Hu, 2024).

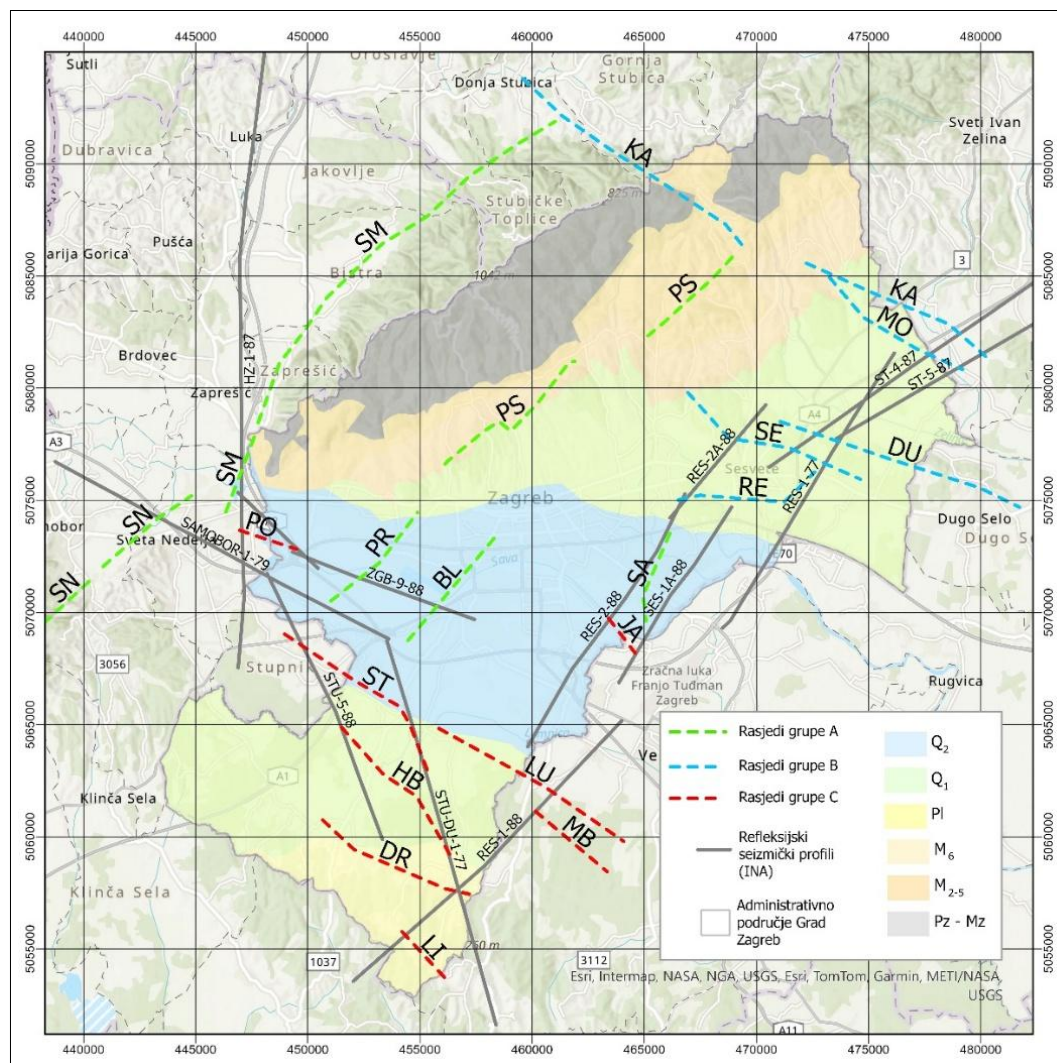
U ovom istraživanju izdvojeni su rasjedi a koji presijecaju geološke jedinice na seizmičkim refleksijskim profilima sve do kvartarnih naslaga ili su vidljivi na geološkim kartama. Potencijalno aktivni rasjedi šireg zagrebačkog područja mogu se podijeliti prema orijentaciji i dominantnom karakteru u grupe:

- A – reverzni, navlačni i lijevi transpresijski rasjedi s pomakom po pružanju sjeveroistok – jugozapad
- B – desni transpresijski rasjedi s pomakom po pružanju sjeverozapad – jugoistok
- C – reverzni i transpresijski rasjedi pružanja sjeverozapad – jugoistok i nedefiniranog pomaka

Popis interpretiranih potencijalno aktivnih rasjeda nalazi se u Tablici 7; a njihov položaj je prikazan na Slici 59.

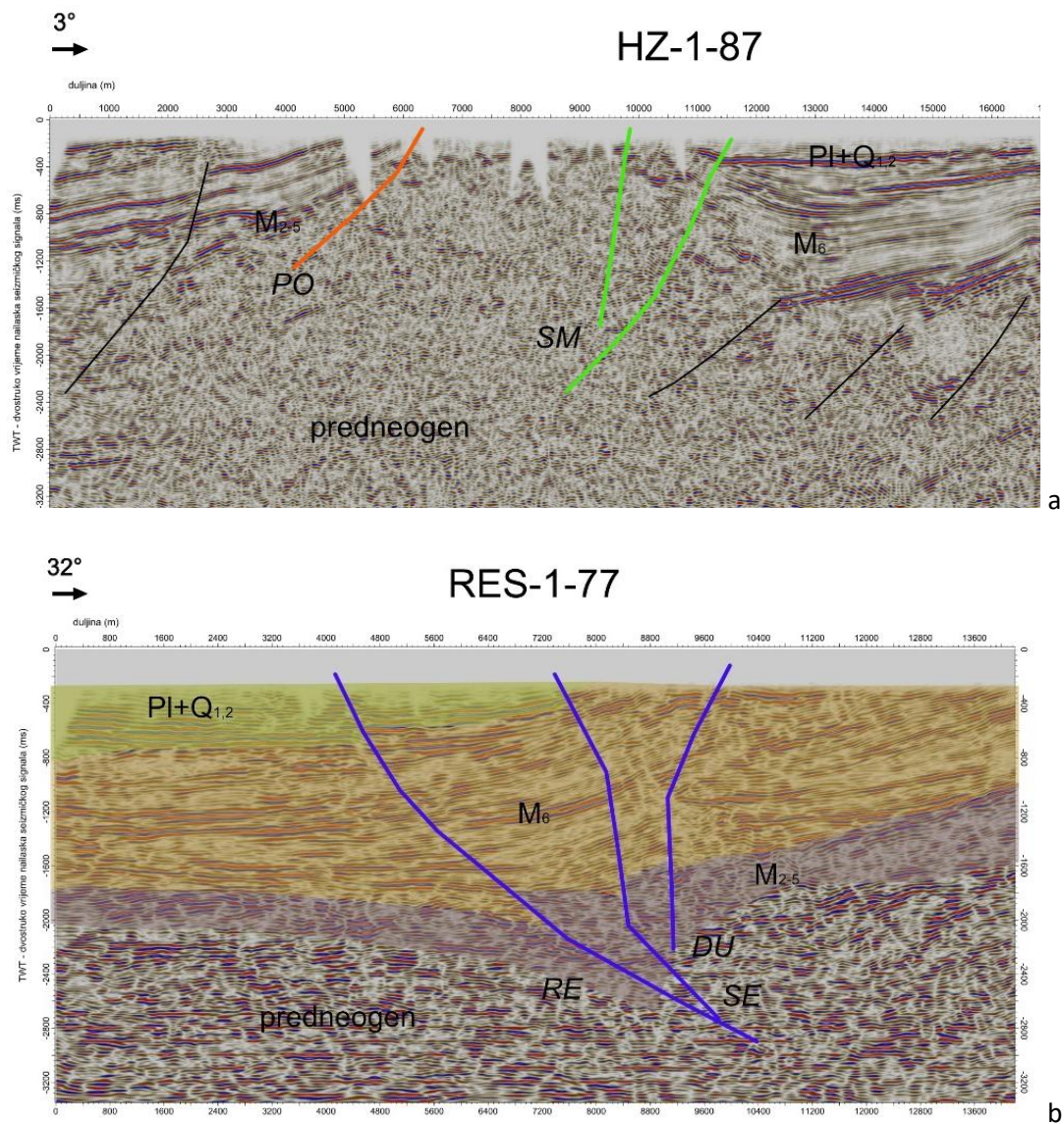
Tablica 7. Potencijalno aktivni rasjedi šireg zagrebačkog područja:

Grupa A	Grupa B	Grupa C
SM – Sjevernomedvednički	KA – Kašinski	PO – Podsusedski
SN – Svetonedeljski	MO – Moravački	ST – Stupnički
PR – Prečki	DU – Dubravski	HB – Hudobiteški
BL – Blački	SE – Sesevski	DR – Dragonožečki
SA – Savički	RE – Resnički	LU – Lukavečki
		MB – Malobunski



Slika 59. Potencijalno aktivni rasjedi šireg zagrebačkog područja u odnosu na interpretirane seizmičke profile i geol. građu: holocenske naslage (Q_2); pleistocenske naslage (Q_1); pliocenske naslage (Pl); gornjomiocenske naslage (M_6); donjomiocenske i srednjemiocenske naslage (M_{2-5}) i stijene temeljnog gorja ($Pz-Mz$).

Grupe rasjeda A i B su određene prema literaturi (Herak, M., 2024; Herak, M. i dr., 2021, Tomljenović i Csontos 2001, Atanackov i dr., 2021; van Gelder i dr., 2015; Schmid i dr., 2008, 2020; Basili i dr., 2013, Basili i dr., 2022), a grupa C je određena nakon interpretacije refleksijskih seizmičkih profila. Interpretirani refleksijski seizmički profili nalaze se u PRILOGU X, a rasjedi su vidljivi na seizmičkim profilima HZ-1-87, RES-1-77, RES-1-88, RES-2-88, RES-2A-88, SAMOBOR-1-79, SES-1A-88, ST-5-87, STU-1-DU-1-77, ZGB-5V-86 i ZGB-9-88. Na slici 60a prikazan je primjer reverznih potencijalno aktivnih rasjeda grupe A i C (zeleno i narančaste linije) te neaktivnih rasjeda (crne linije), dok je na slici 60b prikazan rasjed grupe B (plave linije) s pomakom po pružanju s karakterističnom pozitivnom cvijetnom strukturom.



Slika 60. Primjeri potencijalno aktivnih rasjeda na širem zagrebačkom području (refleksijski seizmički profili HZ-1-87 i RES-1-77).

5. RASPRAVA

5.1. DEFINIRANJE ZONA SEIZMIČKOG UTJECAJA NA POVRŠINI

Zone seizmičkog utjecaja podijeljene su prema rasponima geofizičkih parametara: osnovne frekvencije tla (f_0), srednje brzine posmičnih valova u gornjih 30 metara (V_{S30}) i dubine do čvrste stijene (H_{800}). Distribucija seizmičkih zona u skladu je s globalnom hibridnom kartom V_{S30} (Heath i dr., 2020; URL 5), koja se temelji na topografskom modelu. Također je u velikoj mjeri usklađena s geološkom građom šireg zagrebačkog područja, odnosno litološkim opisima iz tumača geoloških karata (npr. Šikić i dr., 1979; Basch, 1983b; Velić, I. i Vlahović, 2009), kao i s rezultatima stručnih studija i znanstvenih radova (npr. Grizelj i dr., 2011a; 2011b; 2017; Miklin i dr., 2018). Opisane geološke jedinice i njihova očekivana mehanička svojstva prostorno koreliraju sa seizmičkim zonama. Većina zona odgovara prikazu na karti seizmičke mikrozonacije sjevernog dijela Zagreba (Miklin i dr., 2019).

Seizmičke zone 1 do 3 prostiru se u sjevernom dijelu gradskih četvrti Podsused – Vrapče, Črnomerec, Podsljeme, Gornji grad – Medveščak te mjestimično u četvrtima Maksimir i Gornja Dubrava, zatim u južnom, zapadnom i sjeveroistočnom dijelu četvrti Brezovica (Slika 56). Relativno plitka osnovna stijena, uz prisutnost tankog pokrivača ili trošnih zona stijena temeljnog gorja, ukazuje na izražen utjecaj trošenja u miocenskim laporima, pa čak i starijim pleistocenskim naslagama na obroncima Medvednice (Gverić i dr., 2024) i Vukomeričkih gorica. Vrijednosti temeljne rezonantne frekvencije i prosječne brzine posmičnih valova su najviše u odnosu na ostale zone. Unutar ovih zona nalazi se najveći dio površina s nagibom terena većim od 35° . Erak (2018) navodi da najveći utjecaj na klizanje tla imaju tereni nagiba $5-32^\circ$, srednji utjecaj imaju tereni nagiba $2-5^\circ$ i $32-55^\circ$, dok vrijednosti ispod 2° i iznad 55° nemaju utjecaj na klizanje. To znači da je u ovim zonama umjerena opasnost od klizanja tla i odrona stijena.

Seizmičke zone 4 do 6 karakteriziraju kvartarne naslage veće debljine i materijali s nižom temeljnom rezonantnom frekvencijom i prosječnom brzinom posmičnih valova. Ovdje se osnovna stijena nalazi na dubini od 60-150 m, iznad koji se nalaze relativno debele pleistocenske i holocenske naslage, što omogućuje pojačanje seizmičkih valova. Prostiranje ovih zona je sjeverni dio četvrti Brezovica, kao i južni dijelovi četvrti Sesvete i Gornja Dubrava te četvrt Donja Dubrava i većina površina četvrti Stenjevec, Trešnjevka – jug, Trešnjevka – sjever, Donji grad, Trnje, Novi Zagreb – zapad, Novi Zagreb – istok i Peščenica – Žitnjak.

Nagib terena u ovim zonama je u približnom rasponu od 0-35°. Prema Erak (2018) u ovim zonama je najveća opsanost od klizanja tla, a kod nagiba manjih od 2°te s obzirom na litološki sastav kvartarnih sedimenata, u slučaju jačih potresa postoji i vjerojatnost pojave livefakcija (Obermeier, 1994).

Seizmičke zone 7 i 8 odgovaraju manjim izoliranim područjima unutar gradskih četvrti Podsused – Vrapče, Podsljeme, Gornja Dubrava, Sesvete, Brezovica i Novi Zagreb – istok, gdje su zabilježene najniže osnovne rezonantne frekvencije i prosječne brzine posmičnih valova. Ta područja se nalaze izvan gusto naseljenih zona, industrijskih i infrastrukturnih građevina, osim onog u Novom Zagrebu, koje se nalazi u blizini odlagališta otpada Jakuševac i ranžirnog kolodvora. Nagib terena i geološka podloga u ovim zonama jako variraju, stoga bi eventualne sekundarne seizmičke efekte bilo korisno detaljnije istražiti.

Karta seizmičke mikrozonacije izrađena je na temelju prostorne analize s jednakim težinskim faktorima upotrebom alata *Weighed Sum* računalnog programa *ArcGIS Pro* (URL 13). Ulazne karte geofizičkih parametara f_0 , V_{S30} , H_{800} (Slike 48, 50, 51), karta nagiba terena (Slika 54) i karta prostorne raspodjele magnituda potresa (Slika 55) zonirane su u osam zona, a pojednostavljena geološka karta (Slika 52) zonirana je u šest zona. Prednost prostorne analize je njihovo međusobno zbrajanje bez narušavanja relativnih doprinosa i dobivanje rezultata s jasnom raspodjelom zona gdje su vrijednosti ujednačene. Nedostatak je postojanje ekstrema na mjestima gdje se zone raspoređuju oko vršnih vrijednosti jedne ili više ulaznih karata. Razlozi mogu biti neujednačena raspodjela interpoliranih točaka, npr. točaka mjerenja kod karata geofizičkih parametara ili raspodjela žarišta kod karte raspodjele magnituda potresa.

Pojednostavljena geološka karta sastoji se od poligona u koje su razvrstane geološke jedinice prema očekivanim geofizičkim parametrima. Geološke jedinice predstavljaju kvantitativne vrijednosti, a da bi se dobile kvalitativne vrijednosti klasificirane su u klase 1-6. Kada bi se tim klasama dodijelile kvalitativne vrijednosti, npr. prosječni geotehnički parametri, dobio bi se drugačiji omjer zbroja ulaznih karata i drugačiji rezultat.

Karta nagiba terena izrađena je u svrhu definiranja površina podložnih na sekundarne seizmičke efekte i geohazarde (likvefakcije i klizišta), a klasificirana je u osam klasa nagiba (Slika 55) kako bi se dobio raspon sličan kod karata geofizičkih parametara. Osim nagiba, utjecaj na klizanje imaju i geološka podloga, orijentacija padine i drugi čimbenici. Stoga bi alternativni pristup mogao bi biti upotreba karata podložnosti na klizanje (Erak 2018) ili katastra klizišta, dostupnog na Zagrebačkom geoprtalu prostornih podataka (URL 7) ili karte

zoniranja zagrebačkog područja po potencijalu likvefakcije (Veinović i dr., 2007) te odgovarajućeg katastra klizišta za neko drugo područje istraživanja, npr. katastra klizišta za područje nekoliko županija u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini, koji je trenutno u izradi u okviru projekta LADY Hrvatskog geološkog instituta (URL 14). Takve karte bi se također trebale klasificirati u svrhu definiranja što prikladnijih težinskih omjera.

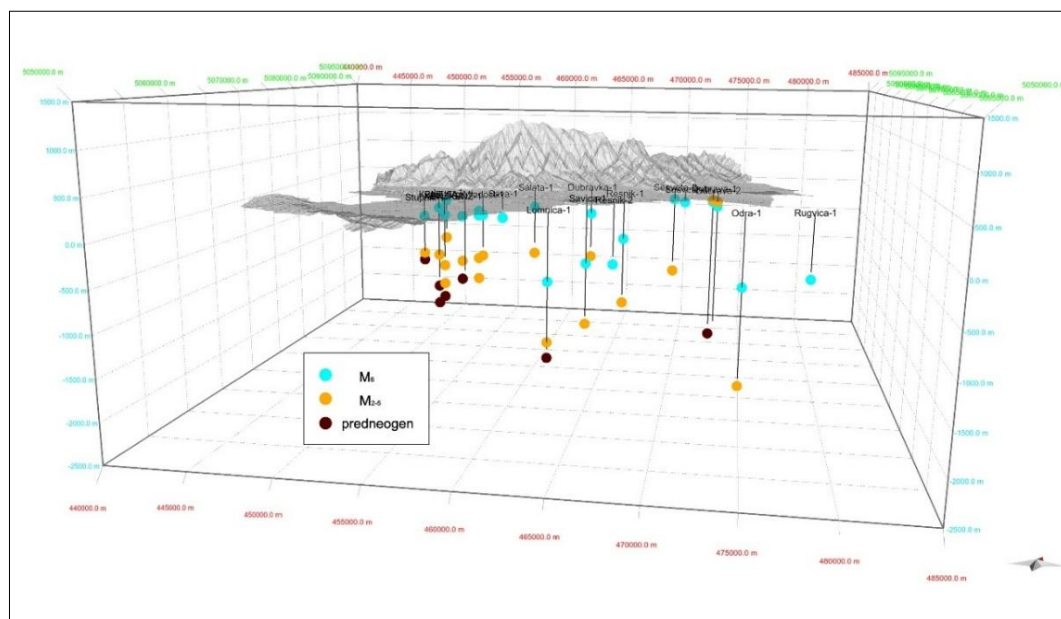
5.2. USPOREDBA GEOFIZIČKIH MJERENJA S GEOLOŠKIM PODATCIMA

U ovom istraživanju najveću površinu čine holocenske i pleistocenske naslage, koje mogu imati debljine i do nekoliko stotina metara. Interpretirane vrijednosti temeljne rezonantne frekvencije (f_0), kao i sekundarne frekvencije (f_1) (Slika 57) poslužile su za modeliranje seizmičkih hoizonata (f_0 i f_1). Seizmički horizont (f_0) predstavlja osnovnu stijenu koja se na obroncima Medvednice i Vukomeričkih gorica nalazi na površini ili do dubine od maksimalno 60 metara te na dubini od 60 do 200 metara u Savskom bazenu. S obzirom na kompleksnu građu Savskog bazena opisanih u studijama jugoistočno i sjeverozapadno od istraživanog područja (Cvetković, 2013; Mencin-Gale, 2021) te njegov heterogeni litološki sastav (Barudžija i dr., 2024), bilo je potrebno uvesti metodu kojom se mogu dohvatiti veće dubine i geološke granice koje bi mogli predstavljati modelirani seizmički horizonti. Zbog toga su u južnom dijelu grada provedena MASW-MAM mjerenja (Tablica 4; Slika 38).

Geofizički profili ZGP_6, ZGP_7, ZGP_8 i ZGP_9 (PRILOG IV), zabilježeni u središnjem dijelu grada, prikazuju diskretni diskontinuitet na oko 5 do 15 metara, što je u skladu sa seizmičkim kontrastom sekundarne rezonantne frekvencije – f_1 modeliranim na temelju mikrosezmičkog nemira. Veće brzine posmičnih valova (> 750 m/s na dubini od 120 m) zabilježene su na geofizičkim profilima ZGP_1 i ZGP_4 (PRILOG IV) koji se nalaze najjužnije i najsjevernije (Slika 39), što sugerira da je stijenska podloga bliža površini na rubovima savske aluvijalne ravnice. Ova dva profila slična su rezultatima iz Uglešić i dr., (2021), koji se odnose na područje sjeverno od gore navedenog profila ZGP_4, gdje je učestalost lokacija HVSR-a bila u korelaciji s geološkim bušotinama i geofizičkim mjerenjima bušotina (Miklin i dr., 2007, 2018). Stoga je moguće da se modelirani seizmički kontrast f_1 , koji pokriva približno područje holocenskih sedimenata (Slika 57) podudara s njihovom podinom. Relativno niske brzine posmičnih valova (500 – 600 m/s) dobivene na ZGP_6 do ZGP_9 na dubini od oko 120 m ispod površine (PRILOG IV) i nedostatak naglog povećanja brzine u svim geofizičkim

profilima ukazuju na to da se kruti materijali, tj. osnovna stijena (*bedrock*), nalaze više od 120 m ispod površine.

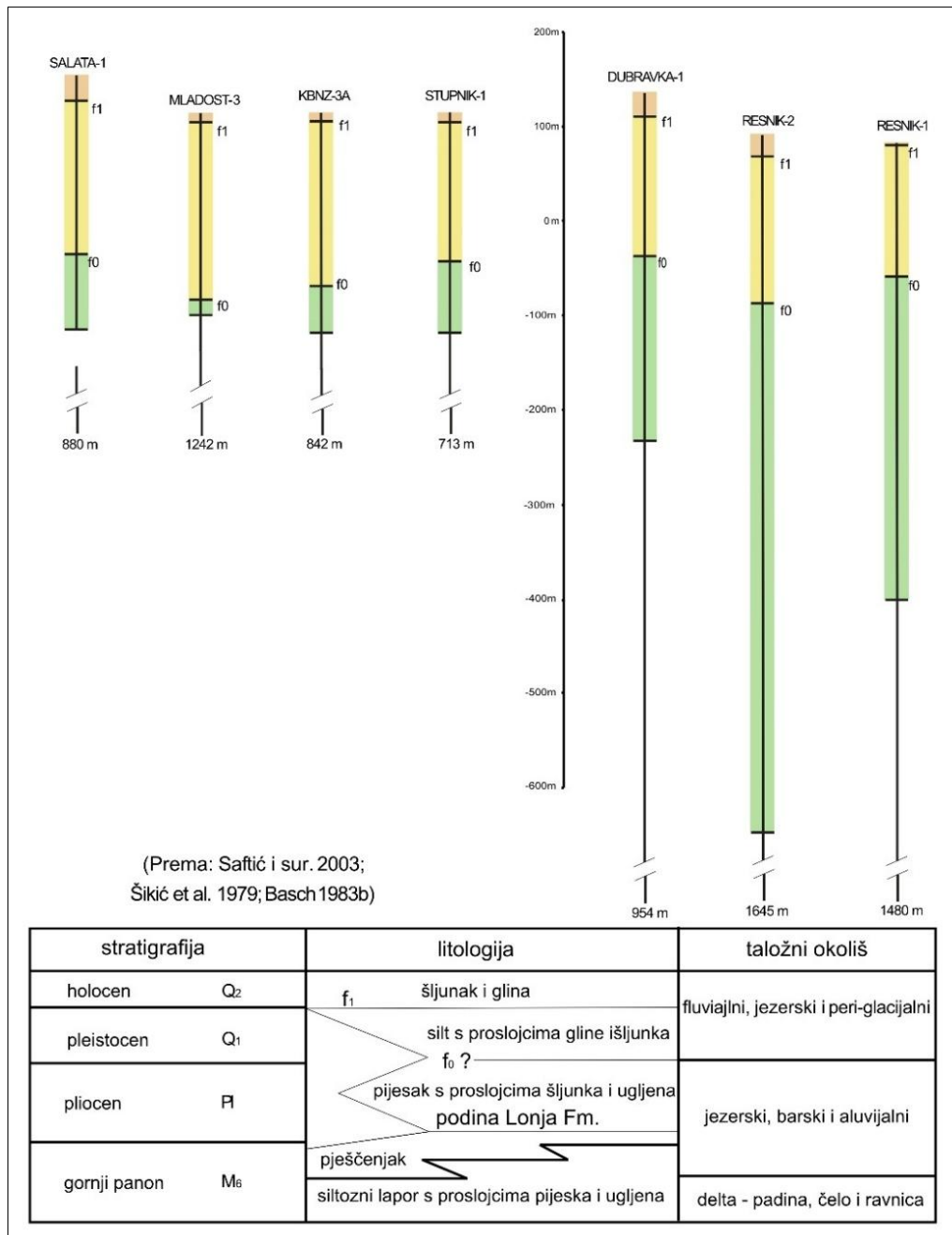
Podatci iz dubokih bušotina (Slika 47; PRILOG VI) koje su korištene u ovom istraživanju za usporedbu sa seizmološkim mjerenjima, ne prikazuju kontinuirani litološki zapis između površine i stratigrafskog markera Lonja (Šimon, 1973), koja u starijoj literaturi označava krovinu miocena. Međutim, noviji radovi (Saftić i dr., 2003; Sebe i dr., 2020) ukazuju na to da baza formacije Lonja predstavlja litološku, a ne vremensku granicu. Točnije, prema Sebe i dr. (2020), podina formacije Lonja predstavlja granicu facijesa gdje jezerske naslage Panonskog jezera, taložene u panonu, prelaze u krupnozrnate sedimente jezera Slavonija (Mandić i dr., 2015), taložene tijekom pliocena ili u fluvijalno-jezerske, močvarne i aluvijalne naslage kvartarne starosti. Na slici 61 prikazan je položaj dubokih naftnih i geotermalnih bušotina i litoloških markera interpretiranih prema različitim podjelama (Tablica 2) u odnosu na administrativno područje grada Zagreba.



Slika 61. Litološki markeri korišteni u interpretaciji dubokih naftnih i geotermalnih bušotina u odnosu na administrativno područje grada Zagreba. Vertikalno mjerilo je uvećano 5 puta.

Na površini se pliocenske naslage koje pripadaju formaciji Lonja (ili litostratigrafskoj jedinici Vrbova prema novoj klasifikaciji) nalaze samo u jugoistočnom dijelu grada (Slike 8 i 52). Prema OGK 100 list Karlovac (Benček, 1990) to su gline, pijsci, šljunci, pješčenjaci, lapori i ugljen, stijene koje mogu biti vezane ili nevezane, a na većim dubinama, može se pretpostaviti da su litificirane i mehaničkim svojstvima predstavljaju temeljnu stijenu. To potvrđuje i karta seizmičke mikrozonacije (Slika 56), gdje je ovo područje pripalo u seizmičke zone 1 i 2, a

njihovo prostiranje se nastavlja ispod kvartarnih naslaga Savskog bazena, kako je interpretirano u dubokim bušotinama. Stratigrafski marker podine Lonja formacije u bušotinama koje se nalaze u istočnom dijelu grada (DUBRAVKA-1, RESNIK-1 i RESNIK-2) je dublji nego u onima u zapadnom dijelu grada (KNBZ-3A, MLADOST-3, SALATA-1 i STUPNIK-1). Na slici 62 prikazan je položaj stratigrafskog markera podine formacije Lonja (Šimon, 1973). Seizmički kontrast f_0 stoga najvjerojatnije odgovara stratigrafskoj granici gdje poluvezane pliocenske (P1) naslage pijeska leže u podini rastresitih pleistocenskih sedimenata (Q_1).



Slika 62. Geološka interpretacija bušotina (a), u usporedbi sa shematskim geološkim stupom Savske depresije (b).

U svrhu usporedbe seizmičkih s geološkim horizontima provedene su analize dubokih bušotina usporedbom *masterlog* izvješća dubokih bušotina na području Savskog bazena. Na slici 63a prikazan je isječak *masterlog* izvješća bušotine Dubravka -1, gdje je uočena litološka promjena iz gline u lapor, a na slici 63b (bušotina Šalata-1) vidi se promjena u omjeru litoloških komponenata gline i pjedkovite gline. Dubine litoloških promjena odgovaraju dubini seizmičkog horizonta f_0 u oba promjera, a usporedba dubina seizmičkih horizonata i litoloških promjena za više bušotina prikazana je u PRILOGU VI.

INA NAFTAPLIN SLUŽBA ZA OPERATIVNI GEOLOGIJU ODJEL ZA GEOLOŠKO PRAĆENJE BUŠOTINA		Struktura Dunjaš 1500 Nastao iz: Dunjaš Pješ		OPERATIVNI PODACI DUBOKE ISTRAŽNE BUŠOTINE Dubravka 11 / DKA-1/		List br. 1.									
Datum	Dubina	Litološke komponente					Detaljan opis litoloških komponenata	UV %	Pojave gline					Prispeće	
		1	2	3	4	5			D	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		
25.1.1961.	0-10	100					1. Raznobojni šljunak	8							Kolona ø 13 3/8" ugradena do 36,39
	10-20	100					2. Srednjezrni pijesak	"							
	20-30	100					3. Glina	"							
	30-35	100						"							
	35-40	80	10	10				"							
	40-50	80	10	10				"							
	50-60	50	20	30				"							
	60-70	20	20	60				"							
	70-80	10	20	60				"							
	80-90		20	80				"							
30.1.1961.	90-100		20	80				"						ø 12 1/4" F = 1,2 Kolona ø 9 5/8" ugradena do 122,32	
	100-110		100					"							
	110-120		100					"							
	120-125		100					"							
	125-130	100					1. Glinoviti lapor	"							
	130-135	100						"							
	135-140	100						"							
	140-145	100						"							
	145-150	100						"							
	150-155	100						"							
5.2.1961.	155-160	100						"						ND ø 8 1/2" F = 1,12	
	160-165	100						"							
	165-170	100						"							
	170-175	100						"							

a

INA NAFTAPLIN SLUŽBA ZA OPERATIVNI GEOLOGIJU ODJEL ZA GEOLOŠKO PRAĆENJE BUŠOTINA		Struktura "GEOZEMLJA" Nastao iz: A. Sreć		OPERATIVNI PODACI DUBOKE ISTRAŽNE BUŠOTINE Šalata 2. - 1 (Šal.2. - 1)		List br. 3.								
Datum	Dubina	Litološke komponente					Detaljan opis litoloških komponenata	UV %	Pojave gline					Prispeće
		1	2	3	4	5			D	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
30.06.1961.	98	10	0				1. Bivo zelenkasta glina sa ostacima organske materije							
	100	100												
	102	100												
	104	100					2. Žuta pjeskovita glina							
	106	100												
	108	50	20				3. Krupnozrni kvarcni pijesak							
	110	50	50											
	112	50	50											
	114	50	50											
	116	50	50											
21.06.1961.	118	50	50											
	120	50	50											
	122	50	50											
	124	50	50											
	126	50	50											
	128	50	50											
	130	50	50											
	132	50	50											
	134		50	50										
	136		50	50										
21.06.1961.	138	50	40	20										
	140	80	20											
	142	100												
	144	100												

b

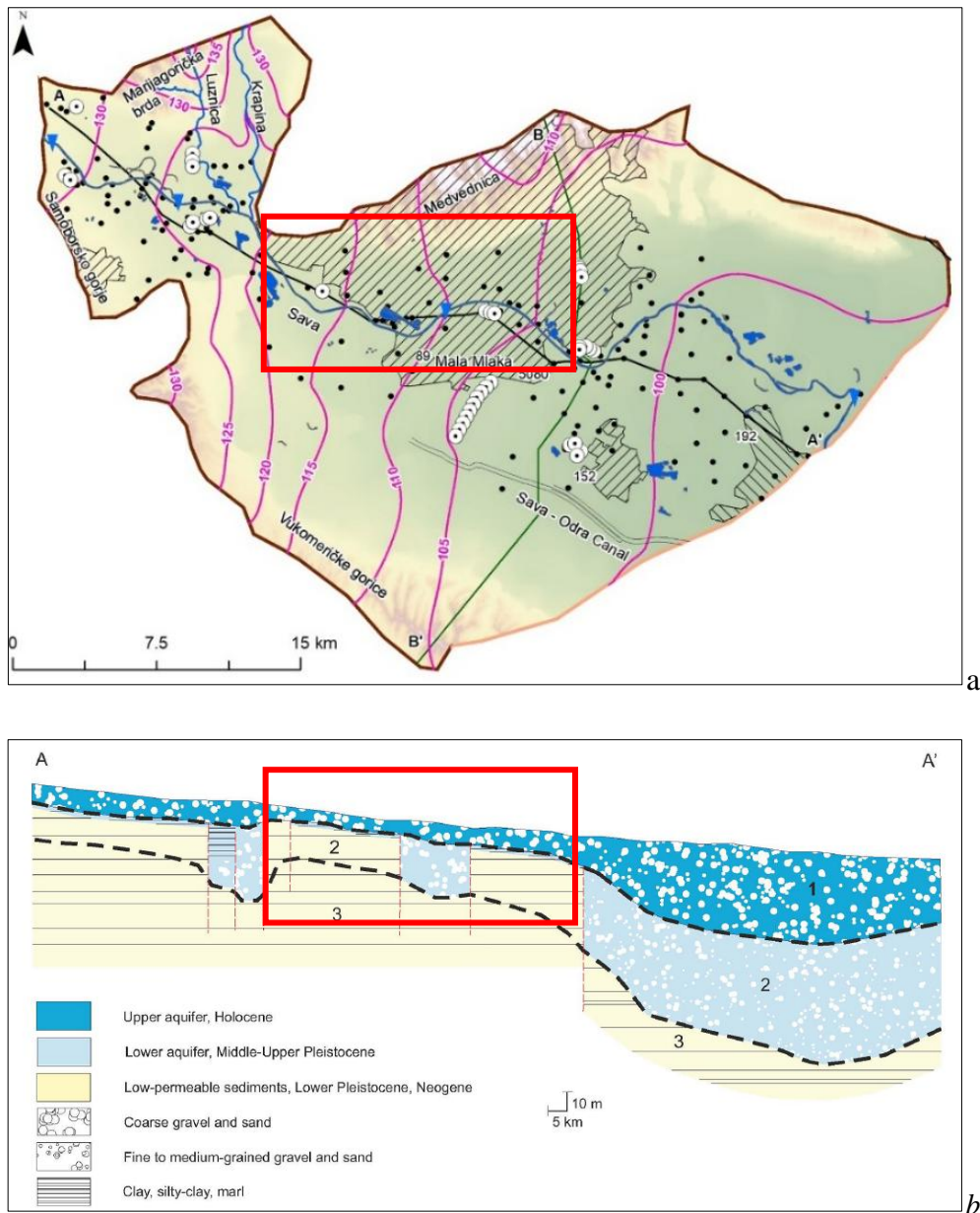
Slika 63. Masterlog izvješća bušotina Dubravka-1 (a) i Šalata-1 (b).

Ova pojava je primjećena pregledom izvješća bušotina koje se nalaze u području gdje je modeliran seizmički horizont f_0 u približno 70% bušotina te uz toleranciju od 30 metara zbog relativno male gustoće seizmoloških mjerenja i bušotina (Slike 36 i 43). Ova izvješća potvrđuju da seizmički kontrast f_0 najvjerojatnije odgovara stratigrafskoj granici poluvezanih pliocenskih (P1), koje se sastoje od pijeska i gline (Velić, I. i Vlahović, 2009; Cvetković, 2013) i rastresitih pleistocenskih sedimenata (Q_1) različitog granulometrijskog sastava (Velić, I. i Vlahović, 2009; Grizelj i dr., 2017; Mencin-Gale, 2021; HGI, 2026).

S druge strane, plitke inženjerskogeološke i hidrogeološke bušotine u južnom dijelu grada (Slika 47; PRILOG VII i VIII) uglavnom ne dopiru do seizmičkog horizonta f_0 što je spriječilo mogućnost točnije usporedbe odnosa litoloških podataka i seizmičkih horizonata. Prema podacima objavljenim u Larva i dr., (2022) i Brkić (2017), debljina naslaga holocenskog vodonosnika u južnom dijelu Zagreba procjenjuje se na oko 8 do 10 metara (Slika 64), a geološki profili (Miklin i dr., 2007; 2018) i geološke karte (Šikić i dr., 1977; 1979, Basch, 1983a; 1983b) upućuju na to da baza najmlađih holocenskih sedimenata može biti maksimalno do 40 m, što približno odgovara dubini seizmičkog horizonta f_1 .

Usporedbom s plitkim bušotinskim podacima na području Podsljemenske zone (PRILOG VIII) uočena je podudarnost seizmičkog horizonta f_0 i podine holocenskih (Q_2), dijelom i pleistocenskih naslaga (Q_1) u sličnom postotku kao kod dubokih bušotina, uz toleranciju od 15 metara zbog relativno velike gustoće točaka (Slike 36 i 47). Seizmički horizont f_1 modeliran je samo u južnom dijelu grada, gdje vjerojatno odgovara podini holocenskih naslaga (Q_2), a njegova dubina je procijenjena između 5 i 40 metara. Usporedbom s plitkim bušotinskim podacima na području Savskog bazena (PRILOG IX) uočena je podudarnost seizmičkog horizonta f_1 i podine holocenskih naslaga (Q_2) u približno 70% bušotina, uz toleranciju od 15 metara zbog relativno velike gustoće točaka (Slike 36 i 47).

S obzirom na kompleksnu geološku građu i nesavršenost geofizičkih metoda izmjerene vrijednosti mogu pokazivati vrijednosti temeljne stijene (temeljna frekvencija f_0 u nekim slučajevima može predstavljati odraz pijeska na 100 m dubine koji je jako zbijen i ponaša se kao stijena te može pokazivati brzine veće od 800 m/s) (Stanko i dr., 2017b). Slično je s laporom, gdje dobivene vrijednosti ovise o stupnju trošnosti. Stoga je za što točniju interpretaciju potrebno progustiti MASW-MAM mjerenja, a u idealnom slučaju dopuniti bušotinske podatke s detaljnom litostratigrafskom klasifikacijom.

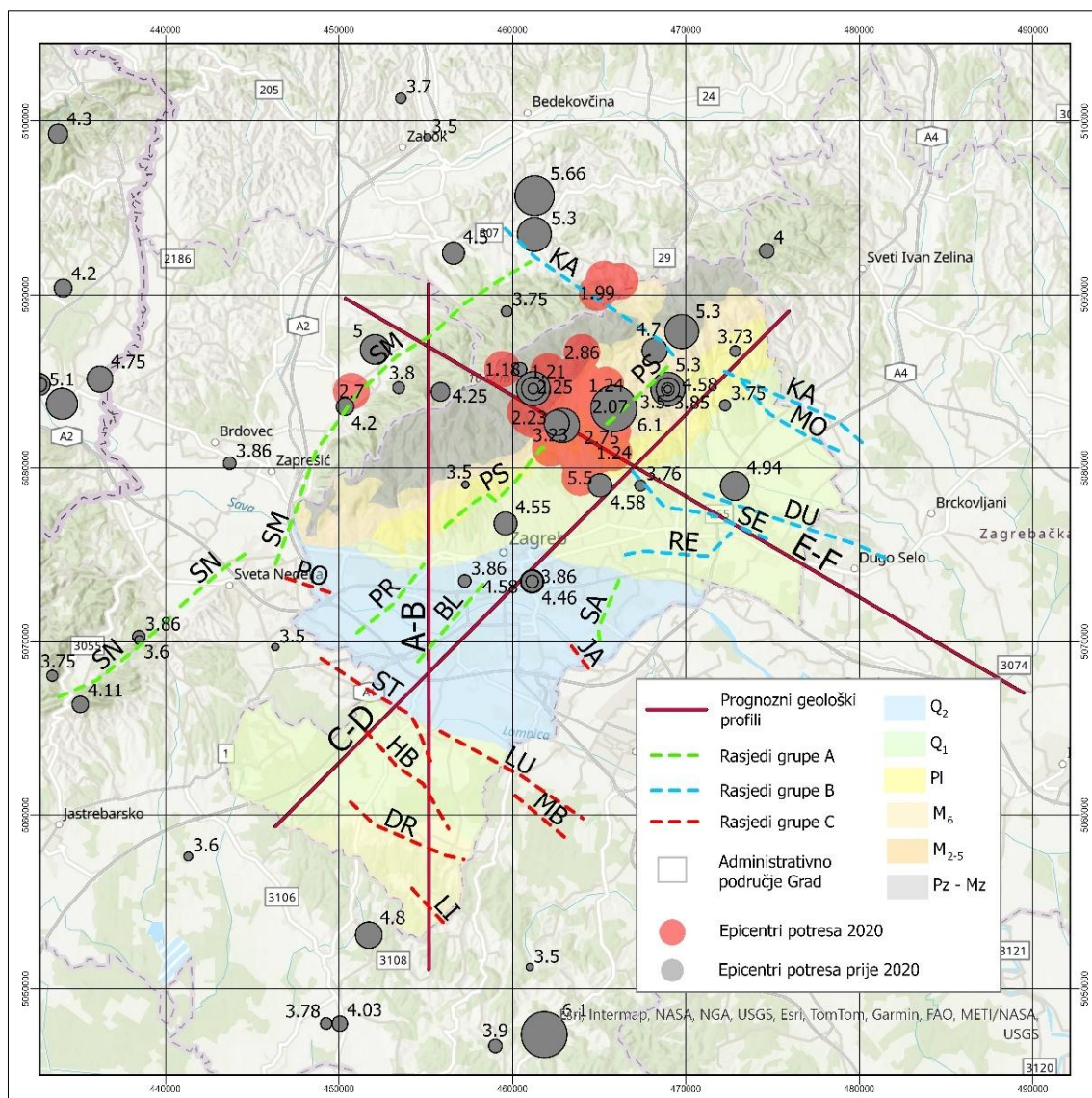


Slika 64. Hidrogeološki profil zagrebačkog vodonosnika (Larva i dr., 2022). Crveni kvadrat približno označava dio vodonosnika unutar administrativnog područja grada Zagreba.

5.3. USPOREDBA GEOLOŠKIH PODATAKA SA SEIZMOLOŠKIM PODATCIMA

Povećanjem gustoće mreže seizmoloških postaja svakako se unaprijedila prostorna rezolucija računanja položaja žarišta potresa, no nedostatak seizmoloških podataka je dubinska rezolucija. Budući da se potresi javljaju na dubinama od nekoliko kilometara do nekoliko desetaka kilometara, a geološki podatci korišteni u ovom istraživanju ne dosežu te dubine, usporedba se temeljila na geološkom modeliranju rasjednih zona potencijalno aktivnih rasjeda i hipocentara te njihovog približnog prostornog odnosa.

Utjecaj potencijalno aktivnih rasjeda na lokalne uvjete tla nije razmatran u ovom istraživanju, kao ni njihov seizmogeni potencijal, no bilo je nužno barem približno definirati njihov položaj i karakter u svrhu usporedbe s distribucijom seizmičkih zona na krati seizmičke mikrozonacije grada Zagreba s potencijalno aktivnim rasjedima (PRILOG XI). Zbog toga su na temelju geološkog modela izrađeni prognozni geološki profilu koji prikazuju stratigrafske i tektonske odnose šireg zagrebačkog područja. Na Slici 64 prikazan je položaj prognoznih geoloških profila A-B, C-D i E-F u odnosu na položaj žarišta (epicentara) potresa, i rasjeda grupa A, B i C te u odnosu na geološke jedinice.



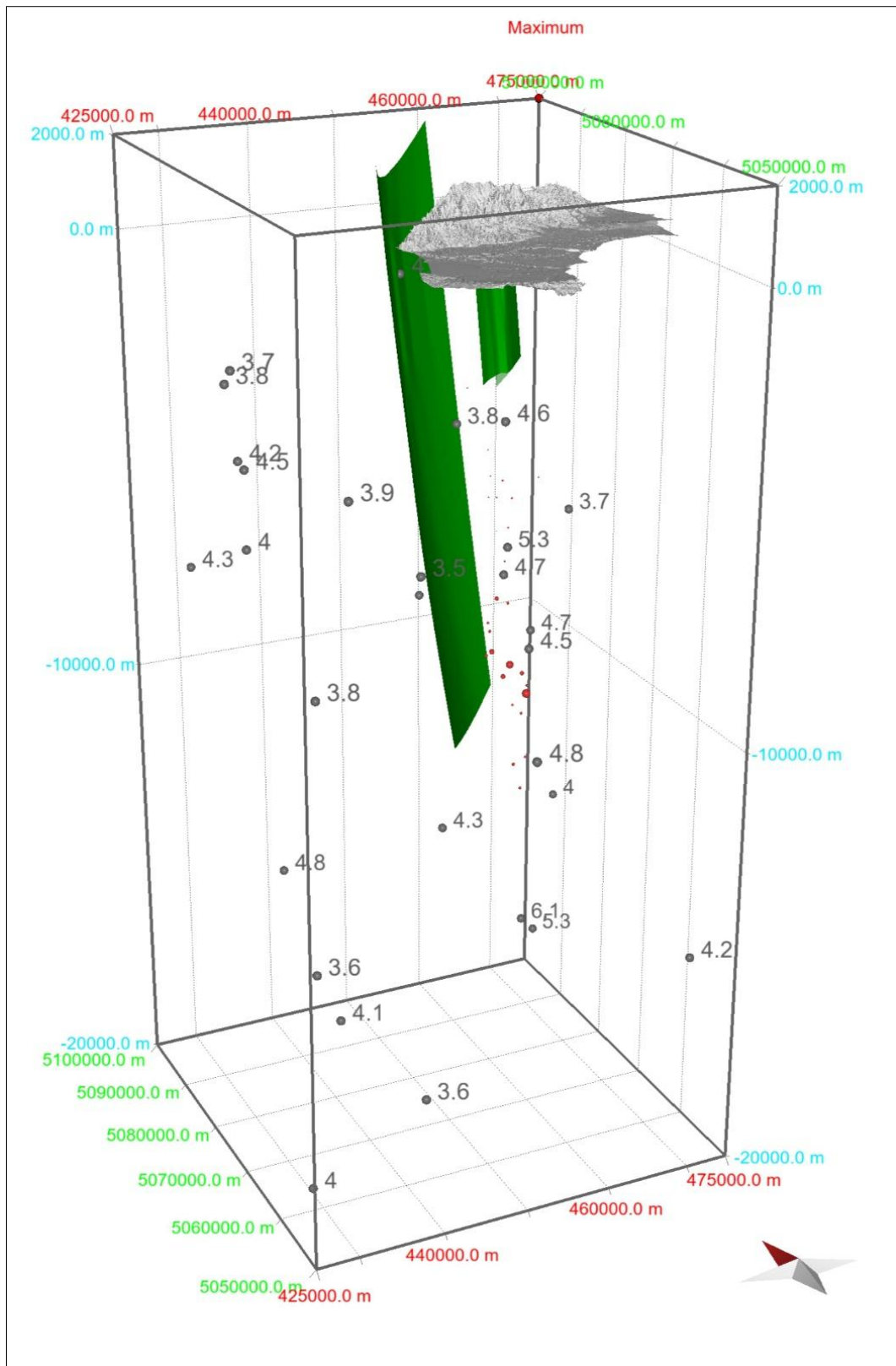
Slika 65. Prognozni geološki profili A-B, C-D i E-F u odnosu na geološke jedinice, rasjede i žarišta potresa od 1759. godine do danas (prema Herak, M. i dr., 1996.; Markušić i Herak, M., 1999.) – sive točke i potresa zagrebačke serije iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020) koji su se dogodili unutar 4 sata od glavnog i najjačeg potresa – crvene točke.

Rasjedi grupe A su prema Herak, M. (2024) reverzni i lijevi transpresijski rasjedi s pomakom po pružanju sjeveroistok – jugozapad. To se odnosi na Sjevernomedvednički (SM) i Svetonedeljski (SN) rasjed, koji su opisani u literaturi (Basili i dr., 2013; Basili i dr. 2022; Atanackov i dr., 2021; Herak, M. i dr., 2024), a koji su interpretirani na refleksijskim seizmičkim profilima 1 – 1' i 6 – 6' (PRILOG X). Rasjedi PR i BL interpretirani su na profilima 6 – 6', 9 – 9' i 10 – 10' (PRILOG X). Položaj Podsljemenskog rasjeda (PS), kojis e nastavlja po približnom pružanju rasjed BL i PR je preuzet s geoloških karata (Šikić i dr., 1977; 1979; Basch, 1983a 1983b), a naziv iz Europske baze seizmogenih rasjeda (eng. European Database of Seismogenic Faults), nastale u okviru projekta SHARE – Seismic Hazard hARmonization in Europe (Slika 15; Basili i dr., 2013; URL 2).

Grupi B pripadaju Sesevski (SE), Dubravski (DU) i Resnički (RE) rasjed, koji su interpretirani na refleksijskim seizmičkim profilima 2 – 2', 5 – 5' i 8 – 8' te Kašinski (KA) i Moravački (MO) vidljivi samo na profilu 8 – 8' (PRILOG X). Rasjedi SE, DU i RE pokazuju pozitivne cvjetne strukture, što upućuje na lokalni transpresijski režim deformacije, dok su rasjedi KA i MO vjerojatno dvije grane istog rasjeda (Kašinskog), s minimalno vidljivim pomakom na refleksijskim seizmičkim profilima, no nije poznato u kojem smjeru budući da su vidljivi samo na jednom seizmičkom profilu. Rasjedi grupe B vjerojatno su desnog karaktera (Herak, M. i dr., 2024), budući da je njihovo pružanje okomito na rasjede grupe A, ako se smatra da su te dvije grupe kogenetske.

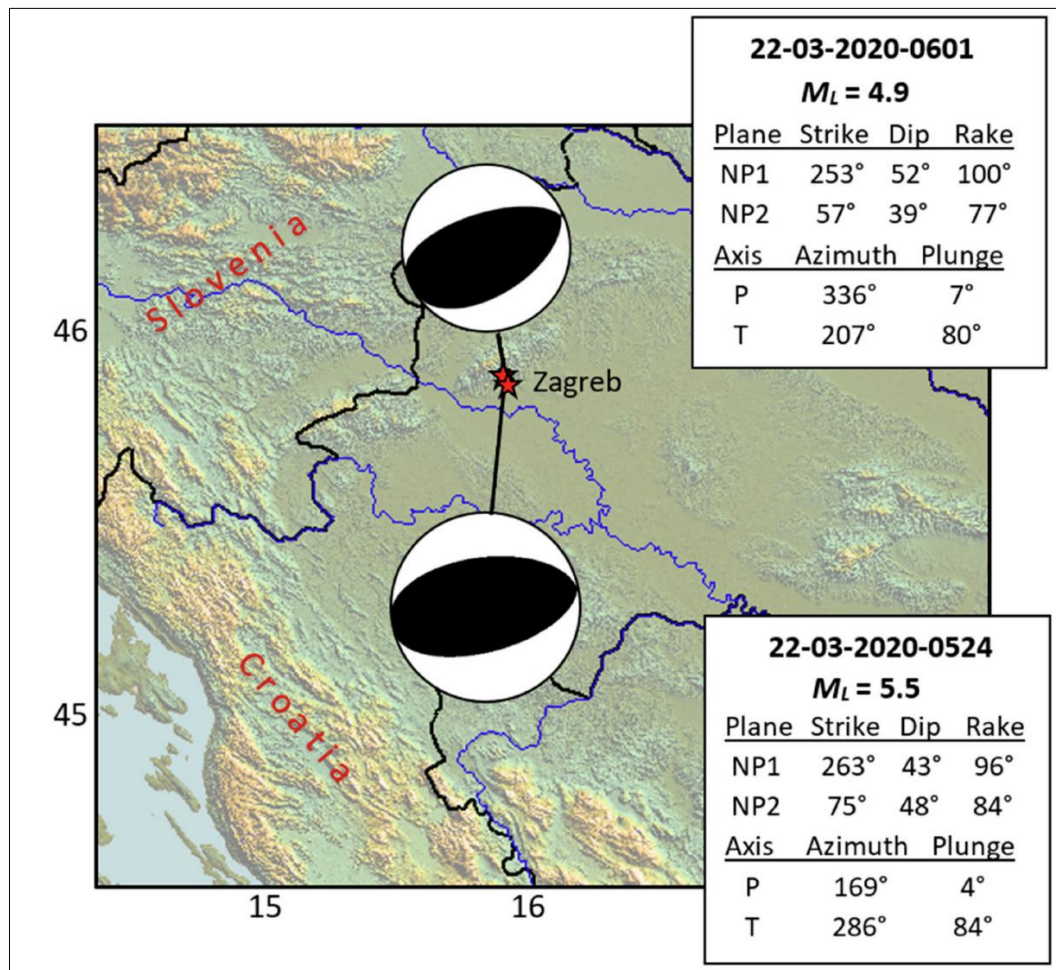
Grupi C predstavljaju reverzni i transpresijski rasjedi pružanja sjeverozapad – jugoistok, a na profilu 3 – 3' vidljive su pozitivne i negativne cvjetne strukture Lipničkog (LI), Dragonoškog (DR), Hudobiteškog (HB), Lukavečkog (LU) i Malobunskog (MB) rasjeda (PRILOG X). S obzirom na orijentaciju rasjeda na geološkim kartama (Šikić i dr., 1977; 1979; Basch, 1983a 1983b; Benček i dr., 1990) te na pružanje regionalnih rasjeda koji odvajaju Zapadnovardarsku i tektonsku jedinicu Sava suturna zona (Slika 12; Schmid i dr., 2020) rasjedi grupe B vjerojatno odgovaraju pružanju i karakteru Petrinjskog rasjeda (Slika 15; URL 2, URL 3).

Usporedbom položaja i orijentacije rasjeda grupe A s mehanizmima pomaka u žarištu potresa moguće je da je seizmogeni izvor zagrebačkog potresa iz 2020. godine Sjevernomedvednički rasjed (SM), dok neki od naknadnih potresa odgovaraju orijentaciji Podsljemenskog rasjeda (PS). To je vidljivo na slici 66, na kojoj su prikazani rasjedi grupe A u odnosu na lokacije žarišta potresa umjereno jakih do jakih potresa (M 3- 6.2) u razdoblju od 1880. do 2020. godine (Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999).



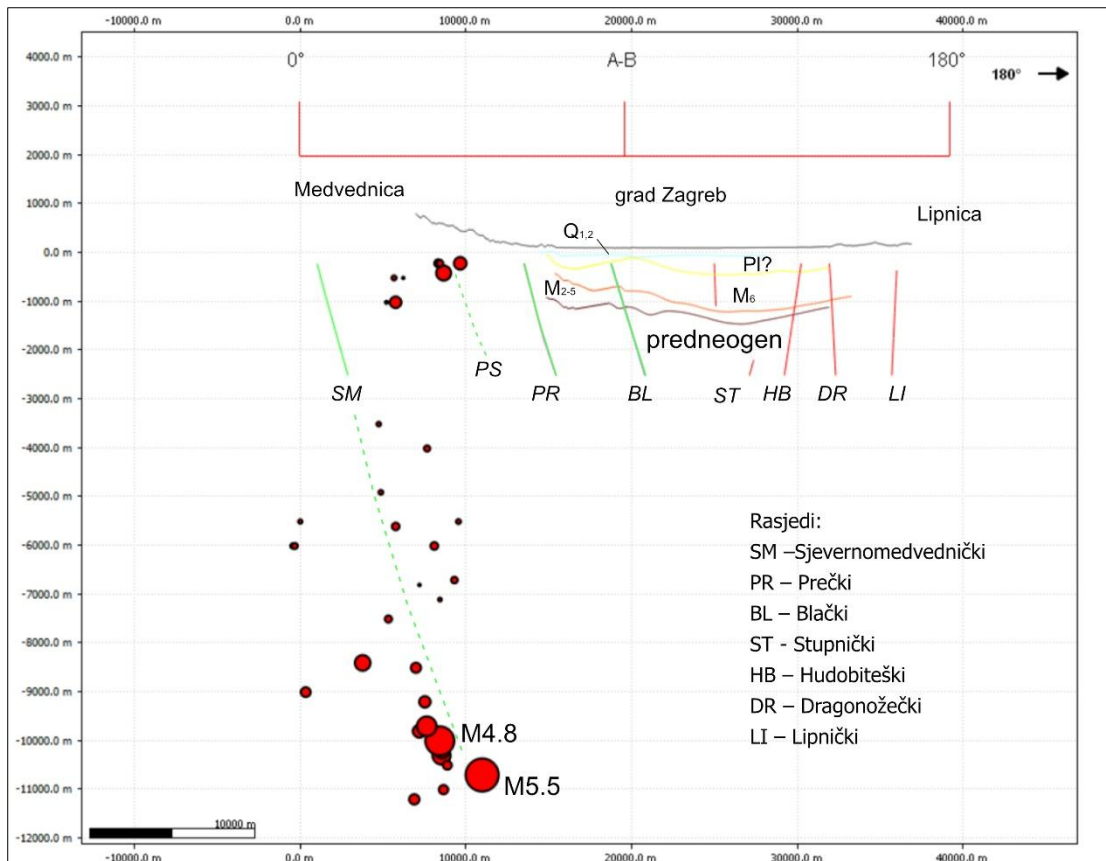
Slika 66. Seizmotektonski model šireg zagrebačkog područja s vertikalnim uvećanjem 5x. Rasjedi grupe A: Sjevernomedvednički (SM, i Podsljemenski (PO) u odnosu na epicentre umjereno jakih do jakih potresa koji su se dogodili u razdoblju od 1880. do 2024. godine (crne točke; Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999) te seriju zagrebačkih potresa iz 2020. godine (crvene točke; Markušić i dr., 2020).

Lokacije žarišta najjačih potresa (Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999) nalaze se uglavnom u predneogenskim naslagama, na dubinama 4 do 20 km, gdje nema geoloških podataka, stoga je rasjedna zona Sjevernomedvedničkog rasjeda (SM) projicirana do dubine hipocentara zagrebačkog potresa iz 2020 god (Slika 66). Slika 67 (Markušić i dr., 2020) prikazuje mehanizme pomaka u žarištu potresa glavnog zagrebačkog potresa iz 22. ožujka 2020. godine te najjačeg naknadnog potresa.

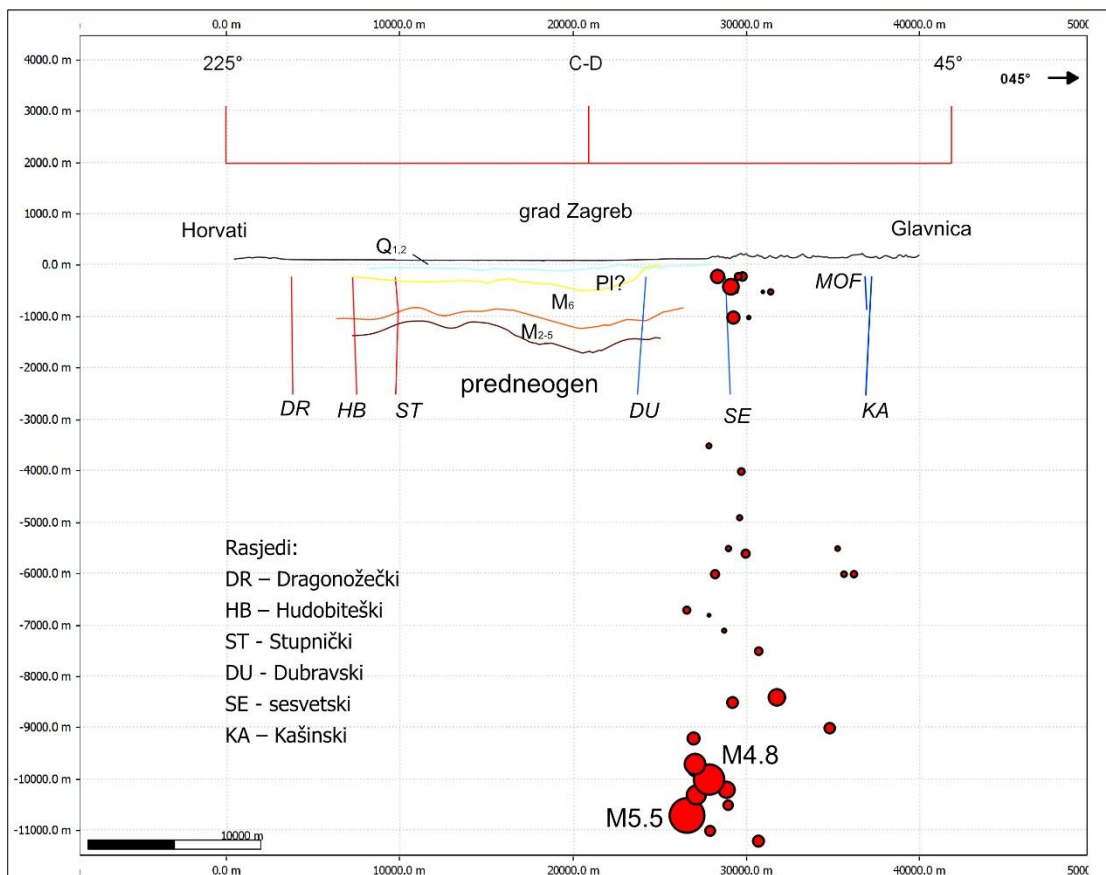


Slika 67. Mehanizmi pomaka u žarištu potresa glavnog zagrebačkog potresa iz 22. ožujka 2020. godine te najjačeg naknadnog potresa (Markušić i dr., 2020).

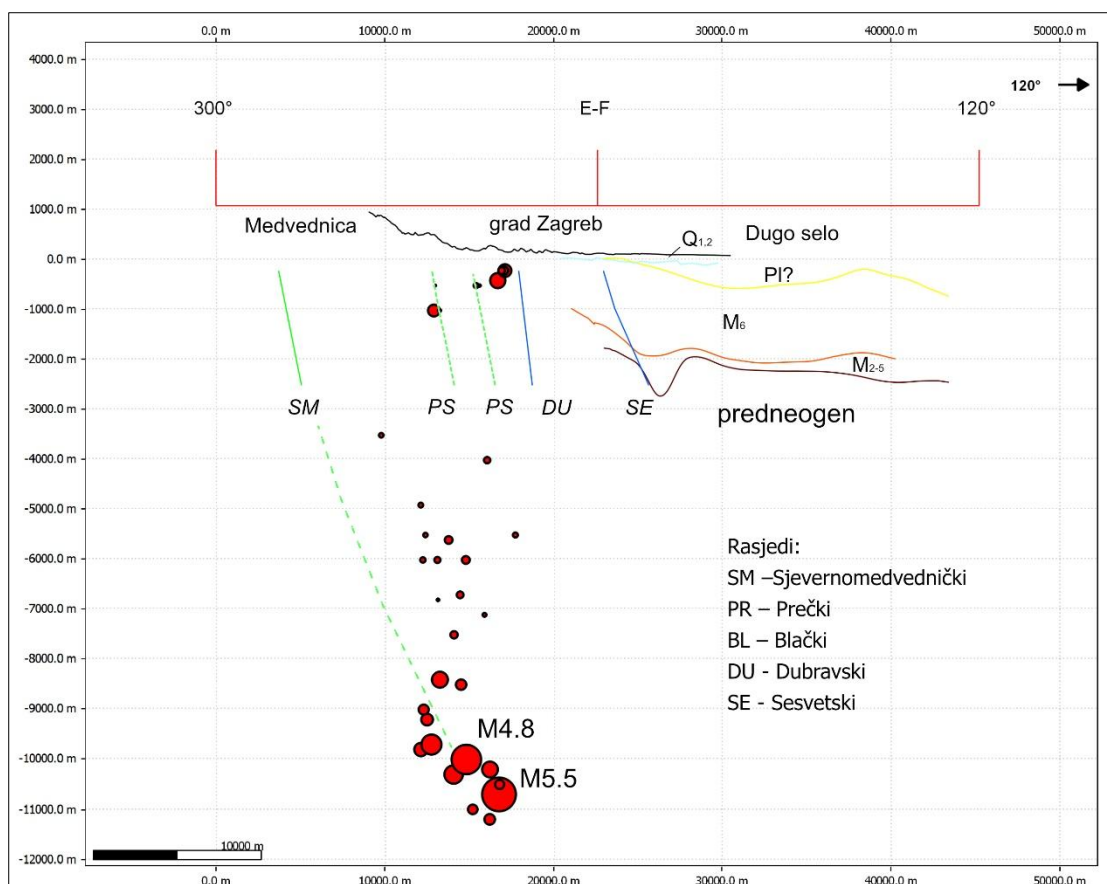
Prognozni geološki profili izrađeni su u približnom horizontalnom mjerilu 1:300.000, dok je vertikalno mjerilo uvećano 3 puta. Prikazuju usporedbu pružanja interpretiranih rasjeda u odnosu na žarišta potresa koji su se dogodili u razdoblju od 1759. godine do danas (Herak, M. i dr., 1996; Markušić i Herak, M., 1999), žarišta potresa zagrebačke serije iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020) koji su se dogodili unutar 4 sata od glavnog i najjačeg potresa te stratigrafske odnose (Slike 68, 69 i 70).



Slika 68. Prognozni geološki profil A-B.



Slika 69. Prognozni geološki profil C-D.



Slika 70. Prognozni geološki profil E-F.

Na sva tri profila vidljivo je da donjomiocenske i srednjomiocenske naslage (M_{2-5}) leže na predneogenskim naslagama. Imaju približno istu debljinu, koja je veća nego na površini terena na geološkim kartama (Šikić i dr., 1877; Basch 1983a) s obzirom na vjerojatni paleogeografski položaj u sedimentacijskom bazenu (Pavelić, 2001). Na njima leže gornjomiocenske naslage (M_6), kod kojih je razlika u debljini na površini i u profilima još izraženija. Iznad njih su naslage vjerojatno pliocenske starosti (PI?), no to nije potpuno jasno s obzirom da podina formacije Lonja, koja je interpretirana na seizmičkim refleksijskim profilima, predstavlja granicu facijesa, a ne litološku granicu (Sebe i dr., 2020). Holocenske i pleistocenske ($Q_{1,2}$) su vrlo male debljine u odnosu na ostale naslage te ih nije moguće korelirati s interpretiranim rasjedima i žarištima potresa.

Položaj žarišta potresa u prvih 4 sata zagrebačke serije potresa iz 2020. godine (Markušić i dr., 2020) na prognoznim geološkim profilima i u geološkom modelu zagrebačkog područja (crvene točke na slikama 64, 68, 69 i 70) ukazuje na činjenicu da glavni potres odgovara orijentaciji projiciranog Sjevernomedvedničkog rasjeda (SM) te da neki naknadni plitki potresi također vjerojatno odgovaraju rasjedima grupa A ili B.

Na slici 13 (Vukovski i dr., 2024) prikazan je geološki profil Hrvatskog zagorja na kojemu je izdvojeno više generacija rasjeda (D3 – D7), gdje je vidljivo da rasjedi generacije D7 u jugoistočnom dijelu profila imaju slične orijentacije kao rasjedi grupe A (Slika 59). Prema tome, zaključuje se da položaji žarišta potresa odgovaraju rasjedima grupe A, što je u skladu s lokalnim glavnim rasjedima definiranim na geološkim kartama (Šikić i dr., 1977; Basch 1983a) i regionalnim strukturama potencijalno aktivnih rasjeda (Basili i dr., 2013; Basili i dr., 2020). Mehanizmi pomaka u žarištu potresa – FPS dijagrami (*eng. Fault Plane Solutions*) za Zagrebačko seizmičko područje (Markušić i dr., 2020; Herak, M., 2024) također odgovaraju orijentacijama i karakterima rasjeda grupe A

5.4.NASTAVAK I NADOGRAĐNJA ISTRAŽIVANJA

Ovaj doktorski rad prvenstveno se bavi seizmičkim utjecajem na površini, povezivanjem geofizičkih i geoloških podataka, uz razumijevanje njihovih prostornih i dubinskih raspodjela te prirodnih procesa koji ih definiraju. Istraživanja se temelje na analizama prikupljenih i dostupnih geofizičkih i geoloških podataka, za koje su korišteni instrumenti, računalni programi i oprema koji su bili dostupni u trenutku provedbe istraživanja. Za interpretaciju geofizičkih mjerenja i geoloških podataka odabrane su odgovarajuće metode, za koje je procijenjeno da bi mogle dati najbolje rezultate, s obzirom na vrstu podataka i opreme, vremenski okvir i druge čimbenike. Podatci korišteni u ovom istraživanju su javno dostupni i raspoloživi za nastavak i nadogradnju istraživanja zagrebačkog područja. Povećanje prostorne rezolucije geofizičkih mjerenja, nadogradnja geotehničkim istraživanjima i poboljšanje metoda usporedbe geoloških i geofizičkih podataka ideje su za nastavak istraživanja na području Zagreba i u drugim područjima istraživanja.

Metoda HVSR mjerenja u trajanju od 20 minuta uz stopu uzorkovanja od 128 Hz jednim instrumentom po mjernoj točki i prostorna rezolucija od približno 500×500 metara procijenjena je dovoljnom za prikupljanje podataka o geofizičkim parametrima (Nogoshi i Igarashi, 1971; Nakamura, 1989; SESAME, 2004; Bard, 1998). U novijim istraživanjima mjerenja se izvode u trajanju od 30 do 60 minuta, što bi svakako poboljšalo kvalitetu podataka, kao i veća gustoća MASW–MAM mjerenja (Miller i dr., 1999; Park, C. B. i dr., 2007; Di Giulio i dr., 2021).

Osim toga, mjerenja usmjerenog HVSR-a mogla bi poslužiti za definiranje ili potvrdu položaja i orijentacija potencijalno aktivnih rasjeda na površini (Panzera i dr., 2013; Pischiutta i dr., 2022). Detaljne geološke karte i geološki profili, geotehnički i geofizički parametri te seizmološki podatci mogli bi se koristiti za numeričko modeliranje lokalnog seizmičkog odziva (Pitilakis, 2007; Paolucci i dr., 2021; Tallini i dr., 2024). Geotehničke istražne bušotine poput onih navedenih (Grizelj, 2011a; 2011b; Brkić, 2017) mogle bi se koristiti za usporedbu s geofizičkim mjerenjima te u svrhu prikupljanja podataka o geotehničkim parametrima i litostratigrafskim opisima naslaga.

Za istraživanje aktivnosti rasjeda, definiranje njihovih aktivnih dionica i seizmogenih izvora potrebna su opsežnija geološka, strukturogeološka i tektonska (Basili i dr., 2013; Basili i dr., 2022; Herak, M., 2024). Interpretacija potencijalno aktivnih rasjeda u ovom istraživanju temeljila se na pregledu dostupne literature i na interpretaciji refleksijskih seizmičkih profila i dubokih bušotina u južnom dijelu Zagreba i na širem zagrebačkom području (Tomljenović i Csontos, 2001; Pavičić i dr., 2019; Vukovski i dr., 2024). Za unaprjeđenje ove interpretacije potrebno je nadopuniti istraživanje tektonskim analizama kako bi se što točnije procijenili kinematski karakter pojedinih rasjeda (Trifonov i Kozhurin, 2010; Atanackov i dr., 2021).

Integracija geomorfoloških i paleoseizmoloških podataka s geofizičkim mjerenjima (HVSR i MASW-MAM) omogućila bi pouzdaniju identifikaciju aktivnih rasjednih zona i procjenu njihove seizmičnosti, što je od iznimne važnosti za nadogradnju seizmičke mikrozonacije i prostorno planiranje grada Zagreba. Geomorfometrijske analize uključuju identifikaciju morfotektonskih obilježja poput lineamenata, tektonskih terasa, aluvijalnih tijela i asimetričnih dolina, kao npr. istraživanja aktivnih rasjednih zona u Ljubljanskom bazenu i na Raškom rasjedu (Jamšek Rupnik, 2013; Jamšek Rupnik i dr., 2017; 2018), dok paleoseizmološki rovovi dodatno omogućuju dokumentiranje deformiranih sedimenata, rasjeda i koluvijalnih klinova te rekonstrukciju povijesnih potresa putem stratigrafskih odnosa i geokronoloških metoda, kao npr. na brojnim apeninskim rasjedima (Pantosti i Valensise, 1990; Pantosti i dr., 1993; Cinti i dr., 1999; 2000; 2004). U hrvatskom kontekstu, geomorfometrijska istraživanja aktivnih struktura Medvednice, Kalnika i Žumberka (Matoš i dr., 2016; 2020) potvrđuju da se morfotektonski indikatori mogu uspješno primijeniti i u područjima kompleksne geološke građe Dinarida i Panonskog bazena.

6. ZAKLJUČCI

- Analizom geofizičkih svojstava tla na području grada Zagreba provedenom na ukupno 800 mjerenja (550 postojećih i 250 novih). Određeni su ključni parametri: osnovna rezonantna frekvencija tla (f_0), srednja brzina posmičnih valova u gornjih 30 m (V_{s30}) te dubina do čvrste stijene (H_{800}), a njihovi rasponi ukazuju na značajnu prostornu varijabilnost lokalnih uvjeta tla.
- Integracijom dobivenih geofizičkih podataka s geološkim, geomorfološkim i seizmološkim podatcima izrađena je karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba. Definirano je osam seizmičkih zona koje se razlikuju prema debljini sedimentnog pokrivača (dubini osnovne stijenske podloge), brzini posmičnih valova i rezonantnim svojstvima temeljnog tla. Zone s plićom stijenskom podlogom i većim brzinama posmičnih valova povezane su s većim nagibima terena i većom učestalošću potresa, dok zone s debljim kvartarnih naslagama pokazuju niže rezonantne frekvencije i slabije mehaničke karakteristike tla.
- Analizom refleksijskih seizmičkih profila i geoloških karata identificirani su potencijalno aktivni rasjedi, razvrstani u tri glavne skupine prema orijentaciji i tipu pomaka. Rasjedi skupine A pokazuju najbolju podudarnost s mehanizmima žarišta zagrebačkog potresa iz 2020. godine, kao i s prostornom raspodjelom seizmičnosti šireg područja.
- Izrađena karta seizmičke mikrozonacije grada Zagreba s prikazanim potencijalno aktivnim rasjedima u mjerilu 1:100 000 predstavlja važan alat za prostorno planiranje i upravljanje rizikom, iako za potrebe detaljnog projektiranja zahtijeva dodatna lokalna istraživanja u skladu s Eurokodom 8 i norma za projektiranje potresne otpornosti konstrukcija. Karta pokriva administrativno područje grada površine 641 km² u približnoj prostornoj rezoluciji 500 x 500 m i prikladna je za primjenu u prostornom planiranju, upravljanje korištenjem zemljišta u svrhu razvoja urbane infrastrukture i zaštite.
- Rezultati ovog istraživanja (karte geofizičkih parametara i geološki modeli te razvijena metodologija) čine kvalitetnu osnovu za daljnju procjenu seizmičke opasnosti i rizika na području Zagreba. Buduća istraživanja trebaju obuhvatiti detaljnija geološka, geofizička i geotehnička ispitivanja, kao i numeričke analize efekata pojačanja gibanja tla te procjenu pojave likvefakcije i klizišta.

7. POPIS LITERATURE

- Aki, K. (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415–456.
- Amoroso, S., Fontana, D., Valvano, C., Wacha, L., Belić, N., Budić, M., Cinti, F. R., Civico, R., de Martini, P. M., Kordić, B., Kurečić, T., Lugli, S., Pantosti, D., Ricci, T., Tarabusi, G. i Minarelli, L. (2025): The liquefaction evidences following the 2020 Petrinja earthquake (Pannonian basin, Croatia): A full database and insights for phenomena comprehension. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/10.1177/87552930251326561>
- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Celarc, B., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., Bavec, M. i Kastelic, V. (2021): Database of Active Faults in Slovenia: compiling a new active fault database at the junction between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin tectonic domains. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.604388>
- Baize, S., Amoroso, S., Belić, N., Benedetti, L., Boncio, P., Budić, M., Cinti, F.R., Henriquet, M., Jamšek Rupnik, P., Kordić, B., Markušić, S., Minarelli, L., Pantosti, D., Pucci, S., Špelić, M., Testa, A., Valkaniotis, S., Vukovski, M., Atanackov, J., Barbača, J., Bavec, M., Brajkovič, R., Brčić, V., Caciagli, M., Celarc, B., Civico, R., De Martini, P.M., Filjak, R., Iezzi F., Moulin, A., Kurečić, T., Métois, M., Nappi, R., Novak, A., Novak, M., Pace, B., Palenik, D. i Ricci, T. (2022): Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, 230(2), 1394–1418.
- Bard, P.-Y. (1998): Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? U: *Proceedings of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Yokohama, Japan, 1251–1279.
- Barudžija, U., Blatančić, M. i Malvić, T. (2024): Grain size distribution and provenance of Holocene sand from the Sava River (Zagreb, Croatia). *Geosciences*, 14, 188. <https://doi.org/10.3390/geosciences14070188>
- Basch, O. (1983a): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Ivanić Grad*. Geološki zavod Zagreb.
- Basch, O. (1983b): *Tumač za list Ivanić Grad*. Geološki zavod Zagreb.
- Basili, R., Kastelic, V., Demircioglu, M. B., García Moreno, D., Nemser, E. S., Petricca, P., Sboras, S., Besana, A., Cabral, J., Camelbeeck, T., Caputo, R., Danciu, L., Domac, H., Fonseca, J. F. B. D., García-Mayordomo, J., Giardini, D., Glavatovic, B., Godey, S., Grünthal, G., Hatzidimitriou, P. M., Ionescu, C., Lenhardt, W., Makropoulos, K., Meletti, C., Musson, R. M. W., Nicoară, I., Oliveira, C. S., Pantosti, D., Parolai, S., Radulian, M., Reicherter, K., Rovida, A., Sesetyan, K., Stucchi, M., Šarić, A., Tondi, E., Vilanova, S., Vannucci, G. i Živčić, M. (2013). *The European database of*

- seismogenic faults (EDSF)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF>
- Basili, R., Brizuela, B., García-Mayordomo, J., Lavecchia, G., Lolli, B., Meletti, C., Pace, B., Peruzza, L., Rovida, A., Scotti, O., Tiberti, M. M., Vannoli, P., Danciu, L. i Giardini, D. (2022). European fault-source model 2020 (EFSM20). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://doi.org/10.13127/efsm20>
- Belak, M., Pamić, J. i Sremac, J. (1995a): Petrology and geochemistry of low-grade metamorphic rocks from the Medvednica Mountain (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 48(1), 1–15.
- Belak, M., Sremac, J. i Pamić, J. (1995b): Stratigraphic position of Paleozoic and Mesozoic low-grade metamorphic rocks of Medvednica Mountain (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 48(2), 131–146.
- Belak, M., Sremac, J. i Pamić, J. (1998): Glaucofane-bearing schists from the Medvednica Mountain (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 51(1), 27–38.
- Belak, M. (2005): Geološka građa Medvednice – niskometamorfni kompleks.
- Belić, N., Markušić, S., Stanko, D., Kovačić, M. i Mravlja, B. (2025): Preliminary seismic microzonation map of the City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2025.2569491>
- Benček, Đ., Bukovac, J., Magaš, N. i Šimunić, A. (1990): *Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100000, list Karlovac*. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Bisch, P., Carvalho, E., Degee, H., Fajfar, P., Fardis, M., Franchin, P., Kreslin, M., Pecker, A., Pinto, A. V. i Plumier, A. (2012). *Eurocode 8: Seismic design of buildings – worked examples*. Joint Research Centre, European Commission. <https://doi.org/10.2788/91658>
- Brkić, Ž. (2017). *The relationship of the geological framework to the Quaternary aquifer system in the Sava River valley (Croatia)*. *Geologia Croatica*, 70(3), 201–213. <https://doi.org/10.4154/gc.2017.12>
- Brlek, M., Kutterolf, S., Gaynor, S., Kuiper, K., Halamić, J., Avanić, R., Belak, M. i Neubauer, F. (2020). *Miocene syn-rift evolution of the North Croatian Basin (Carpathian–Pannonian region)*. *International Journal of Earth Sciences*, 109(8), 2775–2800. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01927-4>
- Cinti, F.R., Cucci, L., Pantosti, D., D’Addezio, G. i Meghraoui, M. (1999). Surface faulting and paleoseismicity along the Paganica–San Demetrio fault system. *Tectonophysics*, 308, 109–125.
- Cinti, F.R., Cucci, L., Pantosti, D., D’Addezio, G. i Meghraoui, M. (2000). Earthquake-induced ground ruptures and paleoseismicity in the central Apennines. *Journal of Geophysical Research*, 105(B3), 6653–6670.

- Cinti, F.R., Moro, M., Pantosti, D., Cucci, L. i D'Addezio, G. (2004). Evidence for surface faulting in the 1915 Fucino earthquake. *Geophysical Journal International*, 157, 1045–1058.
- Csontos, L. i Nagymarosy, A. (1998): The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions. *Tectonophysics*, 297, 51–71. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00163-2)
- Csontos, L., Nagymarosy, A., Horváth, F. i Kovác, M. (2005): Tertiary evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens.
- Cvetković, M. (2013): Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogenskokvartarnoga megaciklusa u Savskoj depresiji. Doktorski rad, RGNF, Zagreb.
- Del Monaco, F., Tallini, M., de Rose, C. i Durante, F. (2013): HVNSR survey in historical downtown L'Aquila (central Italy): site resonance properties vs. subsoil model. *Engineering Geology*, 158, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.03.008>
- Di Giulio, G., Cultrera, G., Cornou, C., Bard, P.-Y. i Al Tfaily, B. (2021): Quality assessment for site characterization at seismic stations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(12), 4643–4691. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01137-6>
- Dix, C. H. (1955): Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics*, 20(1), 68–86.
- Đapo, A., Pavasović, M., Pribičević, B. i Prelogović, E. (2020): Combined space–time analysis of geodetic and geological surveys for evaluation of the reliability of the position of points in the geodynamic network of the City of Zagreb. *Geosciences*, 10(12), 1–20. <https://doi.org/10.3390/geosciences10120498>
- Đurđanović, M. (1973): Konodontna fauna paleozojskih i trijaskih stijena Medvednice. *Geološki vjesnik*, 26, 11–22.
- Erak, M. (2018): Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske. RGNF, Zagreb.
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Skaberne, D., Čar, J. i Vrabc, M. (1998): Miocene–Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault system. *Tectonophysics*, 297(1–4), 263–286.
- GKRH (2009): *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300 000*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Grizelj, A. (2011a): Izvješće o sedimentno-petrografskim analizama uzoraka iz bušotine Cvjetni trg (S-2). Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Grizelj, A. (2011b): Izvješće o sedimentno-petrografskim analizama uzoraka iz bušotine Zagreb Lanište I (AZL-1). Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Grizelj, A., Bakrač, K., Horvat, M., Avanić, R. i Hećimović, I. (2017): Occurrence of vivianite in alluvial Quaternary sediments in the area of Sesvete (Zagreb, Croatia). *Geologia Croatica*, 70(1), 41–52. <https://doi.org/10.4154/gc.2017.01>

- Gverić, Z., Tomašić, N., Durn, G. i Rubinić, V. (2024): The influence of weathering and pedogenesis on the geochemical record of Miocene marls and Plio-Quaternary sediments, Medvednica Mt., Croatia. *Geologia Croatica*, 77(3), 31–323. <https://doi.org/10.4154/gc.2024.17>
- Haas, J., Mioč, P., Pamić, J., Tomljenović, B., Árkai, P., Bérczi-Makk, A., Koroknai, B., Kovács, S. i Rálišch-Felgenhauer, E.. (2000): Complex structural pattern of the Alpine–Dinaridic–Pannonian triple junction. *International Journal of Earth Sciences*, 89(2), 377–389.
- Halamić, J. i Belak, M. (ur.) (2022): *Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:50 000 – Tumač za Požešku goru*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Heath, D. C., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M. i Smoczyk, G. M. (2020): A global hybrid Vs30 map with a topographic-slope-based default and regional map insets. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P96HFVXM>
- Herak, D., Herak, M. i Tomljenović, B. (2009): Seismicity and earthquake focal mechanism in north-western Croatia. *Tectonophysics*, 465, 212–220.
- Herak, M. (2024): Croatian catalogue and database of focal mechanism solutions and stress field properties. *Geofizika*, 41, 81–123.
- Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S. i Sović, I. (2011): Karta potresnih područja Republike Hrvatske.
- Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1996): Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992. *Terra Nova*, 8(1), 86–94.
- Herak, M., Herak, D. i Orlić, N. (2021): Properties of the Zagreb 22 March 2020 earthquake sequence. *Geofizika*, 38(2), 93–116. <https://doi.org/10.15233/gfz.2021.38.6>
- Herak, M., Miklin, Ž., Allegretti, I., Dasović, I., Fiket, T., Ivančić, I., Markušić, S., Prevolnik, S., Stanko, D. i Šavor Novak, M. (2013): Seizmičko i geološko mikrozoniranje zapadnog dijela podsljemenske zone. PMF Zagreb.
- HGI (2026): *Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:50 000 – šire područje Medvednice (u pripremi)*.
- Horváth, F., Bada, G., Szafián, P., Tari, G., Ádám, A. i Cloetingh, S. (2015): Evolution of the Pannonian Basin and its geothermal resources. *Tectonophysics*, 646, 4–33. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.01.017>
- Im, K. i Avouac, J. P. (2023): Cascading foreshocks, aftershocks and earthquake swarms in a discrete fault network. *Geophysical Journal International*, 235(1), 831–852. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad278>
- ISSMGE (1999): *Manual for zonation on seismic geotechnical hazards (revised version)*. Tokyo. Japanese Geotechnical Society.

- Ivančić, I., Herak, D., Herak, M., Allegretti, I., Fiket, T., Kuk, K., Markušić, S., Dasović, I., Prevolnik, S., Sović, I. i Vlahović, G. (2018): Seismicity of Croatia in the period 2006–2015. *Geofizika*, 35, 69–98.
- Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2006): Seismicity of Croatia in the period 2002–2005. *Geofizika*, 23, 87–103.
- Jamšek Rupnik, P. (2013). Active tectonics and geomorphic evidence in the Ljubljana Basin. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Jamšek Rupnik, P., Benedetti, L., Kastelic, V., Vrabc, M., Štampfl, L. i Furlan, M. (2017). Geomorphic markers of active faulting in Slovenia. *Geomorphology*.
- Jamšek Rupnik, P., Reicherter, K., Kastelic, V., Vrabc, M., Bavec, M. i Jež, J. (2018). Paleoseismological investigations along the Raša Fault (Slovenia). *Tectonophysics*.
- Jurak, V., Ortolan, Ž., Ivšić, T., Herak, M., Šumanovac, F., Prevolnik, S., Dasović, I., i Markušić, S. (2008): Geotehničko i seizmičko mikrozoniranje grada Zagreba – pokušaji i ostvarenje.
- Kovačić, M. (1995): Litostratigrafska i paleogeografska analiza neogenskih naslaga zapadnog dijela Savske depresije. Doktorska disertacija, RGNF Zagreb.
- Kovačić, M. i Grizelj, A. (2006): Provenance of the Upper Miocene clastic material in the southwestern part of the Pannonian Basin. *Geologia Carpathica*, 57(6), 495–510.
- Larva, O., Brkić, Ž., Briški, M., Seidenfaden, I. K., Koch, J., Stisen, S. i Refsgaard, J. C. (2022): Prediction of groundwater levels in the Zagreb aquifer. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128433>
- Levson, V. M., Matysek, P. F., Monahan, P. A. i Watts, B. D. (2003): *Earthquake hazard mapping in British Columbia*.
- Mandic, O., Kurečić, T., Neubauer, T. A. i Harzhauser, M. (2015): Stratigraphic and palaeogeographic significance of lacustrine molluscs. *Geologia Croatica*, 68(3), 179–207. <https://doi.org/10.4154/gc.2015.15>
- Markušić, S. i Herak, M. (1999): Seismic zoning of Croatia. *Natural Hazards*, 18, 269–285.
- Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T., Belić, N., Penava, D. i Kordić, B. (2020): The Zagreb earthquake (22 March 2020). *Geosciences*, 10(7), 252.
- Markušić, S., Stanko, D., Penava, D., Ivančić, I., Bjelotomić Oršulić, O., Dasović, I., Prevolnik, S., Korbar, T., Verić, I., Herak, M., Herak, D., Tomljenović, B., Korbar, B., Cvijanović, D. i Vlahović, G. (2021): Destructive Petrinja earthquake (Croatia) in 2020. *Remote Sensing*, 13(6), 1095. <https://doi.org/10.3390/rs13061095>
- Markušić, S., Stanko, D., Sović, I., Kovačić, M., Mravlja, B. i Žilić, I. (2025): Reanalysis of historical earthquakes for hazard assessment. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 69, 2025. DOI:10.1007/s11200-024-0820-1

- Márton, E., Fodor, L., Jelen, B., Márton, P., Rifelj, H. i Kevrić, R. (2002): Miocene to Quaternary deformation in NE Slovenia: complex paleomagnetic and structural study. *Geologica Carpathica*, 53(4), 209–222.
- Márton, E., Fodor, L., Jelen, B., Márton, P., Rifelj, H., Kevrić, R. i Vrabc, M. (2006): Miocene to Quaternary deformation in NE Slovenia: complex paleomagnetic and structural study. *Acta Geologica Hungarica*, 49(3), 289–312. <https://doi.org/10.1556/AGeol.49.2006.3.3>
- Matoš, B., Prelogović, E. i Kuk, V. (2016). Morphotectonic indicators of active deformation in northwestern Croatia. *Geologia Croatica*.
- Matoš, B., Prelogović, E. i Vlahović, I. (2020). Active tectonics of the Dinarides and Pannonian Basin: geomorphometric evidence. *Quaternary International*.
- Mencin Gale, E. (2021): Pliocene to Quaternary sedimentary evolution of intramountain basins at the junction of Alps, Dinarides and the Pannonian Basin. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani.
- Mihalić, S., Oštrić, M. i Krkač, M. (2011): Seizmičko mikrozoniranje: pregled načela i prakse. *Geofizika*, 28(1), 5–20.
- Miklin, Ž., Mlinar, Ž., Brkić, Ž. i Hećimović, I. (2007): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone mjerila 1:5000 (DIGK – faza I). Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Miklin, Ž., Podolszki, L., Novosel, T., Sokolić, Ž., Sokolić, I., Ofak, J., Padovan, B. i Zailac, K. (2018): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone mjerila 1:5000 (DIGK – faza II). Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Miklin, Ž., Podolszki, L., Novosel, T., Sokolić, I., Ofak, J., Padovan, B. i Sović, I. (2019): Studija: seizmička i geološka mikrozonacija dijela Grada Zagreba. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B. i Ivanov, J. M. (1999): Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. *The Leading Edge*, 18(12), 1392–1396. <https://doi.org/10.1190/1.1438226>
- Mioč, P. (1997): *Geology of the Croatian part of the Pannonian Basin*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Mišur, I. (2017): Tektonska evolucija Medvednice i okolnog područja na temelju strukturnih, petrografskih i geokemijskih analiza. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nogoshi, M. i Igarashi, T. (1971): On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2). *Journal of the Seismological Society of Japan*, 24, 26–40.
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1).

- Obermeier, S. F. (1994): Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, 94-663, 1–56.
- Okada, H. (2003): *The microtremor survey method*. Society of Exploration Geophysicists.
- Padovan, B., Podolszki, L., Sokolić, I., Sović, I., Novosel, T., Pivčević, N. i Kosović, I. (2021): Seismic and geological zonation of the part of the City of Zagreb area. U: *Proceedings of the 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering (1CroCEE)*, Zagreb.
- Pantosti, D. i Valensise, G. (1990). Fault trenching and its application to paleoseismology in Italy. *Journal of Geophysical Research*, 95(B8), 15363–15376.
- Pantosti, D., Schwartz, D.P. i Valensise, G. (1993). Paleoseismology along the 1980 Irpinia earthquake fault. *Annali di Geofisica*, 36, 19–28.
- Panzer, F., Lombardo, G., D’Amico, S. i Galea, P. (2013): Speedy techniques to evaluate seismic site effects in particular geomorphologic conditions. U: *Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.5772/55439>
- Pamić, J. (1985/86): Metamorphic and igneous rocks of the Medvednica Mountain (NW Croatia) and their geotectonic significance. *Acta Geologica*, 15–16, 1–44.
- Pamić, J. i Tomljenović, B. (1998): Basic geological data from the Croatian part of the Zagorje–Mid-Transdanubian Zone. *Acta Geologica Hungarica*, 41(4), 389–400.
- Paolucci, R., Aimar, M., Ciancimino, A., Dotti, M., Foti, S., Lanzano, G., Mattevi, P., Pacor, F. i Vanini, M. (2021): Checking the site categorization criteria and amplification factors of Eurocode 8. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(11), 4199–4234. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01118-9>
- Park, C. B., Miller, R. D. i Xia, J. (1999): Multichannel analysis of surface waves. *The Leading Edge*, 18(10), 1392–1396. <https://doi.org/10.1190/1.1438360>
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J. i Ivanov, J. (2007): Multichannel analysis of surface waves (MASW) – active and passive methods. *The Leading Edge*, 26, 60–64. <https://doi.org/10.1190/1.2431832>
- Park, Y. i Agnon, A. (2019): Geodynamic implications of lithospheric deformation and seismicity patterns in the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 762, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.012>
- Pavelić, D., Avanić, R., Bakrač, K. i Vrsaljko, D. (2001): Early Miocene braided river and lacustrine sedimentation in the Kalnik Mountain area. *Geologica Carpathica*, 52(6), 375–386.
- Pavelić, D. i Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455–469. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.01.026>

- Pavičić, I., Rukavina, D., Matoš, B. i Tomljenović, B. (2019): Interpretation of the tectonic evolution of the western part of the Sava Depression. *Journal of Maps*, 15(2), 733–743.
- Philip, G. M. i Watson, D. F. (1982): A precise method for determining contoured surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 22, 205–212.
- Pischiutta, M., Petrosino, S. i Nappi, R. (2022): Directional amplification and ground motion polarization. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.999222>
- Pitilakis, K. (2007): *Earthquake geotechnical engineering*. Springer.
- Poljak, M. (2017): Geološka karta vzhodnega dela Krške kotline 1:25 000: tolmač. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Pollak, D., Gulam, V., Novosel, T., Avanić, R., Tomljenović, B., Hećej, N., Terzić, J., Stipčević, J., Bačić, M. i Kurečić, T. (2021): Inventory of coseismic ground failures related to the Petrinja earthquake series. *Geologia Croatica*, 74(2), 189–208.
- Prelogović, E. (1970). Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. *Geološki vjesnik*.
- Rukavina, D. (2021). Riftne tektonostratigrafske sekvencije donjeg i srednjeg miocena u istočnom dijelu Dravske depresije: primjena za procjenu potencijala geološkog uskladištenja ugljikovog dioksida (doktorska disertacija). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Saftić, B., Velić, J., Sztanó, O., Juhász, G. i Ivković, Ž. (2003): Tertiary subsurface facies and hydrocarbon reservoirs in the SW Pannonian Basin. *Geologia Croatica*, 56(1), 101–122. <https://doi.org/10.4154/232>
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. i Ustaszewski, K. (2008): Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139–183. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1247-3>
- Schmid, S. M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B. i Ustaszewski, K. (2020): Tectonic units of the Alpine collision zone. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>
- Sebe, K., Kovačić, M., Magyar, I., Krizmanić, K., Špelić, M., Bigunac, D., Sütő-Szentai, M., Kovács, A., Bakrač, K., Hajek-Tadesse, V., Troškot-Čorbić, T. i Sztanó, O. (2020): Correlation of upper Miocene–Pliocene Lake Pannon deposits. *Geologia Croatica*, 73(3), 177–195. <https://doi.org/10.4154/gc.2020.12>
- SESAME (2004): *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations*.
- Sheriff, R. E. i Geldart, L. P. (1995): *Exploration seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.

- Sremac, J., Belak, M. i Pamić, J. (1983): Graptolite fauna from low-grade metamorphic rocks of Medvednica. *Geološki vjesnik*, 36, 23–32.
- Stanko, D. i Markušić, S. (2020): An empirical relationship between resonance frequency and VS30 for Croatia. *Natural Hazards*, 103(3). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04152-z>
- Stanko, D., Markušić, S., Gazdek, M., Sanković, V., Slukan, I. i Ivančić, I. (2019): Assessment of seismic site amplification in Ivanec. *Geosciences*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/geosciences9070312>
- Stanko, D., Markušić, S., Korbar, T., & Ivančić, J. (2020). Estimation of the High-Frequency Attenuation Parameter Kappa for the Zagreb (Croatia) Seismic Stations. *Applied Sciences*, 10(24), 8974. <https://doi.org/10.3390/app10248974>
- Stanko, D., Markušić, S., Strelec, S. i Gazdek, M. (2016): Seismic response of Trakošćan Castle. *Environmental Earth Sciences*, 75.
- Stanko, D., Markušić, S., Strelec, S. i Gazdek, M. (2017a): Equivalent-linear site response. *Environmental Earth Sciences*, 76.
- Stanko, D., Markušić, S., Strelec, S. i Gazdek, M. (2017b): HVSR analysis in Varaždin. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92.
- Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M. i Todorčić, M. (2020): Zagreb earthquake 2020 – damage report. *Građevinar*, 72(10), 843–867. <https://doi.org/10.14256/JCE.2966.2020>
- Šikić, K., Basch, O. i Šimunić, A. (1977): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 – list Zagreb*.
- Šikić, K., Basch, O. i Šimunić, A. (1979): *Tumač za list Zagreb*.
- Špelić, M. (2023): Dinamika taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u Dravskoj depresiji. Doktorska disertacija, RGNF Zagreb.
- Tallini, M., Morana, E., Guerriero, V., Di Giulio, G. i Vassallo, M. (2024): Seismic microzonation mapping in urban planning. *Sustainability*, 16. <https://doi.org/10.3390/su16198401>
- Tari, V. i Pamić, J. (1998): Geodynamic evolution of the northern Dinarides. *Tectonophysics*, 297, 269–281.
- Tomljenović, B. i Csontos, L. (2001): Neogene–Quaternary structures between Alps, Dinarides and Pannonian Basin. *International Journal of Earth Sciences*, 90(3), 560–578.
- Tomljenović, B., Csontos, L., Márton, E. i Márton, P. (2008): Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides. *Geologica Carpathica*, 59(1), 43–58. <https://doi.org/10.2478/v10096-008-0003-0>
- Trifonov, V. G. i Kozhurin, A. I. (2010): Study of active faults. *Geotectonics*, 44(6), 510–528.

- Uglešić, J. S., Markušić, S., Padovan, B. i Stanko, D. (2021): Ground motion amplification Zagreb earthquake. *Geofizika*, 38(2), 147–173. <https://doi.org/10.15233/gfz.2021.38.9>
- Urumović, K., Hlevnjak, B. i Prelogović, E. (1990): Quaternary aquifer complex in Varaždin area. *Geološki vjesnik*, 43, 149–158.
- Varnes, D. J. (1984): *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO.
- Veinović, Ž., Domitrović, D. i Lovrić, T. (2007): Pojava likvefakcije na području Zagreba. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 19(1), 111–120.
- Velić, I. i Vlahović, I. (ur.) (2009): *Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300000*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Velić, J., Weisser, M., Saftić, B., Vrbanac, B. i Ivković, Ž. (2002): Petroleum-geological characteristics in the Croatian Pannonian Basin. *Nafta*, 53(6–7), 239–249.
- Vukovski, M., Špelić, M., Kukoč, D., Troškot-Čorbić, T., Grgasović, T., Slovenec, D. i Tomljenović, B. (2024): Tectonic evolution of the Dinarides–Alps–Pannonian Basin transition zone. *Swiss Journal of Geosciences*, 117. <https://doi.org/10.1186/s00015-024-00464-5>
- Wathelet, M., Chatelain, J.-L., Cornou, C., Di Giulio, G., Guillier, B., Ohrnberger, M. i Savvaidis, A. (2020): Geopsy software for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, 91. <https://doi.org/10.1785/0220190360>
- Watson, D. F. i Philip, G. M. (1985): A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geoprocessing*, 2, 315–327.
- Wu, J., Cai, Y., Li, W. i Feng, Q. (2017): Coulomb stress triggering study. *Applied Sciences*, 7(1), 88. <https://doi.org/10.3390/app7010088>
- Wu, Z. i Hu, M. (2024): Definitions and classification schemes for active faults. *Geosciences*, 14(3), 68. <https://doi.org/10.3390/geosciences14030068>
- Yamazaki, F. i Maruyama, Y. (2011): Seismic microzonation. U: Gupta, H. K. (ur.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Springer.
- Yilmaz, Ö. (2001): *Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data*. Society of Exploration Geophysicists.

Mrežni izvori:

URL 1: Osnovni podatci o geografskom položaju i demografiji Zagreba [<https://hr.wikipedia.org/wiki/Zagreb#Stanovni%C5%A1tvo>], pristupljeno 24.06.2026.

- URL 2: SHARE – Seismic Hazard Harmonization in Europe – internetski servis za pregled karatografskih podataka [https://edsf13.ingv.it/SHARE_WP3.2_Database.html] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 3: EFSM20 – European Fault-Source Model – internetski servis za pregled karatografskih podataka [<https://www.seismofaults.eu/efsm20>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 4: EGMS – European Ground Motion Service – internetski servis za pregled karatografskih podataka [<https://egms.land.copernicus.eu/>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 5: Global Hybrid Vs30 Map Viewer – internetski servis za pregled karatografskih podataka [<https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 6: Seizmička karta Republike Hrvatske – internetski servis za pregled karatografskih podataka [<http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 7: Zagreb Geoportal – internetski servis za pregled karatografskih podataka [<https://geoportal.zagreb.hr/Karta>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 8: Grilla – softver za obradu seizmoloških mjerenja [<http://www.tromino.it/soft-grilla.htm>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 9: Tromino – instrument za seizmološka mjerenja [<https://moho.world/en/tromino>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 10: Seisimager – softver za obradu seizmoloških mjerenja [<https://www.geometrics.com/software/seisimager-2d/>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 11: Geometrics – instrument za seizmološka mjerenja [<https://www.geometrics.com/product/atom-passive-seismic-system/>] pristupljeno 24.06.2026.
- URL 12: IDW – alat unutar računalnog programa ArcGIS Pro [<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm>] pristupljeno 15.04.2026.
- URL 13: Weigthed Sum – alat unutar računalnog programa ArcGIS Pro [<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/weighted-sum.htm>] pristupljeno 24.06.2026.

URL 14 Internetska stranica projekta A cross-border approach to improve landslide risk assessment using LiDAR-based landslide inventory (LADY) [<https://www.hgi-cgs.hr/lady/>] pristupljeno 24.06.2026.

8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH RADOVA

Nikola Belić rođen je 29. prosinca 1979. god. u Zagrebu, gdje je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 2008. god. na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr. sc. Brune Tomljenovića i prof. dr. sc. Marijana Kovačića na temu: *Analiza paleonaprezanja na temelju rasjeda i smičnih pukotina u mezozojskim i kenozojskim stijenama Ivanšćice*. 2012. god. je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr. sc. Dubravka Gajskog završio sveučilišni specijalistički studij *Geoinformacijski sustavi – praktične primjene* te obranio završni rad pod nazivom: *Karta pokrova zemljišta na temelju digitalnih ortofoto snimaka područja grada Zagreba*. Od 2013. do 2015. god. bio je zaposlen u trgovačkom društvu Geotehnički studio d.o.o. iz Zagreba, a od 2015. godine zaposlen je na Hrvatskom geološkom institutu u Zagrebu. Član je Hrvatskoga geološkog društva, Hrvatskoga kartografskog društva i EuroGeoSurvey GeoHeritage Group.

Popis objavljenih znanstvenih radova u WoS-u:

- Amoroso, S., Fontana, D., Valvano, C., Wacha, L., Belić, N., Budić, M., Cinti, F. R., Civico, R., De Martini, P. M., Kordić, B., Kurečić, T., Lugli, S., Pantosti, D., Ricci, T., Tarabusi, G. i Minarelli, L. (2025): The liquefaction evidences following the 2020 Petrinja earthquake (Pannonian Basin, Croatia): A full database and insights for phenomena comprehension. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/10.1177/87552930251326561>
- Baize, S., Amoroso, S., Belić, N., Benedetti, L., Boncio, P., Budić, M., Cinti, F.R., Henriquet, M., Jamšek Rupnik, P., Kordić, B., Markušić, S., Minarelli, L., Pantosti, D., Pucci, S., Špelić, M., Testa, A., Valkaniotis, S., Vukovski, M., Atanackov, J., Barbača, J., Bavec, M., Brajković, R., Brčić, V., Caciagli, M., Celarc, B., Civico, R., De Martini, P.M., Filjak, R., Iezzi F., Moulin, A., Kurečić, T., Métois, M., Nappi, R., Novak, A., Novak, M., Pace, B., Palenik, D. i Ricci, T. (2022): Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, 230(2), 1394–1418.
- Belić, N., Markušić, S., Stanko, D., Kovačić, M. i Mravlja, B. (2025): Preliminary seismic microzonation map of the City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2025.2569491>
- Brčić, V., Baranyi, V., Glumac, B., Špelić, M., Fuček, L., Kukoč, D., Petrinjak, K., Mišur, I., Budić, M., Palenik, D., Belić, N., Kamenski, A., Martinčević Lazar, J., Šuica, S., Grizelj, A., Ciglencečki, I. i Dautović, J. (2024): Impact of the Jenkyns Event on shallow-marine carbonates and coeval emerged paleoenvironments: the Plitvice Lakes region,

Croatia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 655, 112519. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2024.112519>

Henriquet, M., Benedetti, L., Baize, S., Kordić, B., Metois, M., Maslac Soldo, J., Belić, N., Špelić, M., Budić, M., Pantosti, D., Cinti, F., Pucci, S., Testa, A., Boncio, P., Pace, B., Jamšek Rupnik, P., Moulin, A., Civico, R., i koautori. (2026): Unraveling the kinematics and morphotectonics of the Petrinja fault (Croatia), source of the 2020 M6.4 earthquake. *Tektonika*, 4(1), 1–61. <https://doi.org/10.55575/tektonika2026.4.1.104>

Korbar, T., Markušić, S., Hasan, O., Fuček, L., Brunović, D., Belić, N., Palenik, D. i Kastelic, V. (2020): Active tectonics in the Kvarner region (External Dinarides, Croatia) – an alternative approach based on focused geological mapping, 3D seismological and shallow seismic imaging data. *Frontiers in Earth Science*, 8, 582797. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.582797>

Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T., Belić, N., Penava, D. i Kordić, B. (2020): The Zagreb (Croatia) M5.5 earthquake on 22 March 2020. *Geosciences*, 10(7), 252.

Pollak, D., Gulam, V., Novosel, T., Avanić, R., Tomljenović, B., Hećej, N., Terzić, J., Stipčević, J., Bačić, M., Kurečić, T., Dolić, M., Bostjančić, I., Wacha, L., Kosović, I., Budić, M., Vukovski, M., Belić, N., Špelić, M., Brčić, V., Barbača, J., Kordić, B., Palenik, D., Filjak, R., Frangen, T., Pavić, M., Urumović, K., Sečanj, M., Matoš, B., Govorčin, M., Kovačević, M. S. i Librić, L. (2021): The preliminary inventory of coseismic ground failures related to December 2020–January 2021 Petrinja earthquake series. *Geologia Croatica*, 74(2), 189–208.

Stanko, D., Sović, I., Belić, N. i Markušić, S. (2022): Analysis of local site effects in the Međimurje region (North Croatia) and its consequences related to historical and recent earthquakes. *Remote Sensing*, 14, 4831. <https://doi.org/10.3390/rs14194831>

Walburger, A., Rollins, K. M., Amoroso, S., Di Giulio, G., Belić, N., Vassallo, M., Tarabusi, G., Urumović, K., Minarelli, L. i Robinson, B. (2026): Instrumented 74-mm dynamic cone penetration and shear wave velocity tests for assessing liquefaction in gravelly soils subjected to the 2020 Petrinja earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 152(5), 04026021. <https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-13931>

Popis objavljenih geoloških karata:

Brčić, V., Fuček, L., Budić, M., Mišur, I., Špelić, M., Palenik, D., Petrinjak, K., Wacha, L., Kurečić, T., Vukovski, M., Belić, N., Filjak, R. i Kamenski, A. (2025): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 – Nacionalni park Plitvička jezera. Zagreb: Hrvatski geološki institut.

Brčić, V., Korbar, T., Fuček, L., Palenik, D., Belić, N. i Wacha, L. (2019): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske – Nacionalni park Kornati, mjerilo 1:50 000. Zagreb: Hrvatski geološki institut.

Fuček, L., Korbar, T., Palenik, D., Brčić, V., Kurečić, T. i Belić, N. (2022): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 – Park prirode Biokovo. Zagreb: Hrvatski geološki institut.

Popis sažetaka sa znanstvenih i stručnih skupova:

Belić, N., Di Giulio, G., Vassallo, M., Amoroso, S., Rollins, K., Tarabusi, G., Minarelli, L., Špelić, M., Filjak, R. i Wacha, L. (2024): Geological and geophysical interpretation of gravel liquefaction site effects following the Mw 6.4 Petrinja (Croatia) earthquake // 4th European Regional Conference of IAEG, Dubrovnik, 8.–12. 10. 2024.

Belić, N., Ferić, P., Abatsiz, I., Kjaergaard, L. J., Pedersen, C. B., Rasmussen, E. S., Špelić, M., Budić, M., i Sokač, I. (2019). Establishment of a Basic Interactive Interpretation and Data Correlation System (IIDCS) at the Croatian Geological Survey. 6th // 6. Hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem - Knjiga sažetaka/ 6th Croatian Geological Congress with international participation - Abstracts Book / Horvat, Marija ; Matoš, Bojan ; Wacha, Lara (ur.). Zagreb: Hrvatski geološki institut, 2019. str. 158-159 (poster, domaća recenzija, sažetak, ostalo)

Belić, N., Ferić P. i Budić, M. (2018). A Methodology For Making Basic Geological Map At The Scale 1:50 000 (Poster): Sdi Days 2018 And 14th International Conference On Geoinformation And Cartography, Zagreb 2018.

Belić, N., Mihalić Arbanas, S., Šiško, D. i Gajski, D. (2014): Derivation of historical land cover map based on digital orthophoto images of the Zagreb area // Landslide and Flood Hazard Assessment: Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic–Balkan Region. Zagreb: Hrvatska grupa za klizišta.

Belić, N., Newell, A., Markušić, S., Korbar, T., Špelić, M., Budić, M., Brčić, V., Petrinjak, K., Brunović, D., i Hasan, O. (2020). Geological Modelling at the Croatian Geological Survey. 16th International Conference on Geoinformation and Cartography.

Benedetti, L., Henriquet, M., Baize, S., Kordić, B., Moulin, A., Maslač, J., Belić, N., Cinti, F., Pantosti, D. i Pucci, S. (2023): Identification of faulted geomorphic markers and slip-rate estimation along the source of the 2020 Mw 6.4 Petrinja earthquake (Croatia), the Petrinja–Pokupsko fault // EGU General Assembly 2023, EGU23-5228. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-5228>

Henriquet, M., Benedetti, L., Baize, S., Kordić, B., Métois, M., Hollingsworth, J., Lasserre, C., Cavalié, O., Maslač, J. i Belić, N. (2023): Cumulative and coseismic displacements derived from tectonic geomorphology and geodesy analysis on the ruptured Petrinja–Pokupsko fault (Mw 6.4, 2020, Croatia) // u: Fio Firi, K. (ur.): 7. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem. Zagreb: Hrvatski geološki institut, str. 72–73.

Luong, T.-A., Moiriat, D., Reiffsteck, P., Benz-Navarrete, M., Maslač, J., Kordić, B., Hürtgen, J., Mathes-Schmidt, M., Koelzer, A. i Louis, K. J. (2023): Use of the new dynamic cone penetrometer for the study of soil liquefaction along the Kupa River, Petrinja area

- (Croatia) // u: Zlatović, S., Matešić, L., Minažek, K. (ur.): Sisak 2023 – Geotehnika u epicentru: Petrinja 2020. Zagreb: Hrvatsko geotehničko društvo, str. 101–110.
- Maslač, J., Cinti, F. R., Pantosti, D., Baize, S., Bakrač, K., Grizelj, A., Benedetti, L., Civico, R., Pucci, S. i Henriquet, M. (2023): First paleoseismological study in Croatia: preliminary results after the 2020 earthquake on the Petrinja–Pokupsko fault // u: Fio Firi, K. (ur.): 7. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem: knjiga sažetaka. Zagreb: Hrvatski geološki institut, str. 112–113.
- Minarelli, L., Amoroso, S., Fontana, D., Lugli, S., Stefani, M., Cinti, F., Pantosti, D., Valvano, C. i Grizelj, A. (2023): Earthquake-induced liquefaction of Quaternary continental deposits (2020 Petrinja earthquake, Croatia): a sedimentological perspective // u: Vlahović, I., Matešić, D. (ur.): 36th International Meeting of Sedimentology – Abstracts Book. Zagreb: Hrvatsko geološko društvo, str. 565–566.
- Moiriat, D., Maslač, J., Luong, T.-A., Louis, K. J., Kordić, B., Hürtgen, J., Mathes-Schmidt, M., Reiffsteck, P., Baize, S. i Barbača, J. (2023): Preliminary results of geotechnical and geophysical investigations on sites with liquefaction occurrences in the greater Petrinja area after the 2020 earthquake // u: Zlatović, S., Matešić, L., Minažek, K. (ur.): Sisak 2023 – Geotehnika u epicentru: Petrinja 2020. Zagreb: Hrvatsko geotehničko društvo, str. 121–132.
- Nguyen, L., Moiriat, D., Gélis, C., Hürtgen, J., Benz-Navarrete, M., Mravlja, B., Luong, T.-A., Reiffsteck, P., Louis, K. J., Baize, S., Belić, N., Maslač, J., Wacha, L., Kordić, B. i Markušić, S. (2024): Detailed study of a lateral spreading following the 2020 Petrinja earthquake (Mw 6.4) – Kupa River (Croatia) // 4th European Regional Conference of IAEG, Dubrovnik, 8.–12. 10. 2024.
- Petrinjak, K., Bergant, S., Belić, N. i Frangen, T. (2019): Geological model of Pićan area, Istria // 6. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem – knjiga sažetaka. Zagreb: Hrvatski geološki institut, str. 158–159.
- Petrinjak, K., Špelić, M., Brunović, D., Belić, N., Ferić, P., Brčić, V., Wacha, L., Surić, M., Markušić, S. i Korbar, T. (2017): Research on active tectonics in densely populated Kvarner area characterized by highly dissected Dinaric karst (GEOSEKVA project) // Man and Karst 2017: Abstract and Guidebook. Zadar: Sveučilište u Zadru, str. 63–66.
- Stanko, D., Markušić, S., Mravlja, B. i Belić, N. (2024): Collection of database of site parameters for Croatia based on active and passive seismic methods // 39th General Assembly of the European Seismological Commission, Krf, 22.–27. 9. 2024.
- Wacha, L., Frechen, M., Moiriat, D., Louis, K. J., Maslač, J., Belić, N., Baize, S., Kordić, B., Tsukamoto, S. i Hürtgen, J. (2024): Sedimentary aspects and organisation of liquefied sands in the alluvial sediments of the Kupa River (Croatia) // International Association of Sedimentologists Conference, Aberdeen, 25.–27. 6. 2024.

9. PRILOZI

PRILOG I. POZICIJE TOČAKA HVSR MJERENJA

Točka	X	Y
ZGN_1	461844.48	5072877.72
ZGN_2	461609.45	5071726.83
ZGN_3	462347.59	5072246.92
ZGN_4	462276.45	5071126.62
ZGN_5	463386.69	5071226.27
ZGN_6	463230.89	5070287.96
ZGN_7	464714.24	5071449.07
ZGN_8	464030.84	5069484.37
ZGN_9	464794.58	5070502.75
ZGN_10	463551.40	5072488.49
ZGN_11	465516.66	5070850.99
ZGN_12	464552.22	5072635.14
ZGN_13	466007.40	5070205.15
ZGN_14	465518.07	5072701.95
ZGN_15	467226.98	5072021.23
ZGN_16	466366.49	5072788.43
ZGN_17	468382.94	5073074.51
ZGN_18	465717.97	5071684.47
ZGN_19	470113.66	5073295.42
ZGN_20	467282.12	5072085.59
ZGN_21	467512.24	5073373.19
ZGN_22	466749.89	5073633.44
ZGN_23	468973.64	5073571.96
ZGN_24	476417.63	5074306.42
ZGN_25	475347.10	5074284.27
ZGN_26	474610.21	5074316.70
ZGN_27	473706.60	5074368.14

ZGN_28	474716.64	5073287.68
ZGN_29	472704.54	5074889.52
ZGN_30	472637.43	5073403.55
ZGN_31	470562.10	5074931.84
ZGN_32	469890.74	5074226.46
ZGN_33	471511.59	5074667.05
ZGN_34	468941.56	5074923.53
ZGN_35	467782.66	5074960.96
ZGN_36	466248.05	5074814.04
ZGN_37	464811.61	5073682.06
ZGN_38	465585.40	5074469.07
ZGN_39	464842.11	5075377.05
ZGN_40	464556.78	5074456.89
ZGN_41	463903.45	5074168.80
ZGN_42	456803.54	5074228.91
ZGN_43	463053.91	5073945.12
ZGN_44	455418.33	5074616.66
ZGN_45	454179.41	5074283.65
ZGN_46	452497.06	5074558.69
ZGN_47	451701.24	5074783.49
ZGN_48	451659.60	5073898.23
ZGN_49	450497.40	5073878.74
ZGN_50	449439.51	5074712.51
ZGN_51	448976.84	5074096.37
ZGN_52	449658.47	5073033.27
ZGN_53	453013.66	5073818.74
ZGN_54	454804.19	5073675.85
ZGN_55	456122.64	5073714.02
ZGN_56	457735.62	5073281.67
ZGN_57	458425.36	5074394.15
ZGN_58	459492.34	5074228.05

ZGN_59	460398.59	5074281.62
ZGN_60	461518.59	5073690.97
ZGN_61	462099.01	5074358.69
ZGN_62	462558.06	5074953.00
ZGN_63	457716.43	5074779.10
ZGN_64	445093.80	5065658.21
ZGN_65	444203.65	5063551.37
ZGN_66	446044.75	5065480.04
ZGN_67	444250.19	5061780.80
ZGN_68	446329.68	5064565.83
ZGN_69	445356.19	5062206.00
ZGN_70	447015.47	5064524.95
ZGN_71	444905.01	5062947.59
ZGN_72	447475.61	5064635.35
ZGN_73	445668.58	5063121.24
ZGN_74	447871.56	5063636.93
ZGN_75	446458.15	5063702.94
ZGN_76	448924.58	5061963.31
ZGN_77	447318.70	5063451.90
ZGN_78	449462.74	5061503.03
ZGN_79	448194.76	5061896.91
ZGN_80	449770.60	5060795.19
ZGN_81	447499.51	5060882.14
ZGN_82	450717.06	5060739.54
ZGN_83	448193.35	5060506.80
ZGN_84	450077.78	5061865.24
ZGN_85	449316.78	5060682.71
ZGN_86	451147.51	5061681.72
ZGN_87	449713.56	5060482.07
ZGN_88	452642.61	5061963.00
ZGN_89	450349.11	5059660.00

ZGN_90	453342.52	5061932.14
ZGN_91	451177.24	5059640.93
ZGN_92	454412.58	5062188.29
ZGN_93	451457.22	5058654.33
ZGN_94	453480.92	5065308.74
ZGN_95	452201.01	5059513.95
ZGN_96	452522.34	5064083.78
ZGN_97	451925.62	5060601.21
ZGN_98	451728.48	5063600.49
ZGN_99	452716.70	5067282.66
ZGN_100	452495.23	5063351.94
ZGN_101	453006.03	5066103.76
ZGN_102	453288.44	5064099.47
ZGN_103	452206.09	5066203.97
ZGN_104	454321.73	5063799.89
ZGN_105	452184.02	5065258.59
ZGN_106	455501.26	5063612.23
ZGN_107	452121.51	5062652.54
ZGN_108	456428.20	5063705.15
ZGN_109	453339.60	5062905.77
ZGN_110	457294.43	5063766.76
ZGN_111	454824.93	5062910.31
ZGN_112	456992.07	5059568.33
ZGN_113	455770.34	5063057.87
ZGN_114	456636.17	5058769.29
ZGN_115	456281.93	5062341.28
ZGN_116	455617.08	5058823.32
ZGN_117	453770.27	5055930.45
ZGN_118	457788.71	5058510.96
ZGN_119	454332.80	5055466.36
ZGN_120	473782.78	5089256.39

ZGN_121	454791.31	5054588.57
ZGN_122	474410.41	5088000.64
ZGN_123	455727.71	5054102.93
ZGN_124	474514.40	5086857.42
ZGN_125	456406.03	5057522.90
ZGN_126	473974.25	5085559.04
ZGN_127	469142.16	5088464.62
ZGN_128	473440.36	5086737.54
ZGN_129	467605.11	5088697.27
ZGN_130	474275.95	5083887.16
ZGN_131	467010.23	5089603.41
ZGN_132	474514.07	5082315.21
ZGN_133	468004.00	5087752.65
ZGN_134	475182.91	5081793.47
ZGN_135	468098.62	5086487.74
ZGN_136	475735.94	5083160.71
ZGN_137	469539.34	5085486.16
ZGN_138	476749.24	5082005.23
ZGN_139	472826.76	5081645.02
ZGN_140	477241.03	5080776.98
ZGN_141	474587.10	5080608.32
ZGN_142	476948.21	5079738.73
ZGN_143	473289.31	5080151.05
ZGN_144	478243.03	5080082.29
ZGN_145	474728.65	5079664.48
ZGN_146	477405.34	5078601.21
ZGN_147	474811.58	5078733.08
ZGN_148	453480.76	5068008.72
ZGN_149	473506.56	5078805.56
ZGN_150	454242.74	5066418.20
ZGN_151	475649.27	5076396.99

ZGN_152	454839.80	5067454.67
ZGN_153	476427.18	5077393.97
ZGN_154	454279.28	5065159.45
ZGN_155	477748.16	5077306.18
ZGN_156	455457.09	5065492.67
ZGN_157	460877.93	5071679.69
ZGN_158	455924.93	5066760.97
ZGN_159	461464.17	5071048.60
ZGN_160	457208.25	5067357.15
ZGN_161	461550.54	5070006.91
ZGN_162	457816.36	5067943.37
ZGN_163	461779.72	5068966.18
ZGN_164	458635.32	5067656.68
ZGN_165	462730.63	5068790.00
ZGN_166	457087.88	5066126.02
ZGN_167	460945.09	5069377.01
ZGN_168	458182.58	5066148.39
ZGN_169	460559.79	5068975.79
ZGN_170	459693.48	5064722.51
ZGN_171	460027.37	5068532.01
ZGN_172	458629.01	5064617.61
ZGN_173	460458.31	5067672.85
ZGN_174	460671.49	5065460.34
ZGN_175	460897.45	5067775.15
ZGN_176	461022.69	5065215.84
ZGN_177	462103.66	5067545.72
ZGN_178	449156.79	5071079.52
ZGN_179	462209.33	5066574.09
ZGN_180	449782.83	5070532.61
ZGN_181	461183.82	5066570.74
ZGN_182	450436.95	5070843.19

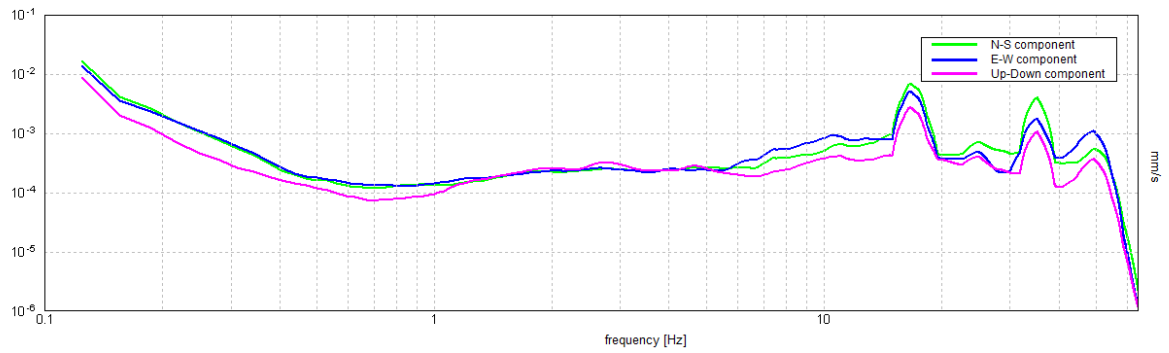
ZGN_183	460378.45	5066719.33
ZGN_184	450409.50	5069904.44
ZGN_185	459506.05	5066618.10
ZGN_186	451434.23	5069793.92
ZGN_187	459541.03	5067365.00
ZGN_188	451669.36	5070323.53
ZGN_189	447746.58	5071173.89
ZGN_190	451867.09	5069138.89
ZGN_191	448499.67	5071602.00
ZGN_192	452354.29	5069894.61
ZGN_193	451526.20	5073090.08
ZGN_194	452395.64	5068691.18
ZGN_195	452494.37	5072527.61
ZGN_196	454285.11	5068654.97
ZGN_197	453565.28	5072958.58
ZGN_198	455150.64	5068926.34
ZGN_199	454585.98	5072820.18
ZGN_200	456193.58	5068976.89
ZGN_201	454788.68	5072025.38
ZGN_202	456043.04	5068115.29
ZGN_203	456614.33	5070721.45
ZGN_204	457055.00	5068560.40
ZGN_205	452710.47	5070356.66
ZGN_206	458499.68	5068746.39
ZGN_207	452207.47	5071683.87
ZGN_208	454578.76	5070590.76
ZGN_209	453670.26	5070976.17
ZGN_210	454941.30	5070008.30
ZGN_211	455777.47	5069522.10
ZGN_212	456597.61	5069848.57
ZGN_213	458071.77	5069803.39

ZGN_214	457130.83	5072470.20
ZGN_215	458354.25	5072657.51
ZGN_216	457006.36	5065515.86
ZGN_217	453533.52	5071702.12
ZGN_218	455474.14	5072834.55
ZGN_219	456208.68	5072611.47
ZGN_220	455425.48	5071652.70
ZGN_221	456487.68	5071724.45
ZGN_222	456125.51	5070795.82
ZGN_223	460343.56	5072441.63
ZGN_224	459376.37	5073354.72
ZGN_225	460261.29	5073257.08
ZGN_226	459395.29	5072516.71
ZGN_227	459762.50	5071989.83
ZGN_228	458503.56	5071974.93
ZGN_229	457324.18	5071345.15
ZGN_230	454234.73	5069587.92
ZGN_231	458487.10	5070776.38
ZGN_232	459849.30	5070923.52
ZGN_233	460456.88	5070677.28
ZGN_234	460557.97	5070018.90
ZGN_235	459302.04	5069799.61
ZGN_236	469927.13	5092209.69
ZGN_237	459248.71	5086233.86
ZGN_238	460968.48	5085772.30
ZGN_239	458800.93	5084732.40
ZGN_240	456001.21	5083232.31
ZGN_241	454869.92	5082241.67
ZGN_242	457837.65	5083508.63
ZGN_243	453409.76	5077928.84
ZGN_244	451960.48	5079422.72

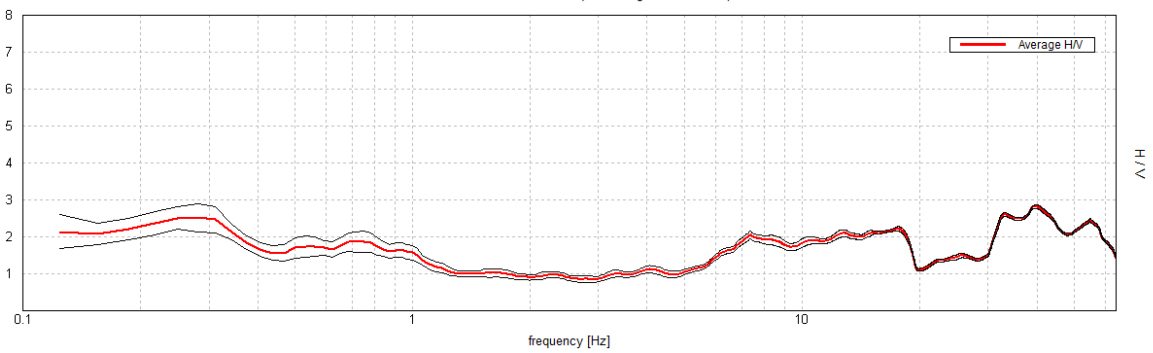
ZGN_245	443203.63	5064057.53
ZGN_246	454683.43	5052841.66
ZGN_247	476713.29	5069840.04
ZGN_248	473600.27	5089435.33
ZGN_249	479958.52	5077414.45
ZGN_250	453179.17	5077581.90

PRILOG II. KRIVULJE HVSR MJERENJA

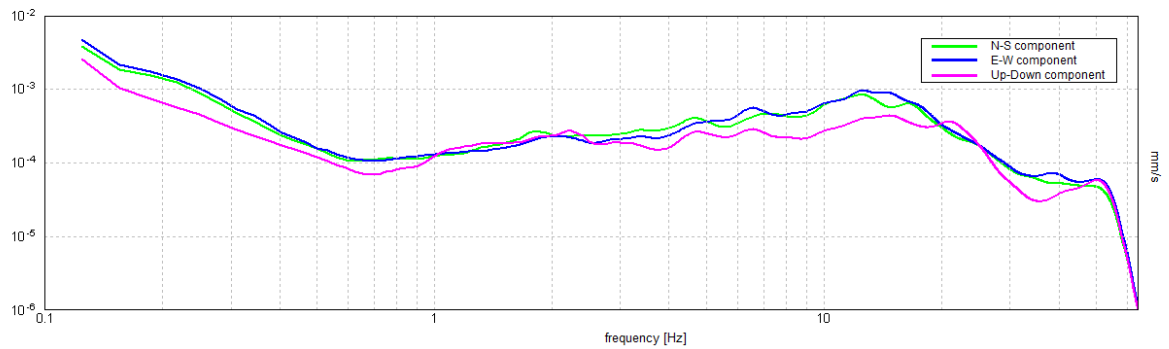
ZGN_1



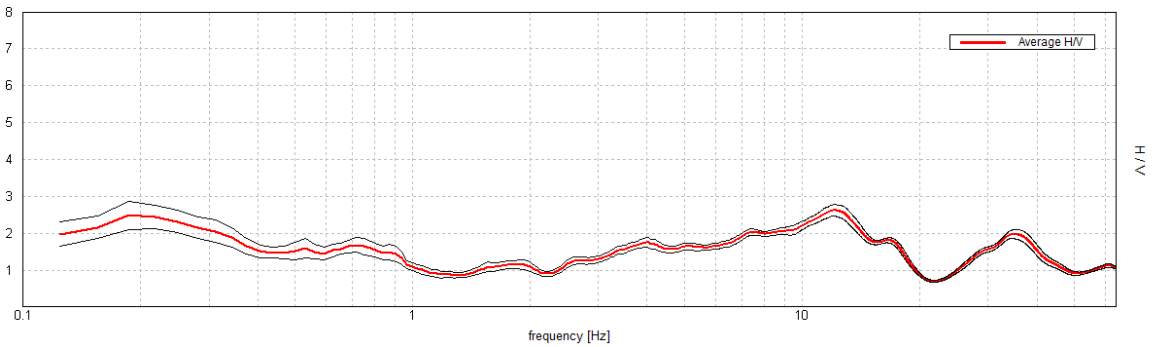
Max. H/V at 39.69 ± 24.32 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



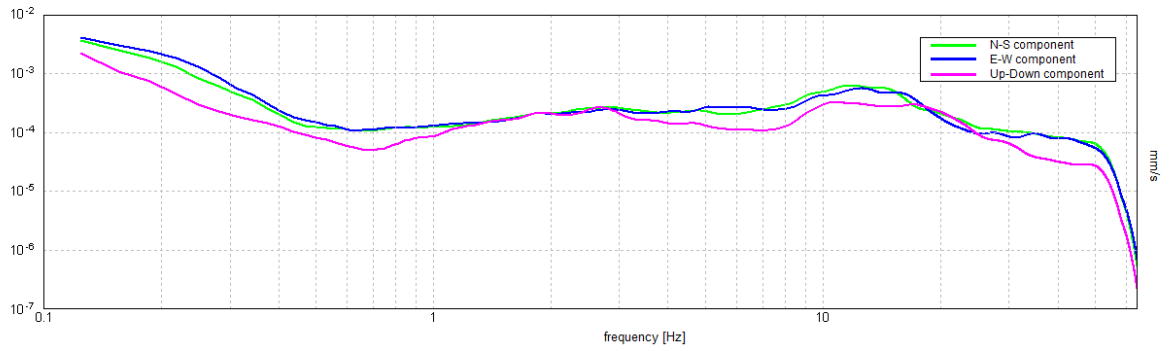
ZGN_2



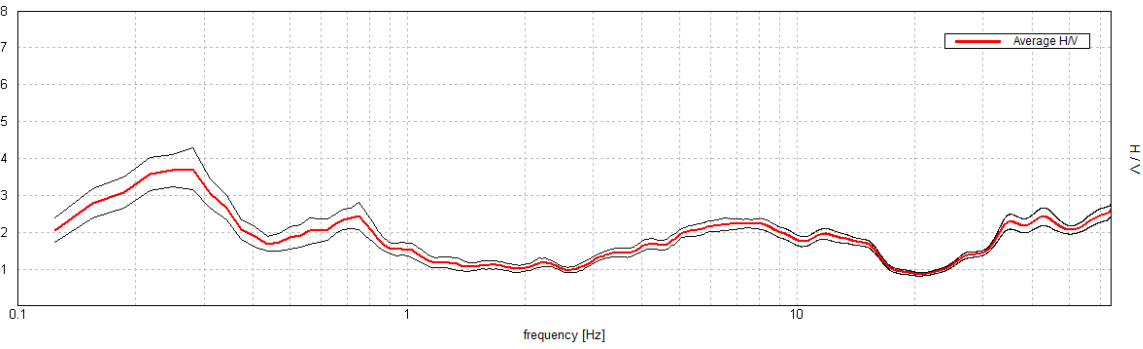
Max. H/V at 12.13 ± 9.24 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



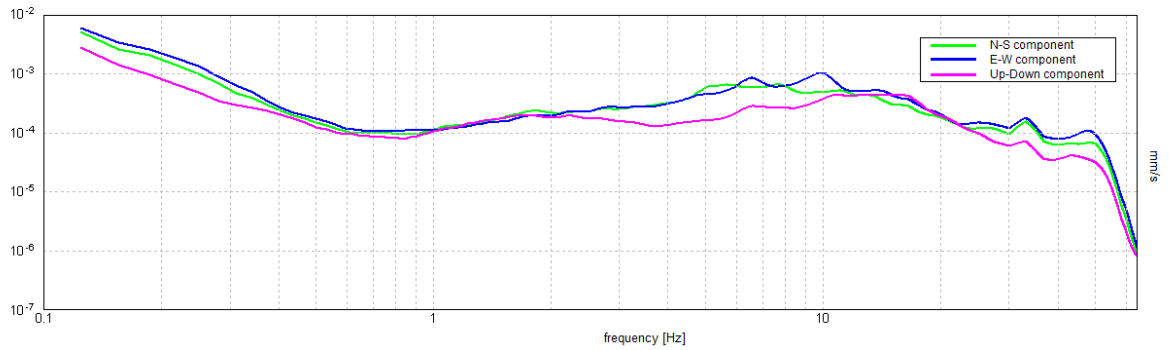
ZGN_3



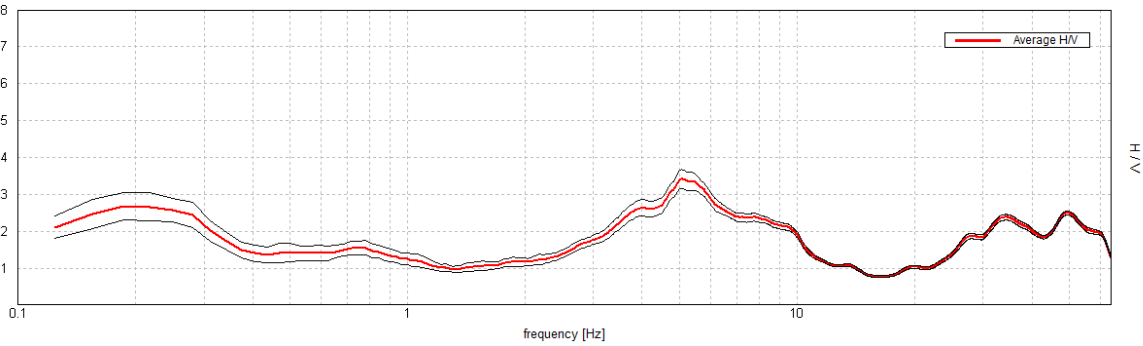
Max. H/V at 0.28 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



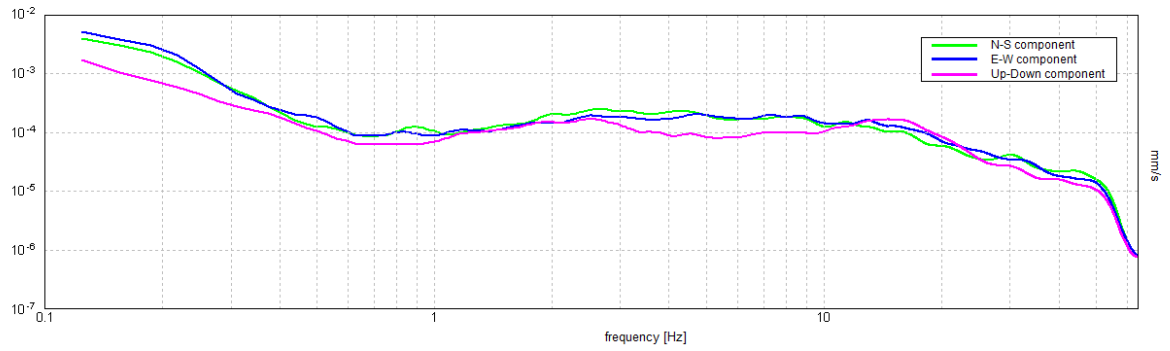
ZGN_4



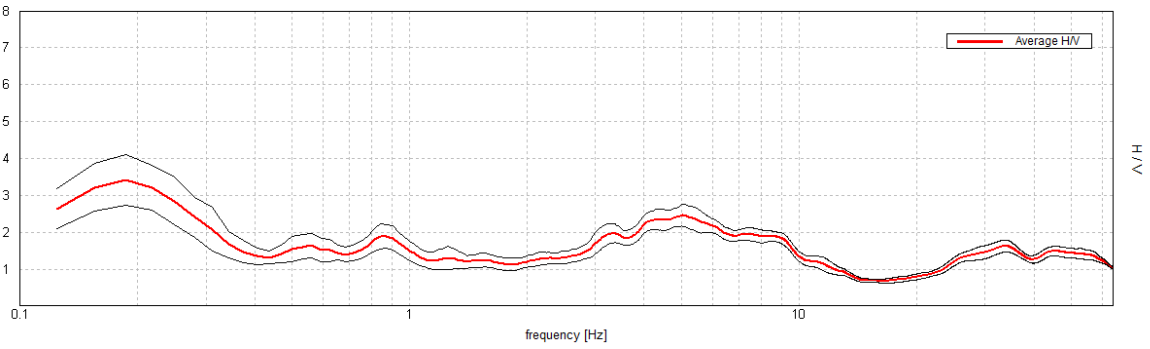
Max. H/V at 5.06 ± 0.69 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



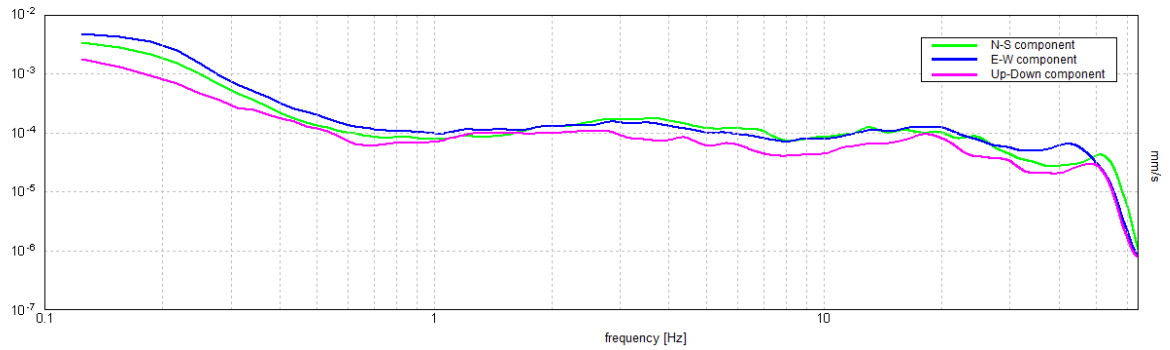
ZGN_5



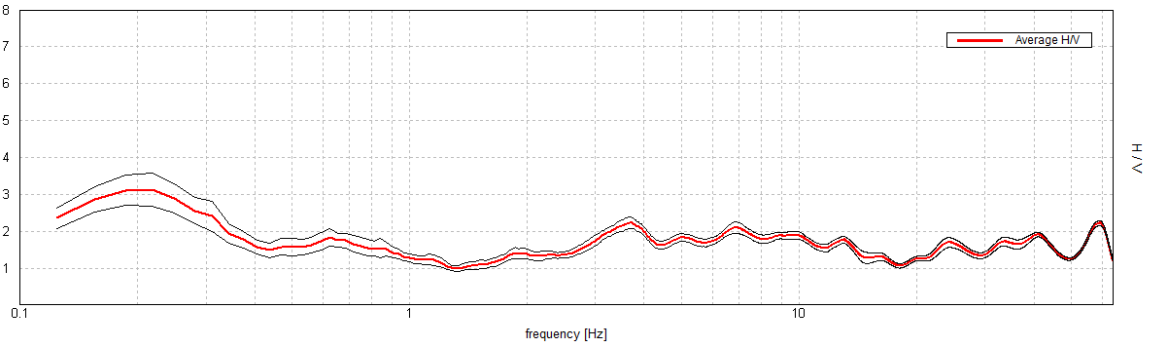
Max. H/V at 0.19 ± 1.48 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



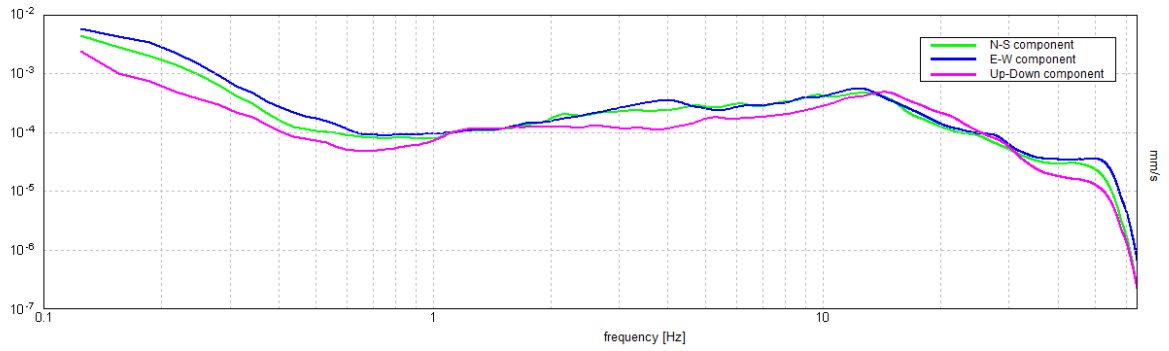
ZGN_6



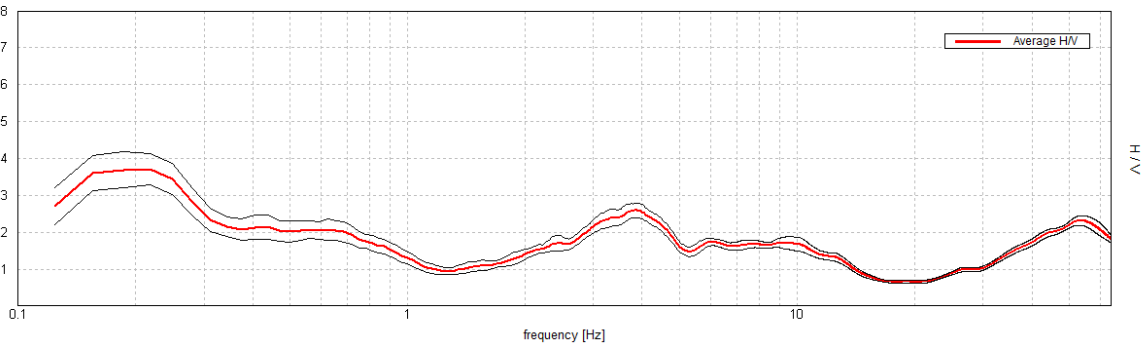
Max. H/V at 0.22 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



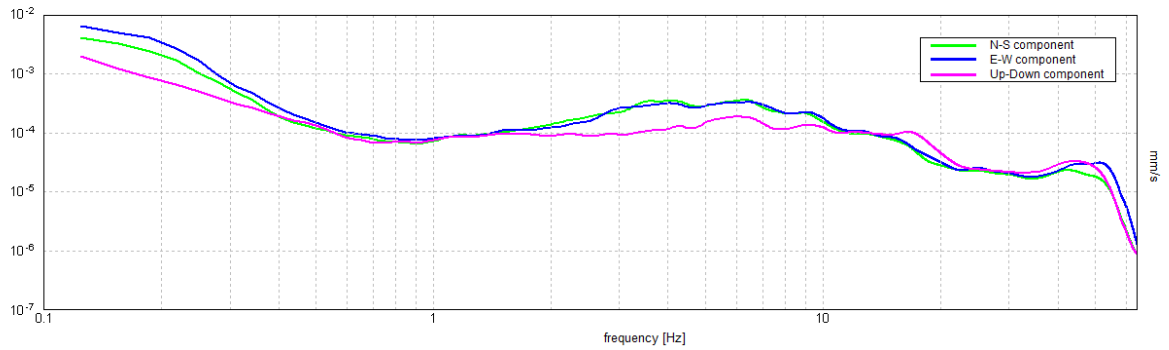
ZGN_7



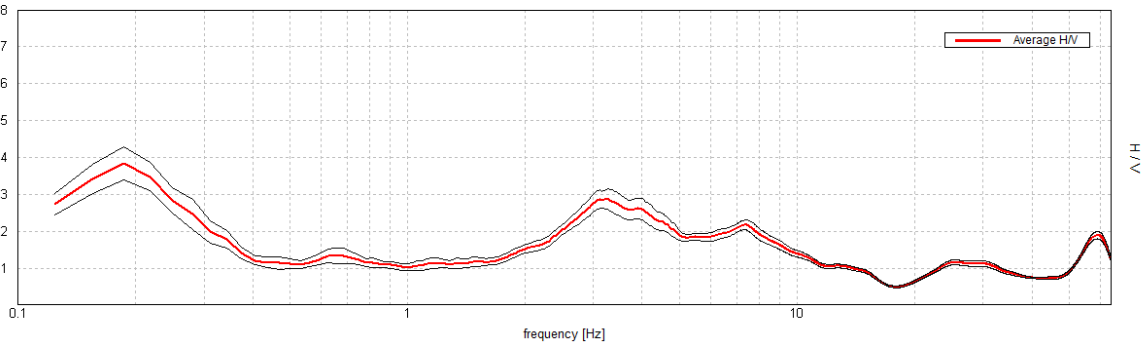
Max. H/V at 0.22 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



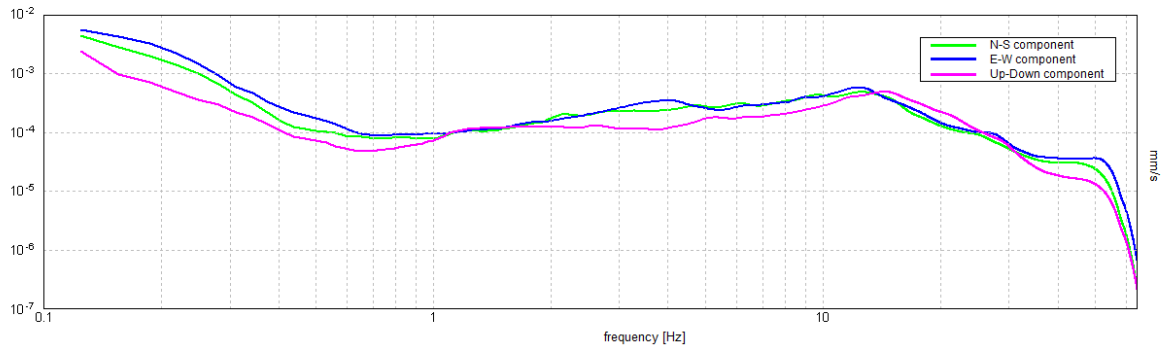
ZGN_8



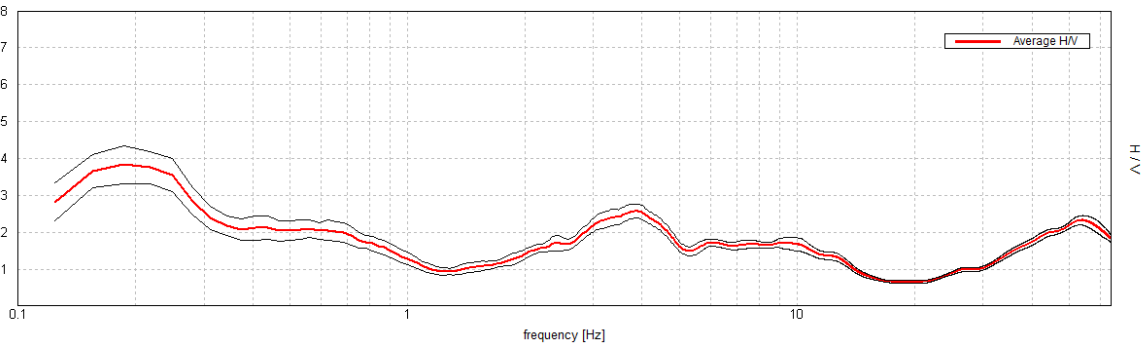
Max. H/V at 0.19 ± 0.56 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



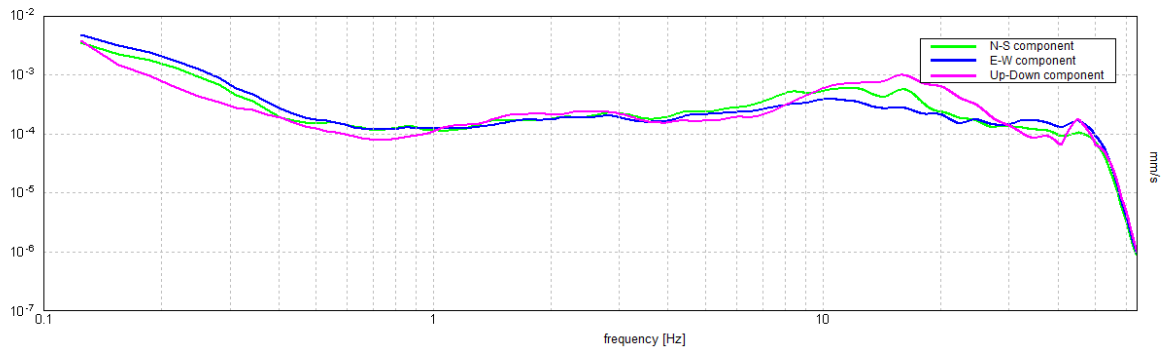
ZGN_9



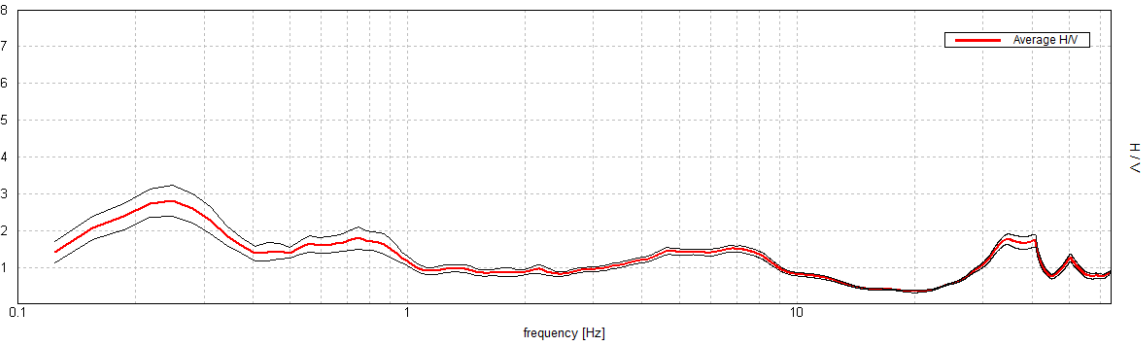
Max. H/V at 0.19 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



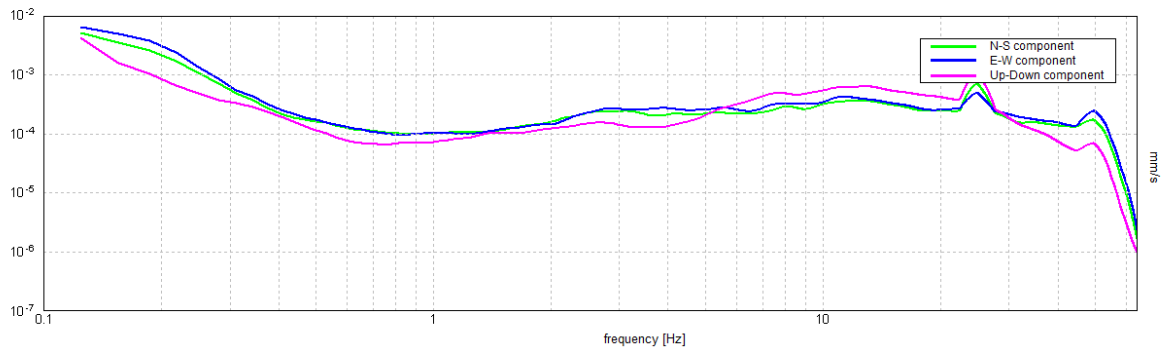
ZGN_10



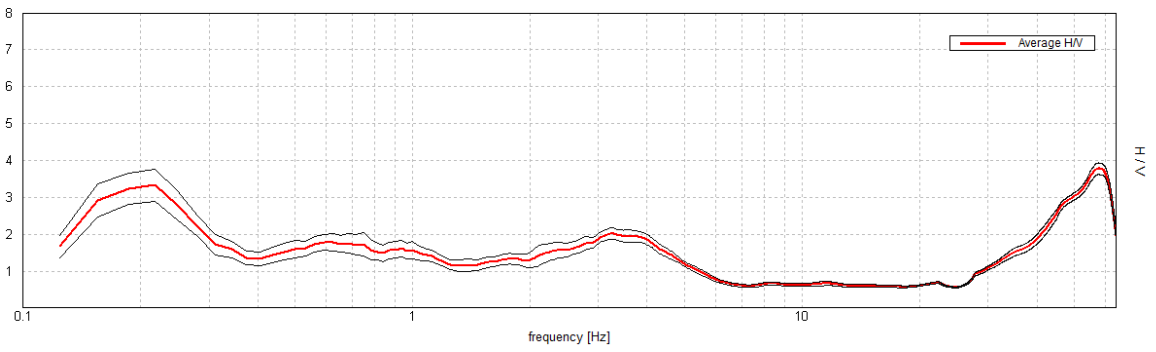
Max. H/V at 0.25 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



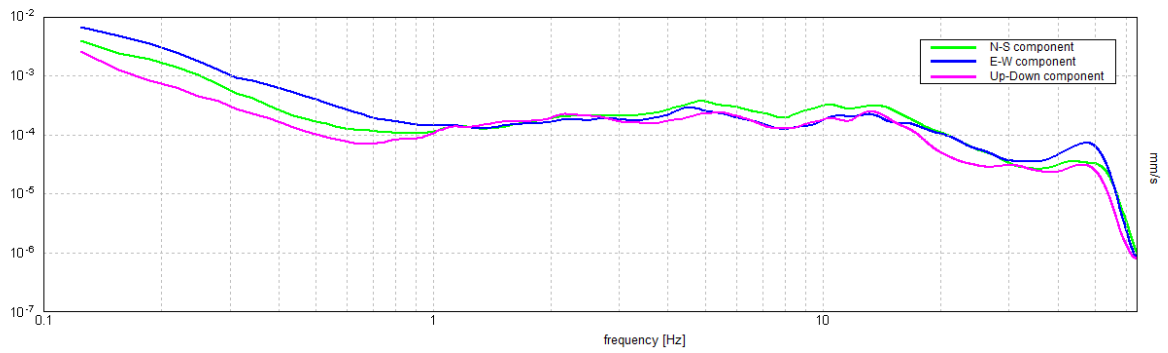
ZGN_11



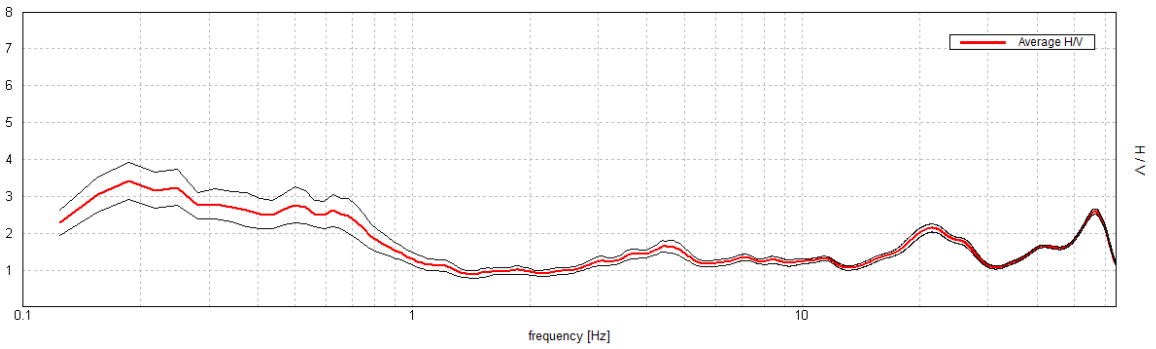
Max. H/V at 57.5 ± 7.87 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



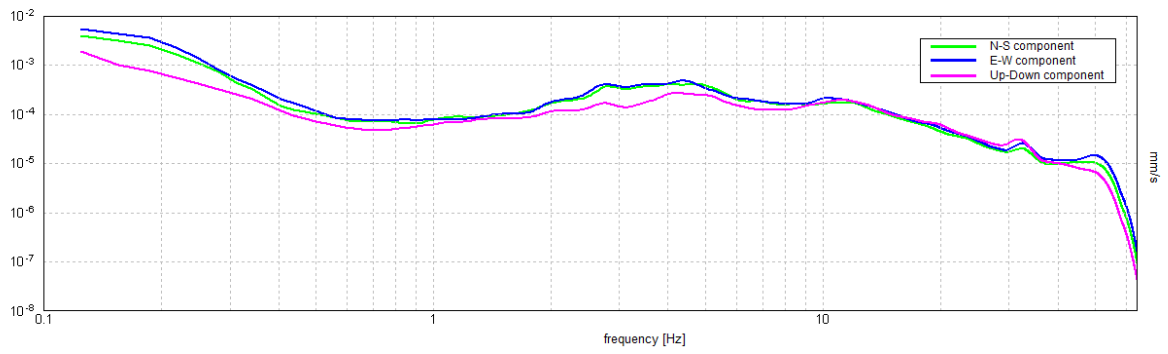
ZGN_12



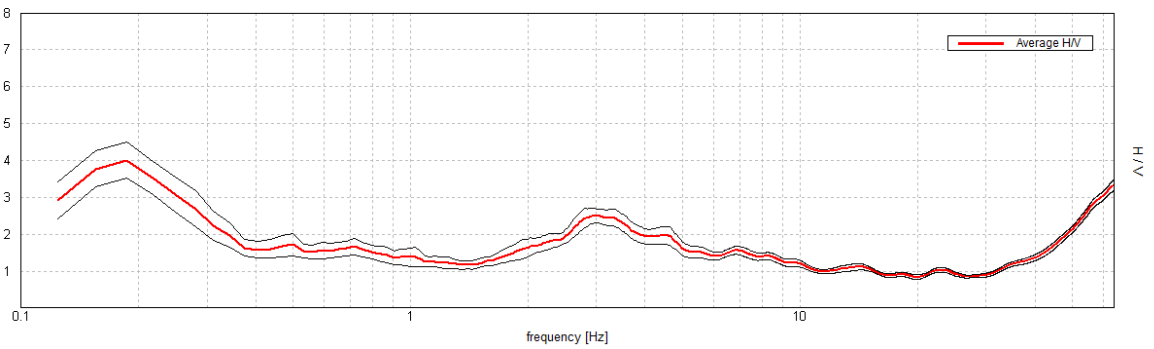
Max. H/V at 0.19 ± 0.19 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



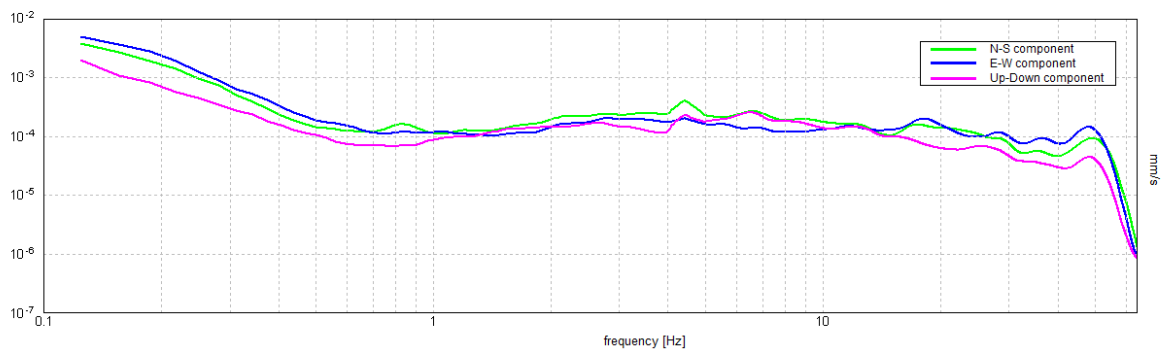
ZGN_13



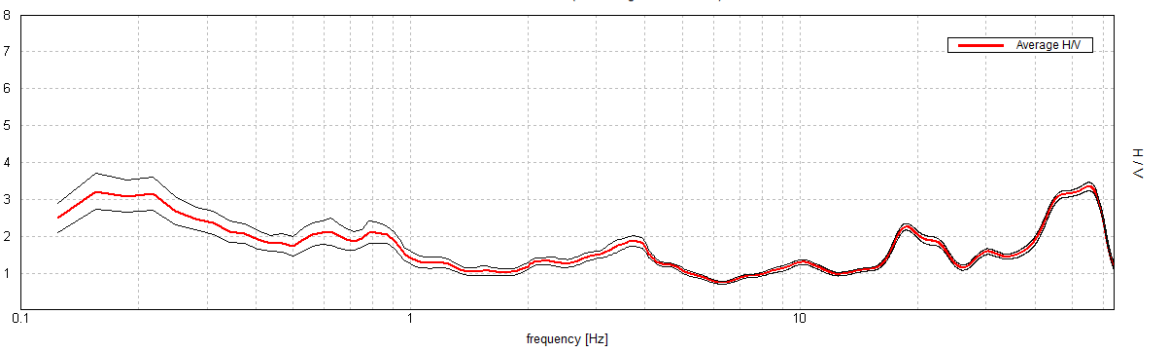
Max. H/V at 0.19 ± 21.26 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



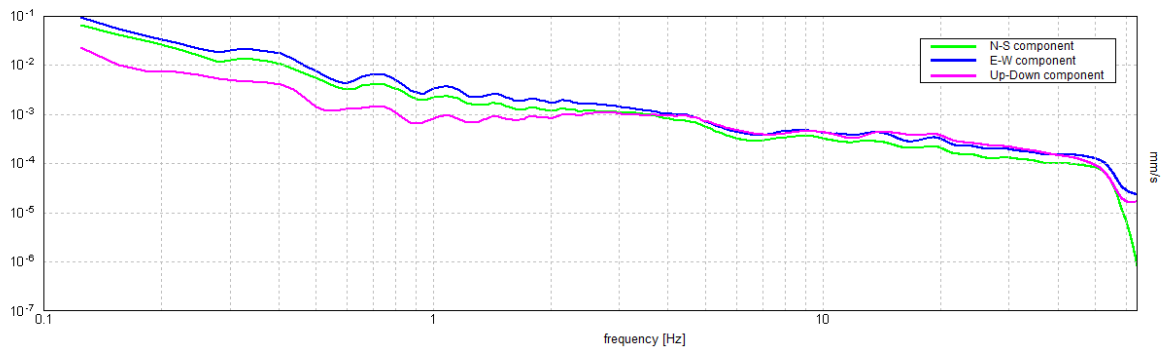
ZGN_14



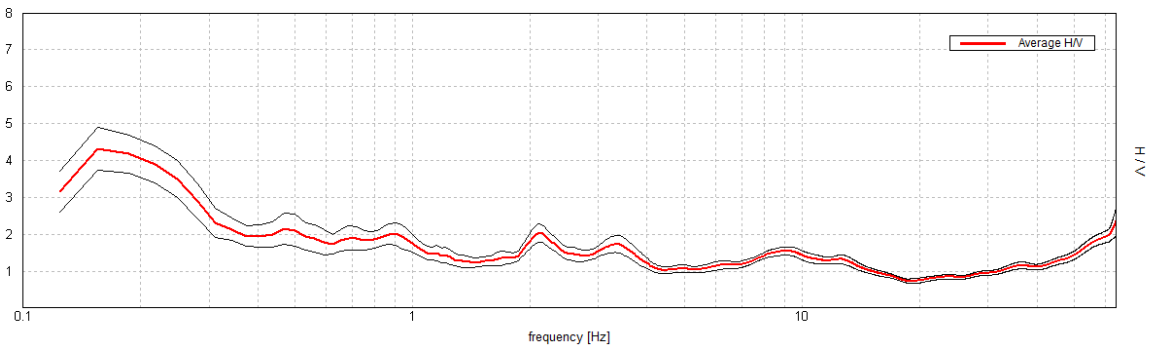
Max. H/V at 55.0 ± 7.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



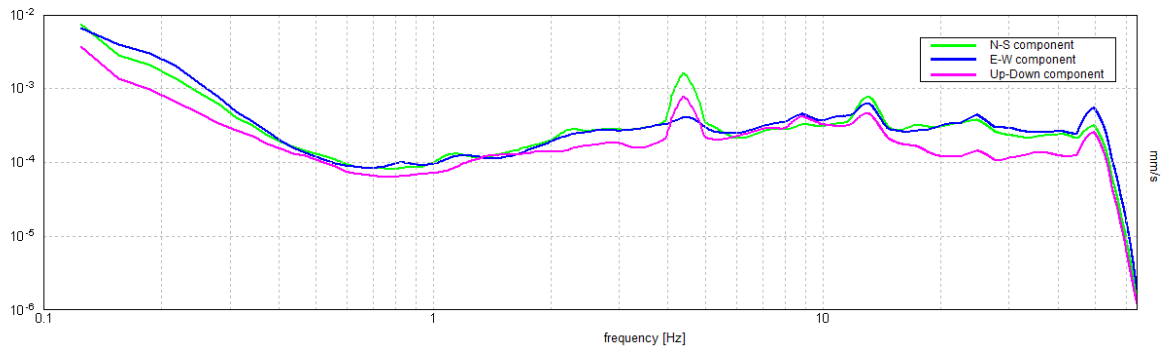
ZGN_15



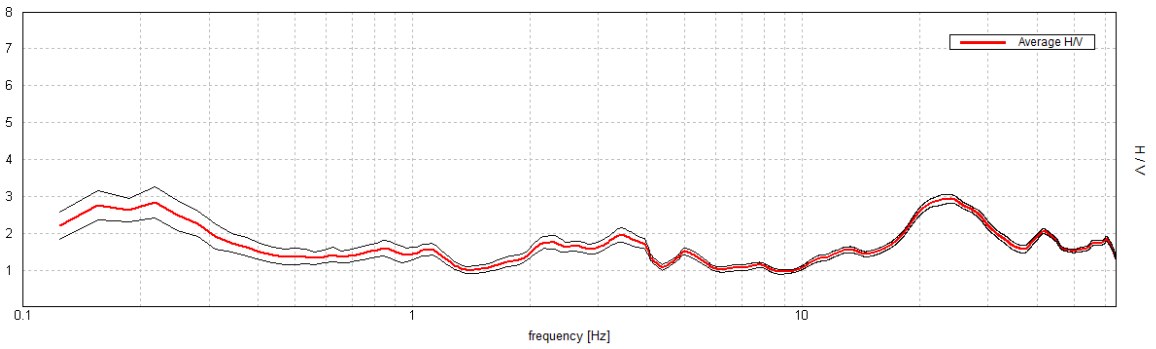
Max. H/V at 0.16 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



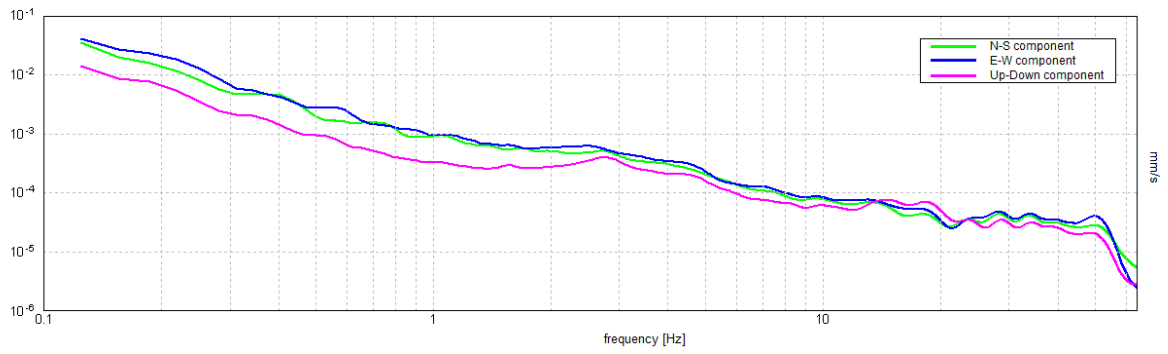
ZGN_16



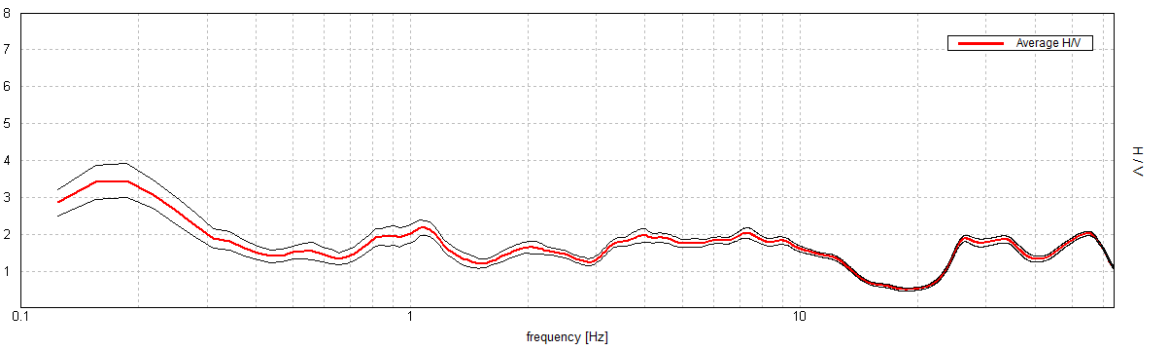
Max. H/V at 24.06 ± 0.52 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



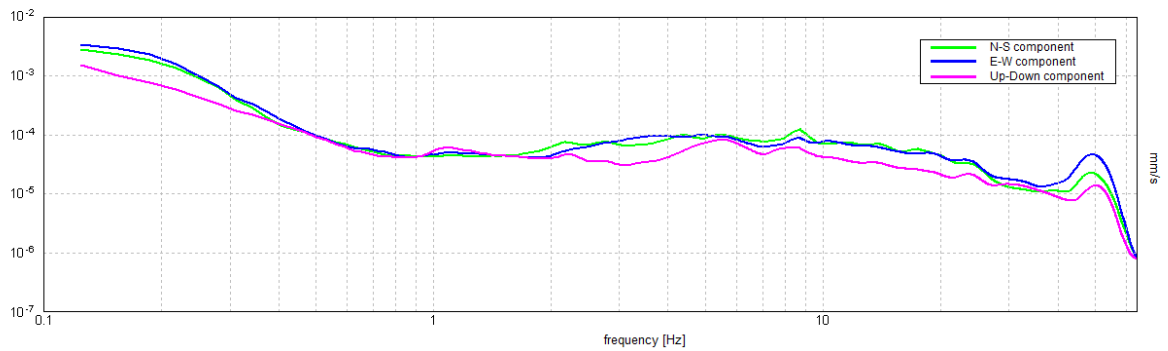
ZGN_17



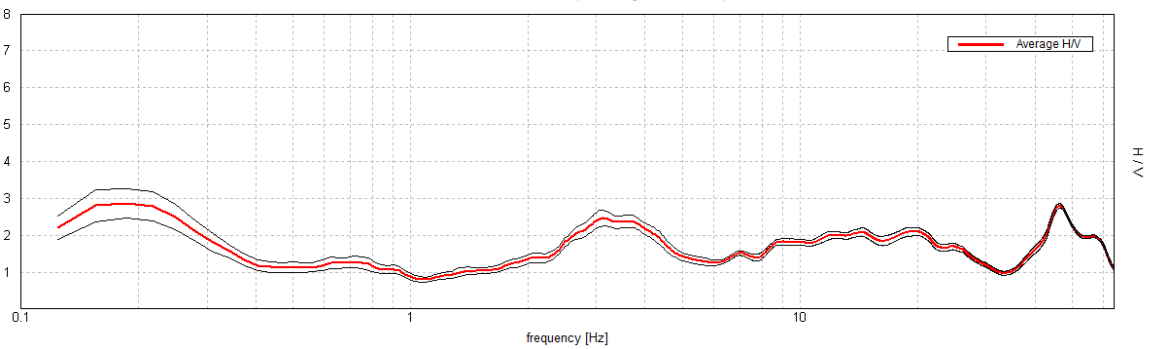
Max. H/V at 0.19 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



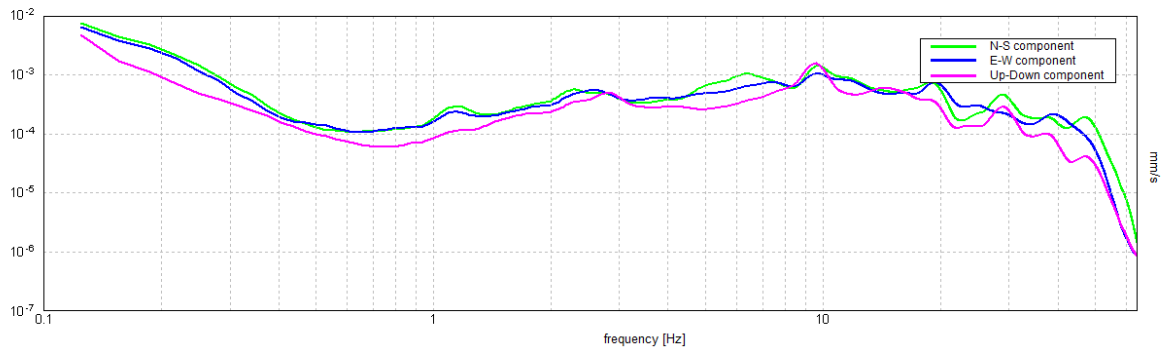
ZGN_18



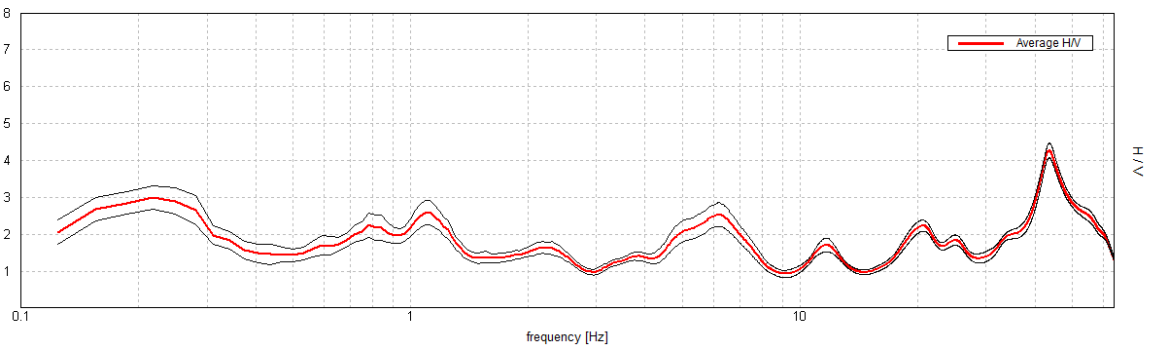
Max. H/V at 0.19 ± 22.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



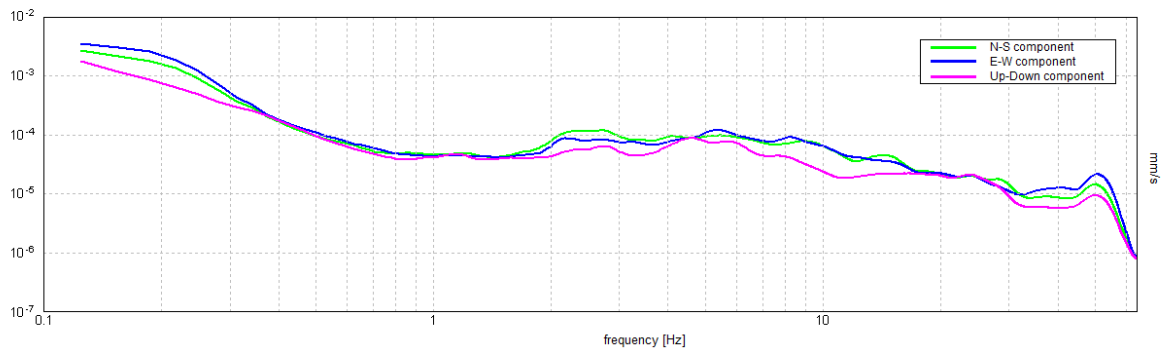
ZGN_19



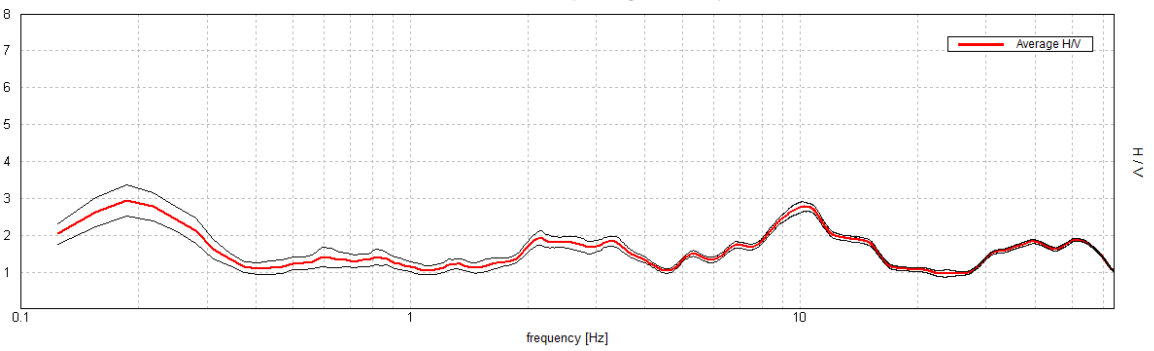
Max. H/V at 43.44 ± 5.15 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



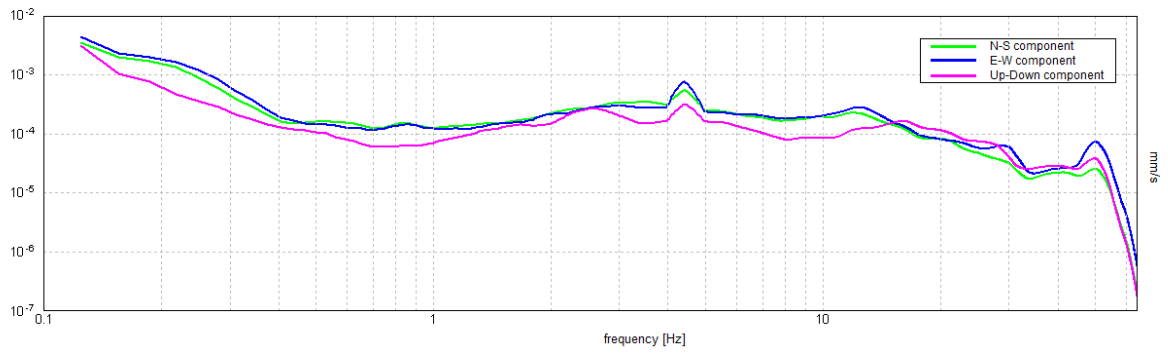
ZGN_20



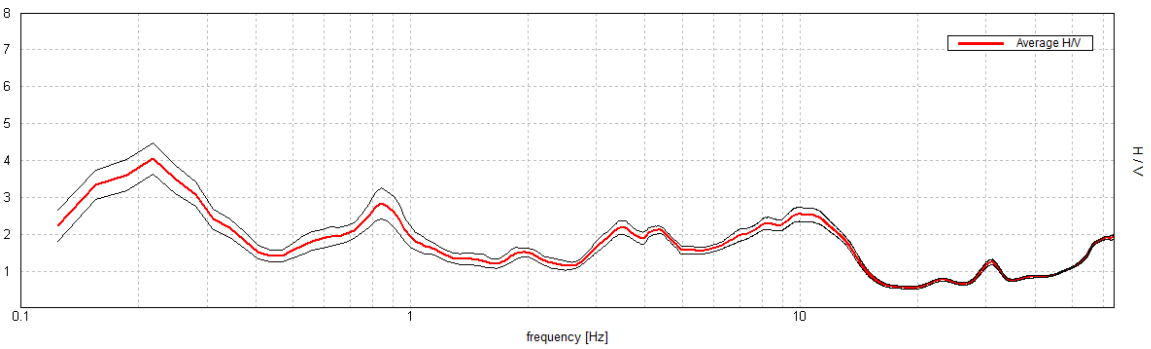
Max. H/V at 0.19 ± 6.67 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



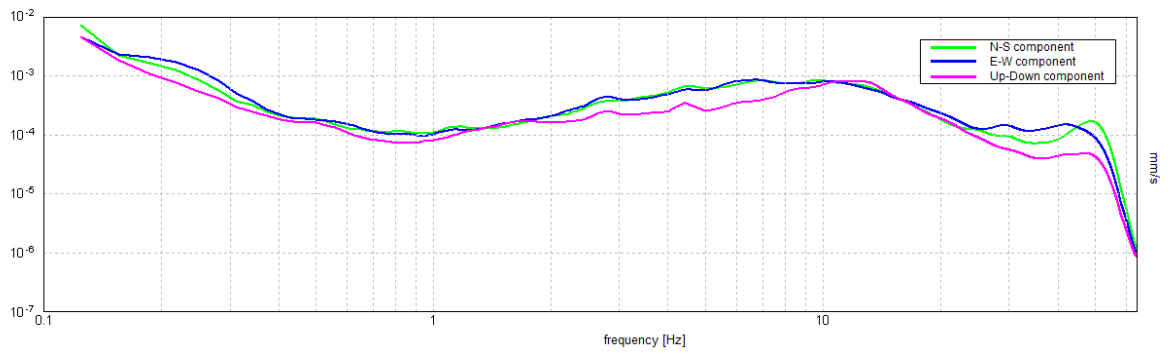
ZGN_21



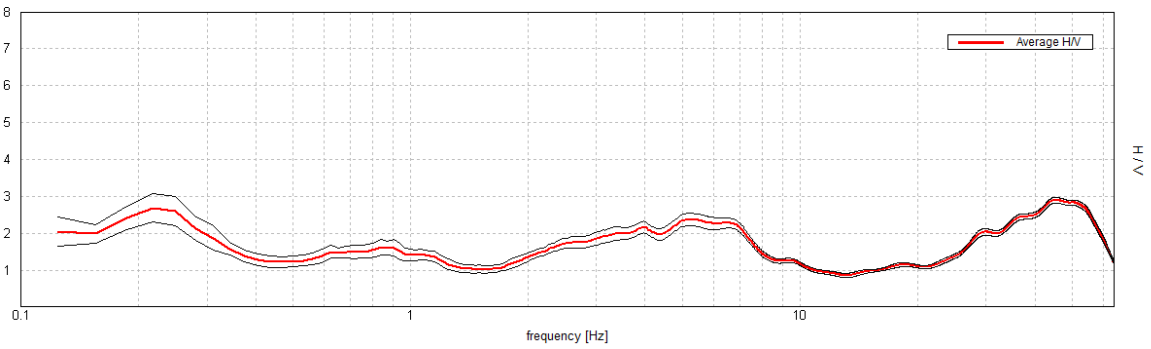
Max. H/V at 0.22 ± 0.19 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



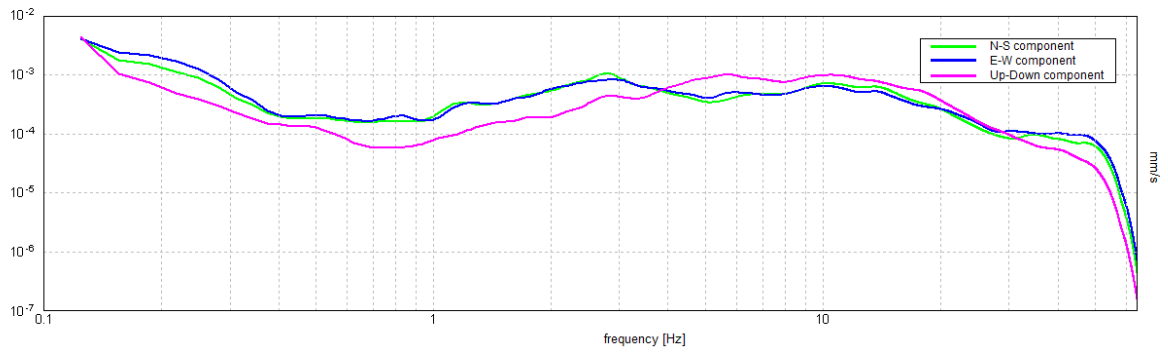
ZGN_22



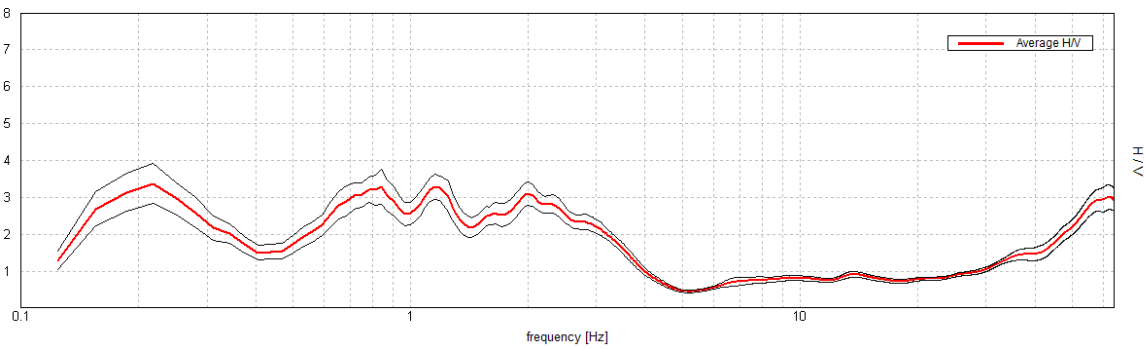
Max. H/V at 45.0 ± 17.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



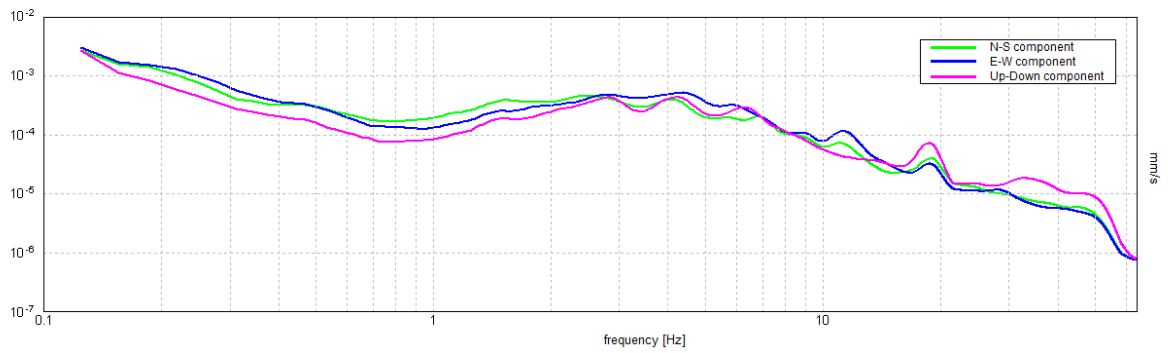
ZGN_23



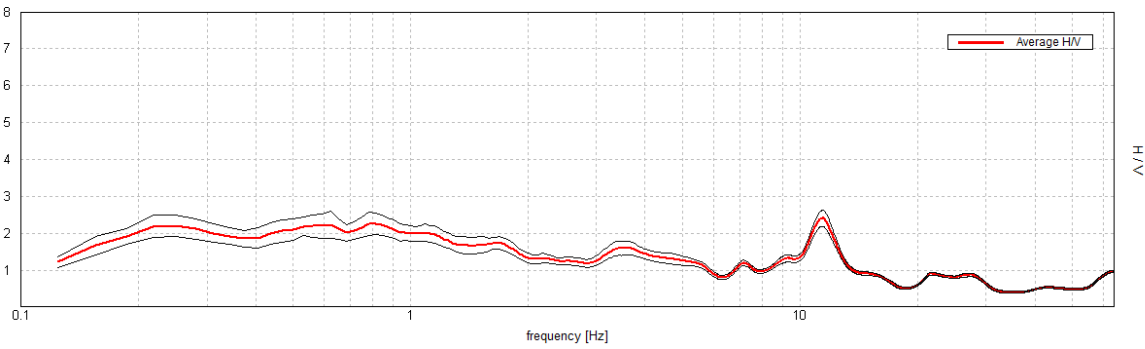
Max. H/V at 0.22 ± 0.38 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



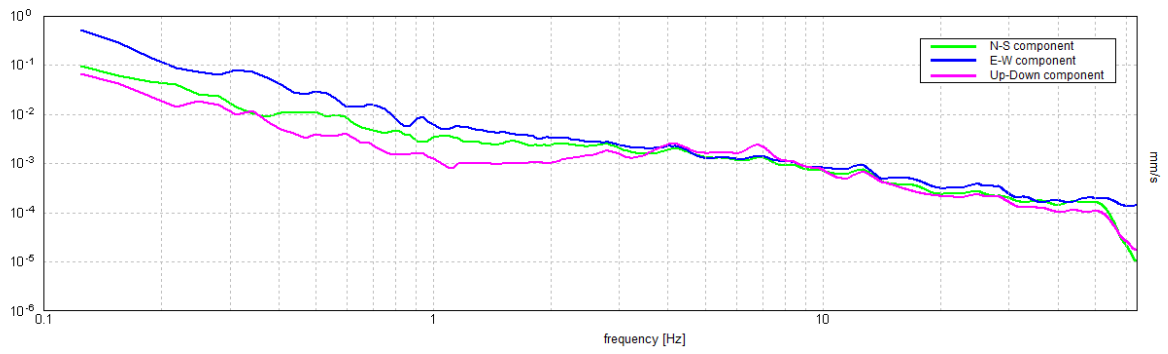
ZGN_24



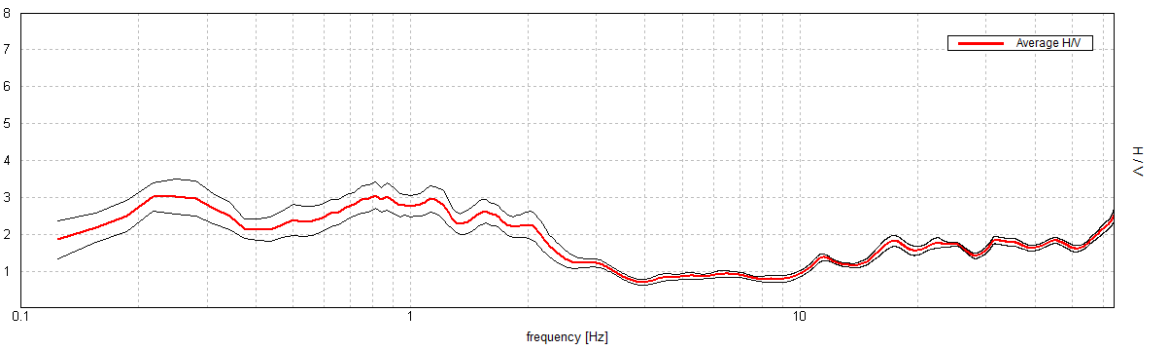
Max. H/V at 11.41 ± 7.17 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



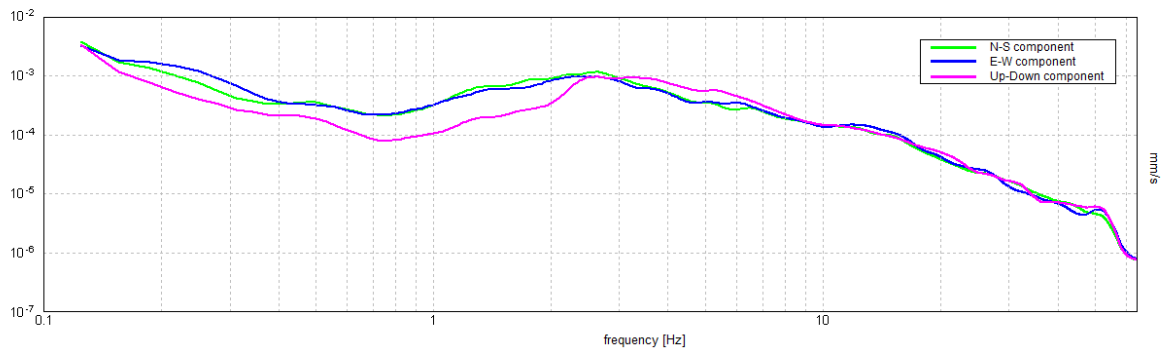
ZGN_25



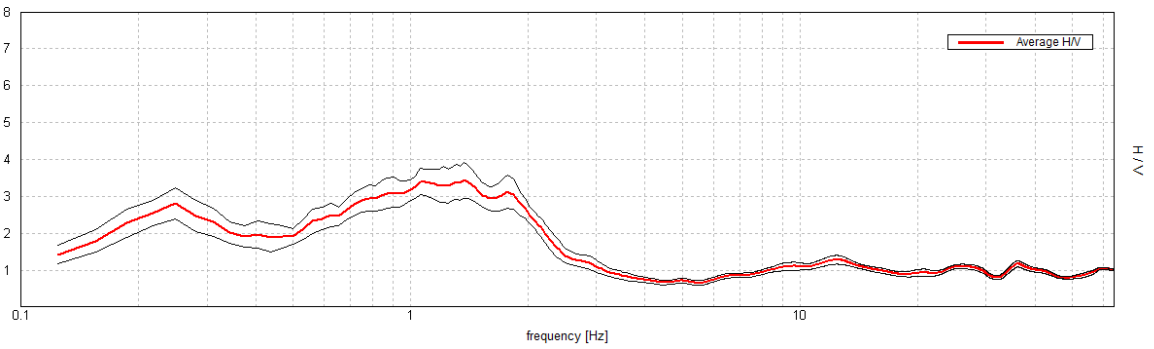
Max. H/V at 0.81 ± 0.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



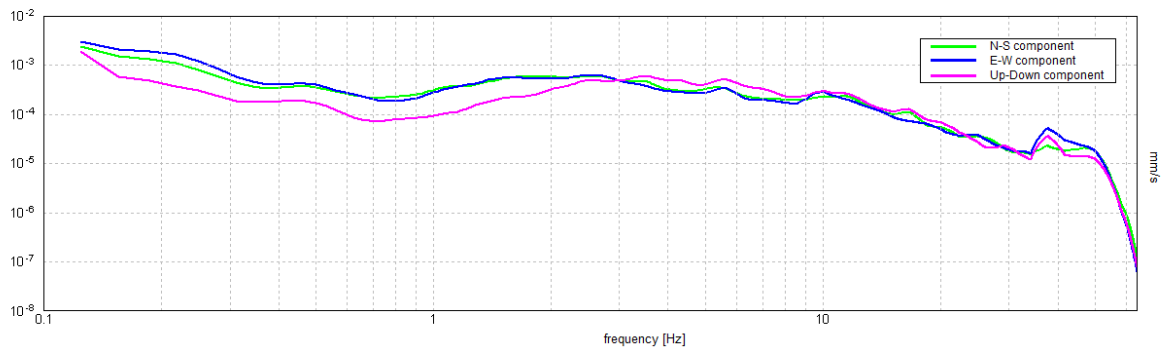
ZGN_26



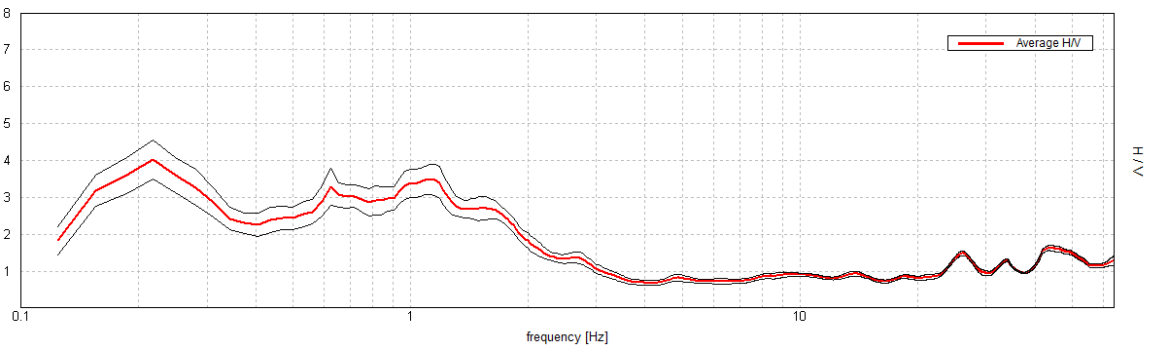
Max. H/V at 1.38 ± 0.37 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



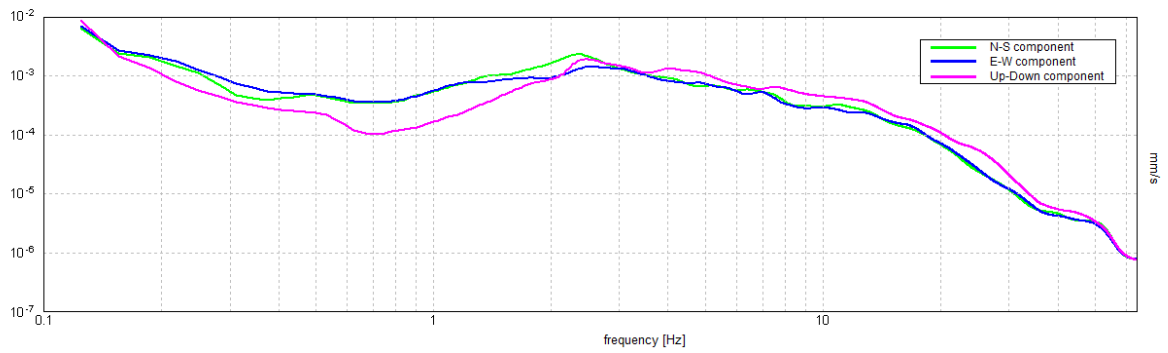
ZGN_27



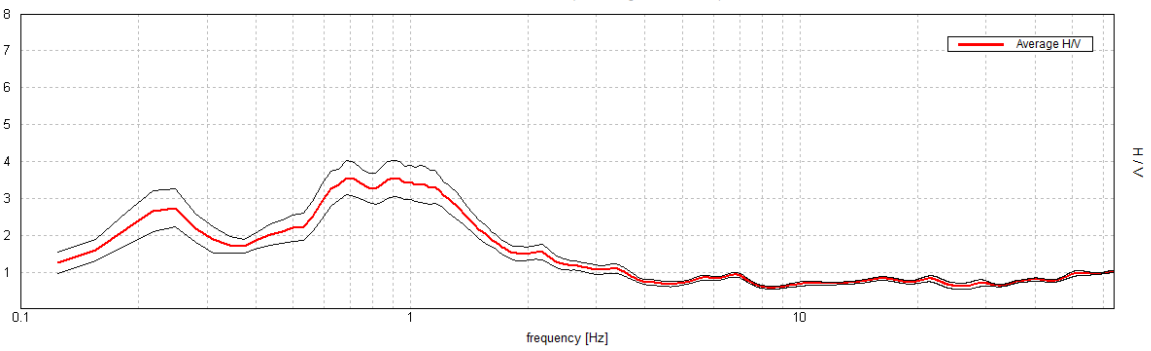
Max. H/V at 0.22 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



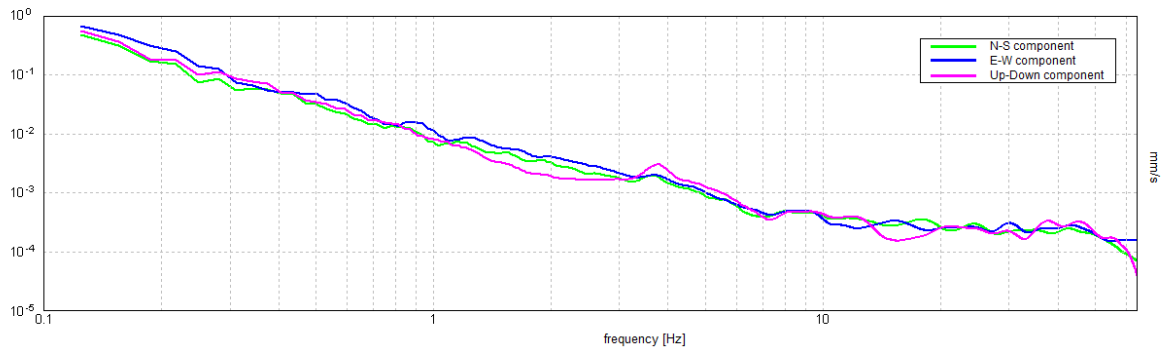
ZGN_28



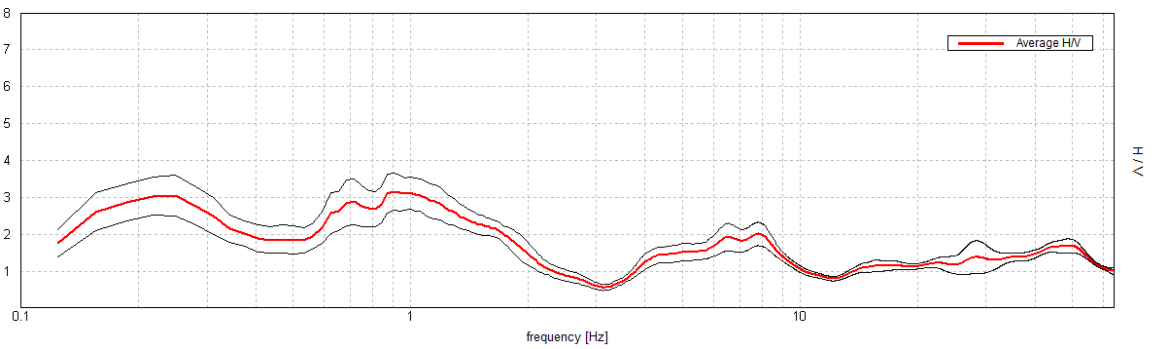
Max. H/V at 0.69 ± 0.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



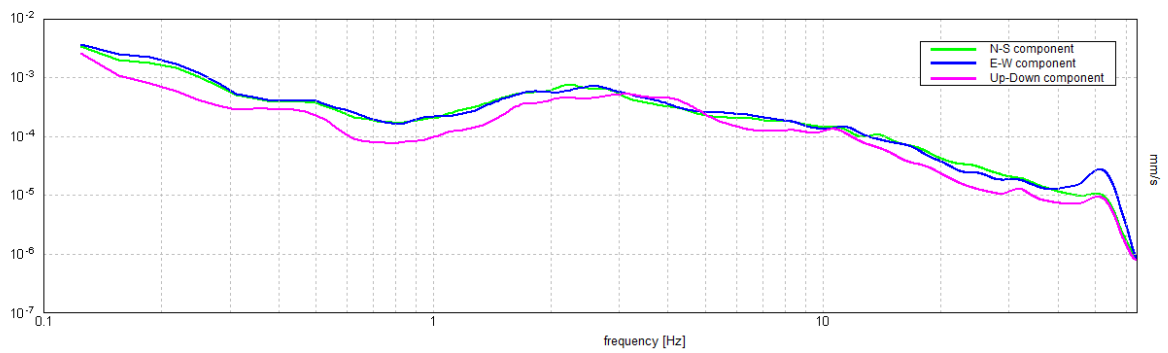
ZGN_29



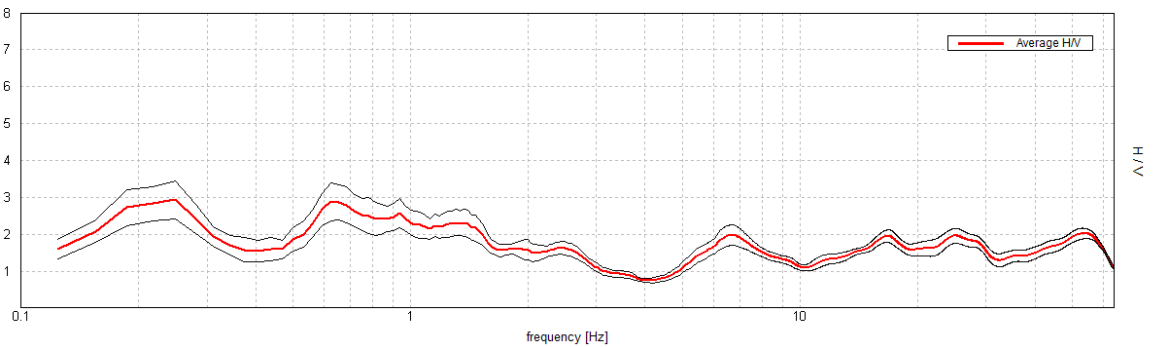
Max. H/V at 0.91 ± 0.2 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



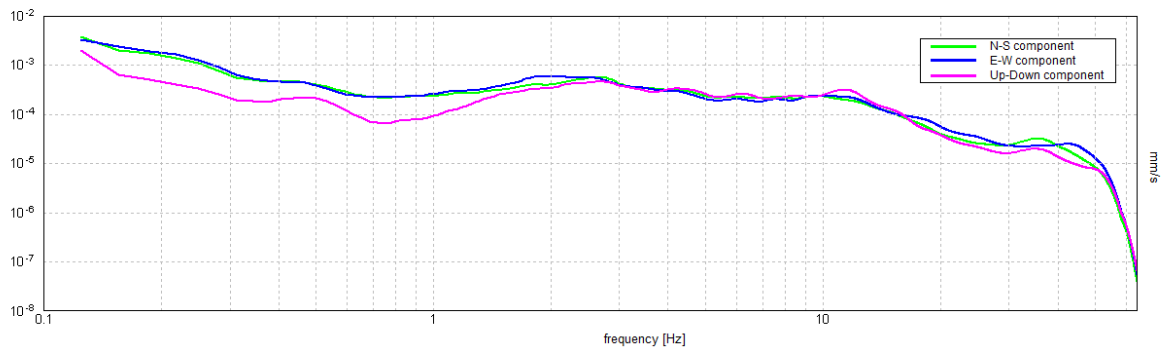
ZGN_30



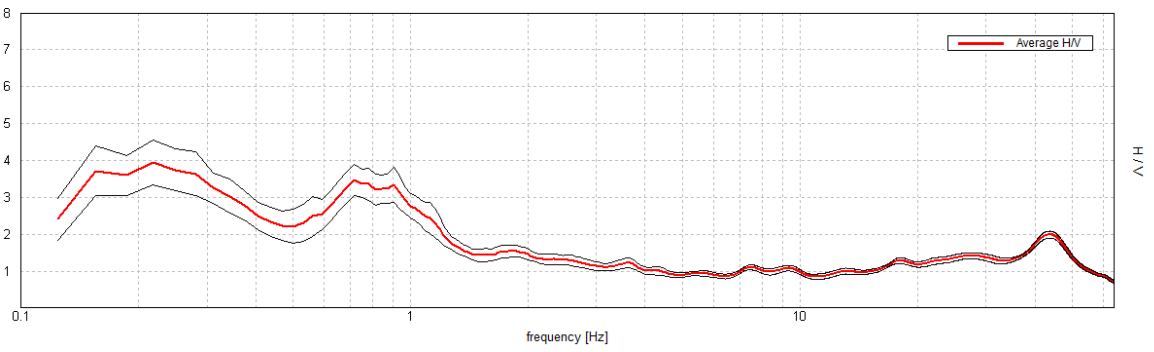
Max. H/V at 0.25 ± 0.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



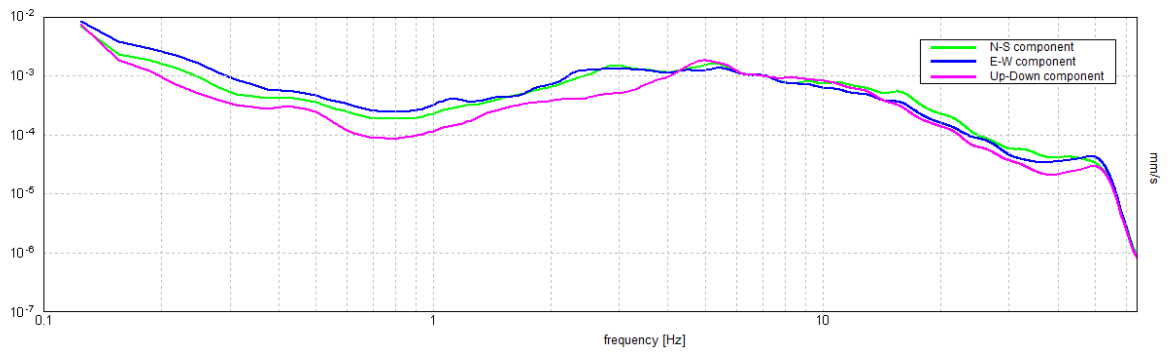
ZGN_31



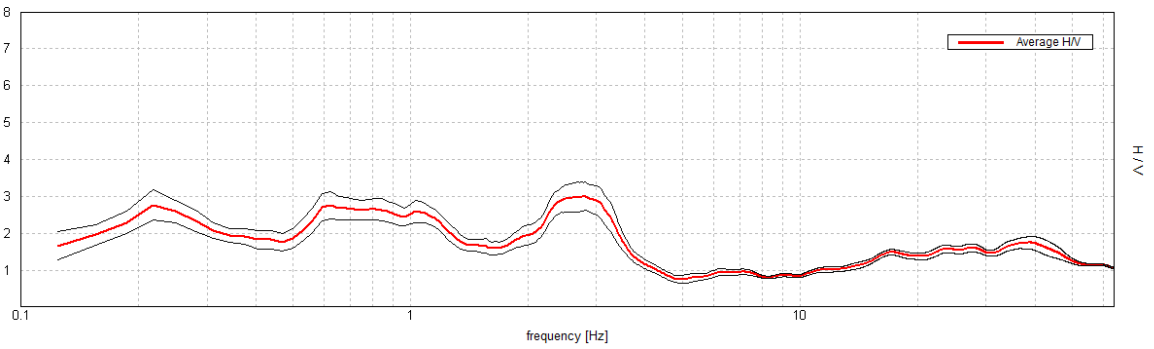
Max. H/V at 0.22 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



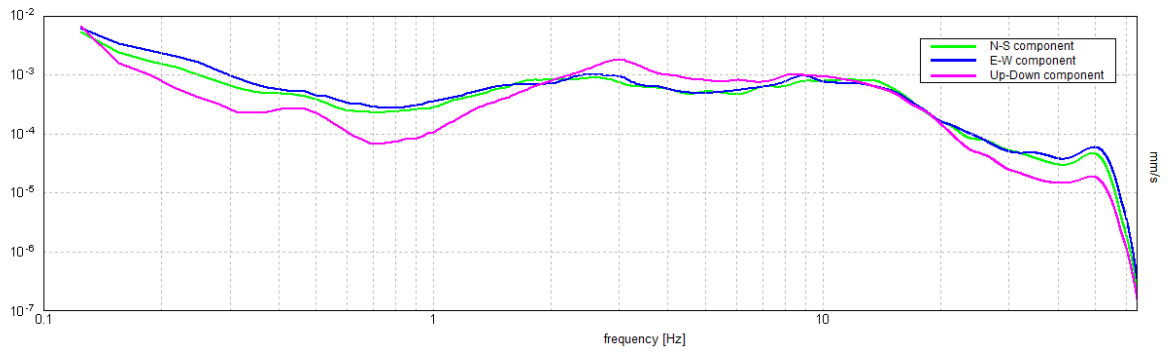
ZGN_32



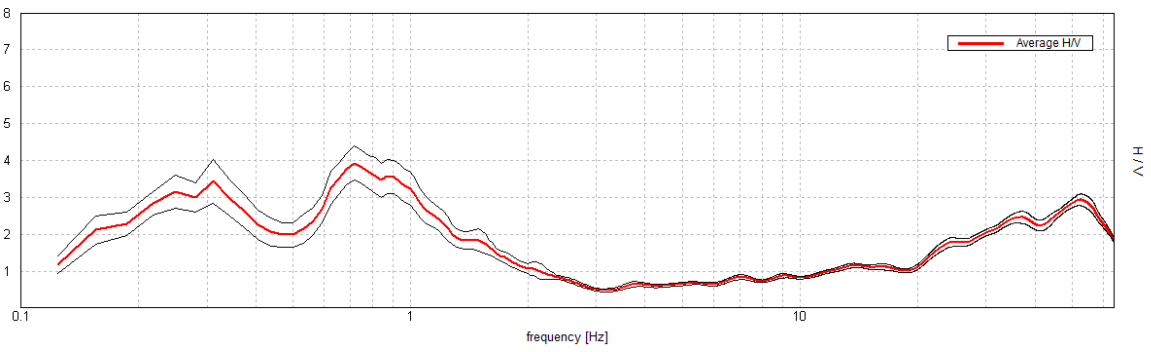
Max. H/V at 2.81 ± 0.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



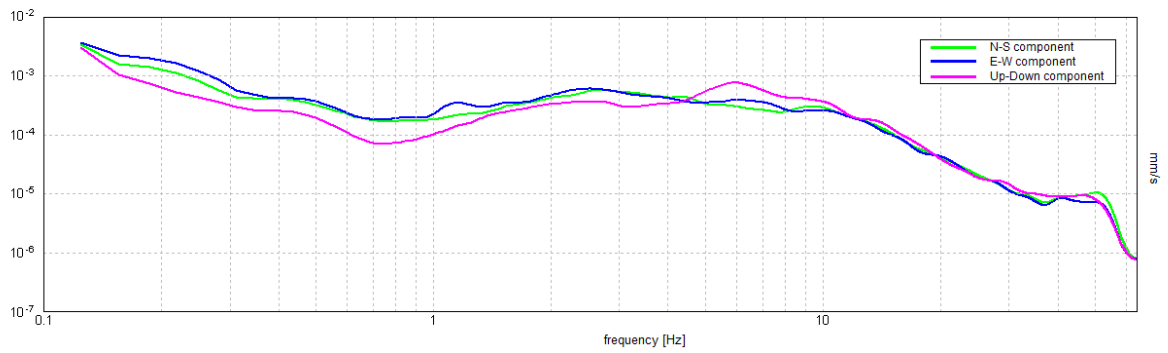
ZGN_33



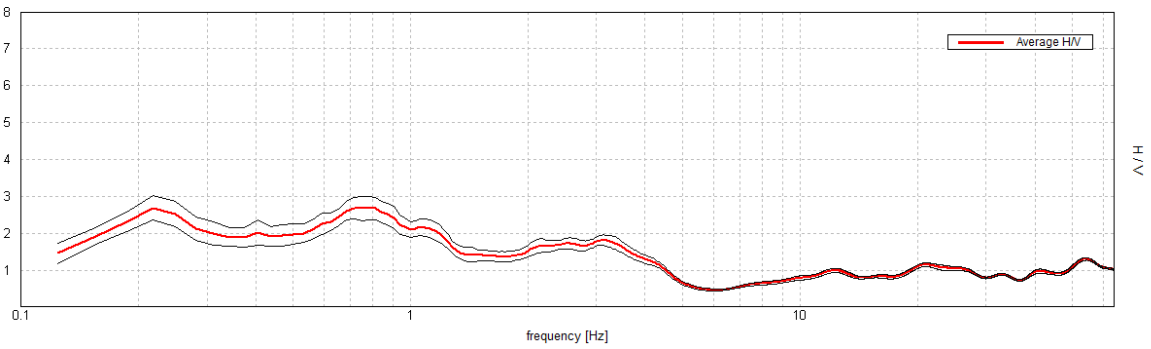
Max. H/V at 0.72 ± 0.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



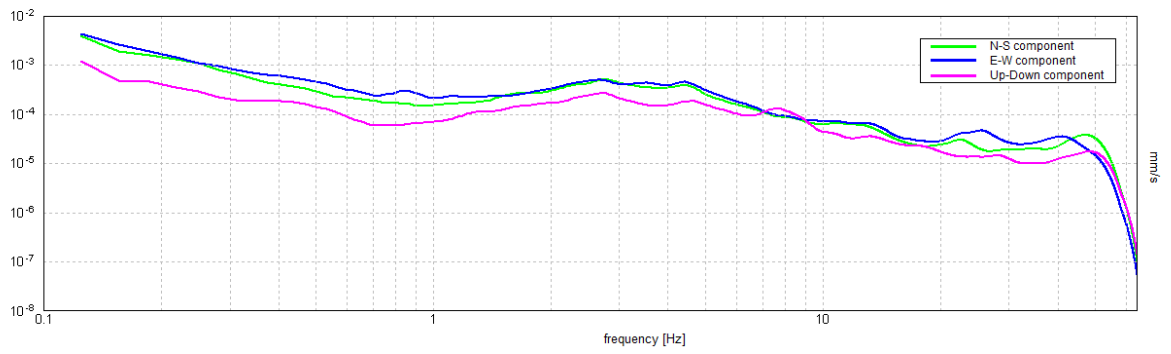
ZGN_34



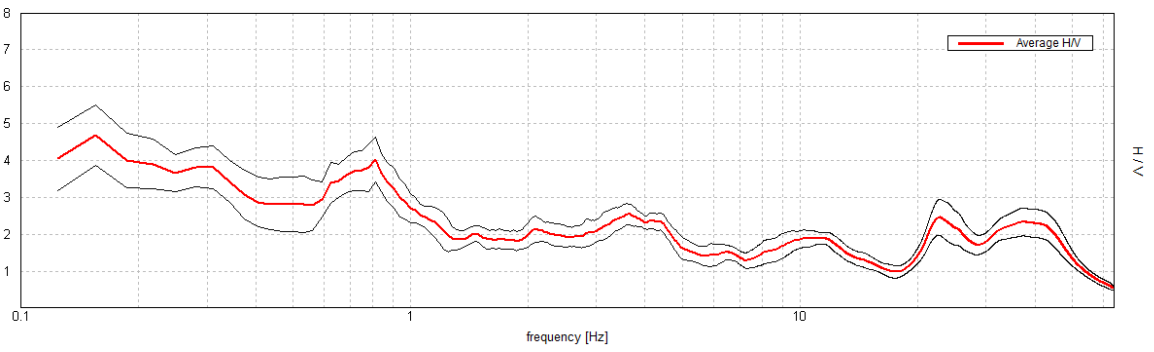
Max. H/V at 0.22 ± 0.42 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



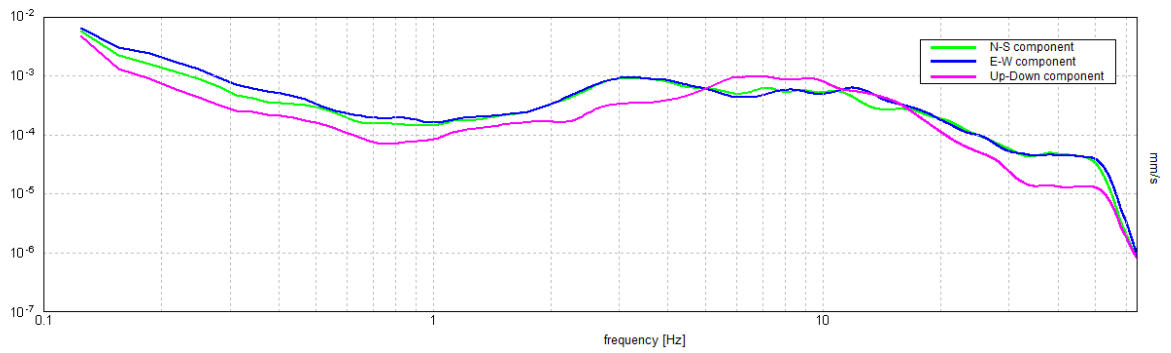
ZGN_35



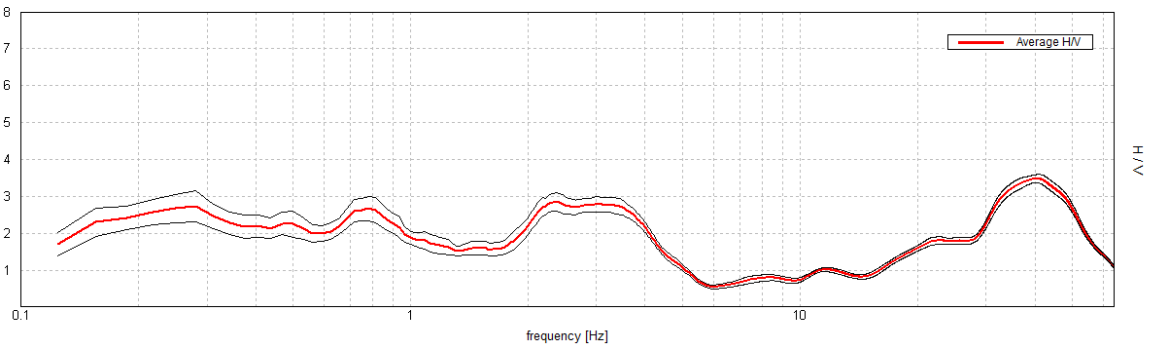
Max. H/V at 0.16 ± 0.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



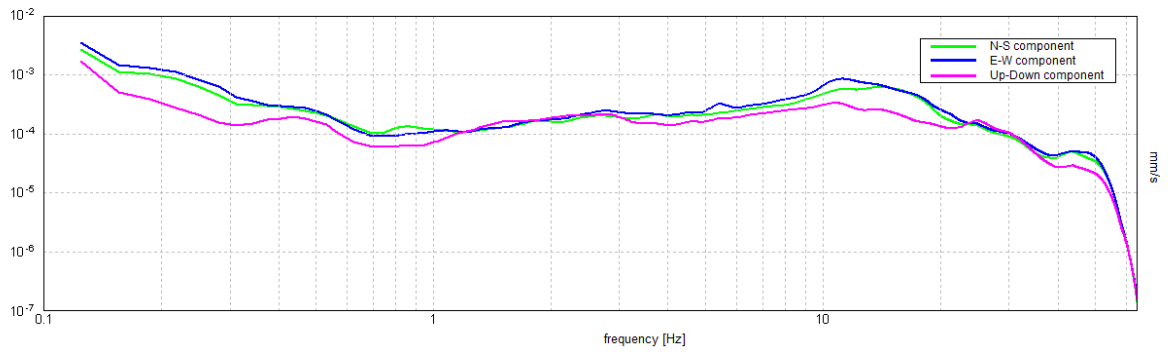
ZGN_36



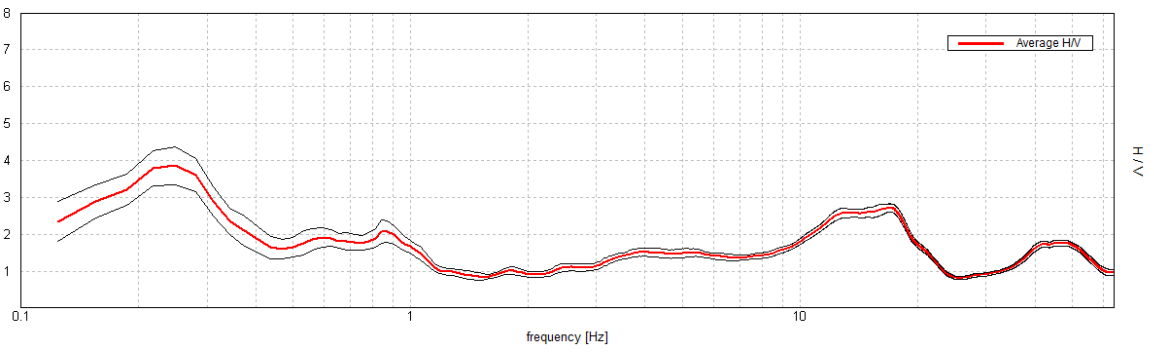
Max. H/V at 40.5 ± 13.79 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



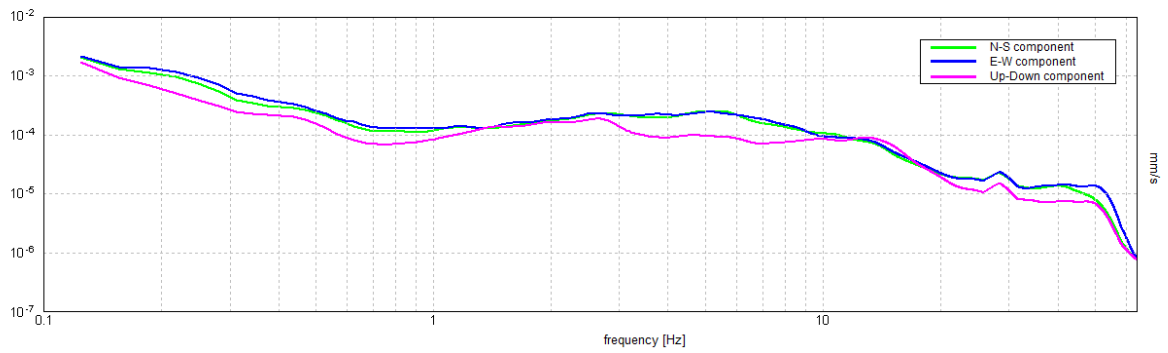
ZGN_37



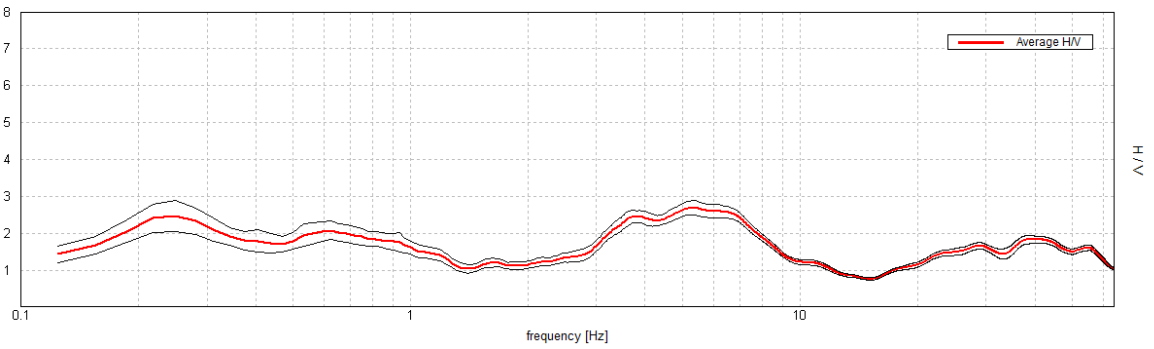
Max. H/V at 0.25 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



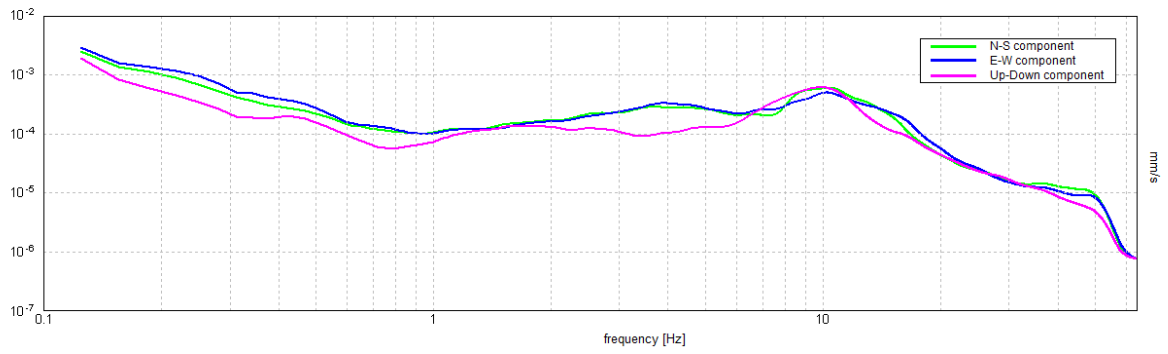
ZGN_38



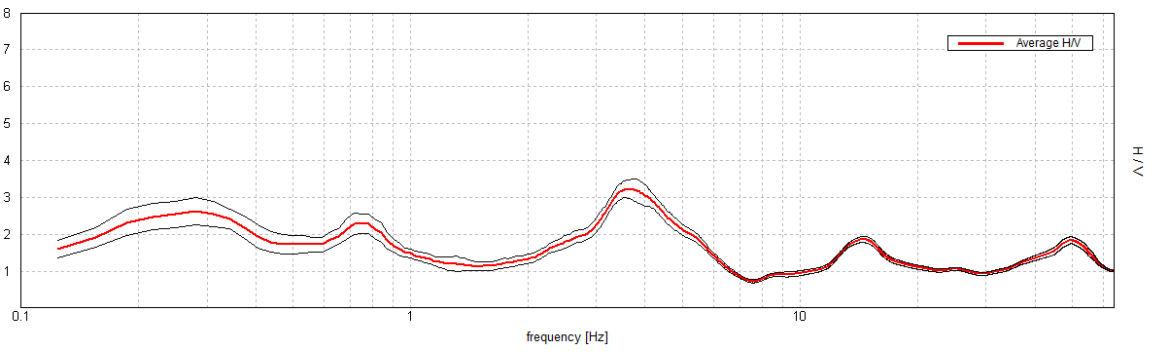
Max. H/V at 5.31 ± 1.75 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



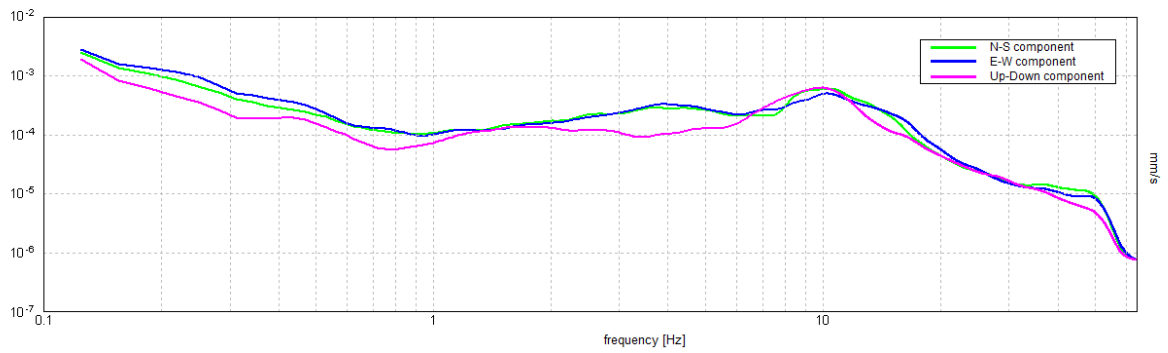
ZGN_39



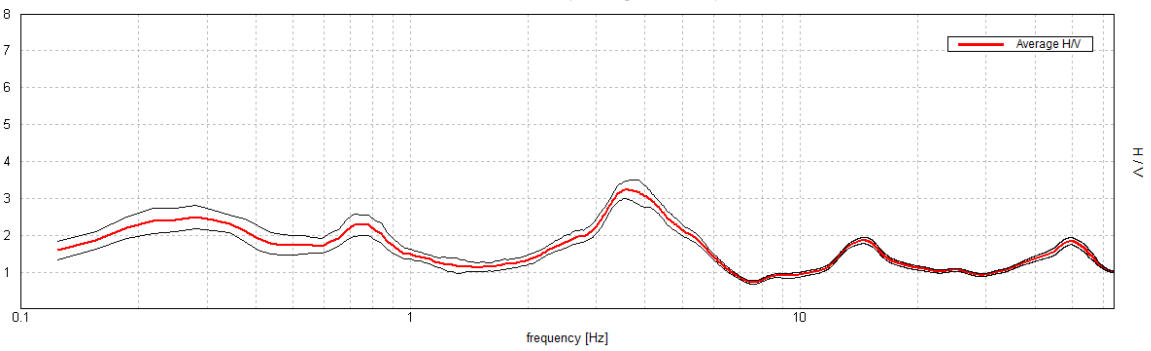
Max. H/V at 3.56 ± 1.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



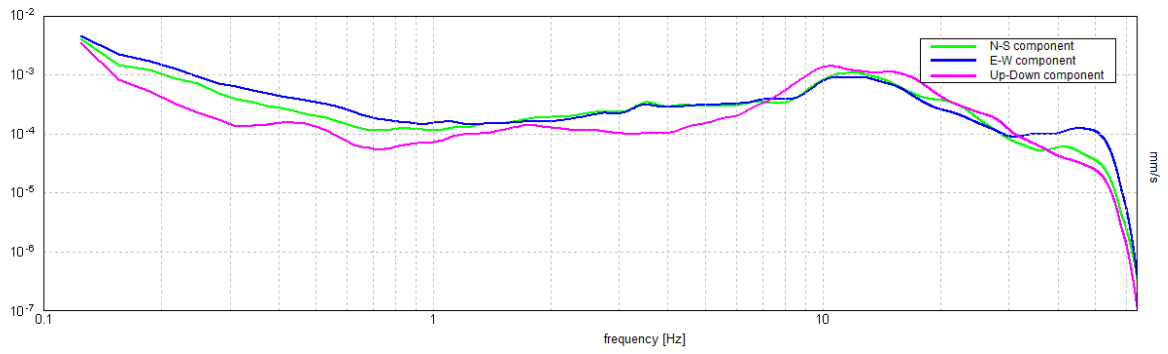
ZGN_40



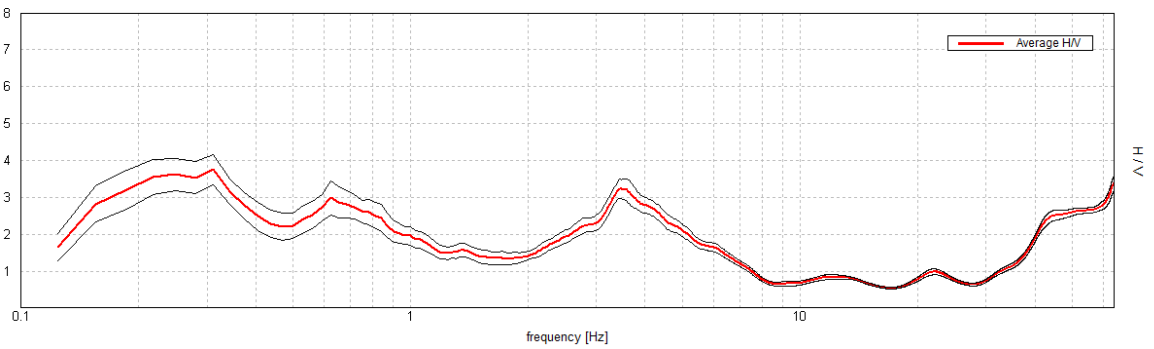
Max. H/V at 3.56 ± 0.9 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



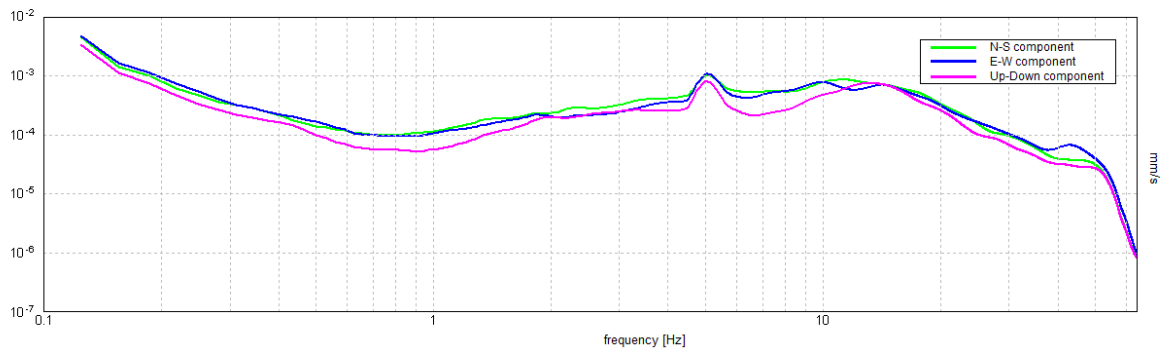
ZGN_41



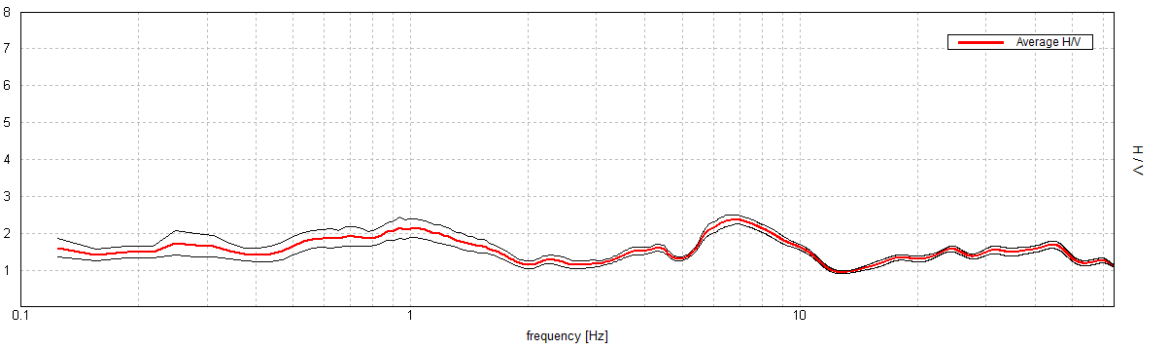
Max. H/V at 0.31 ± 30.83 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



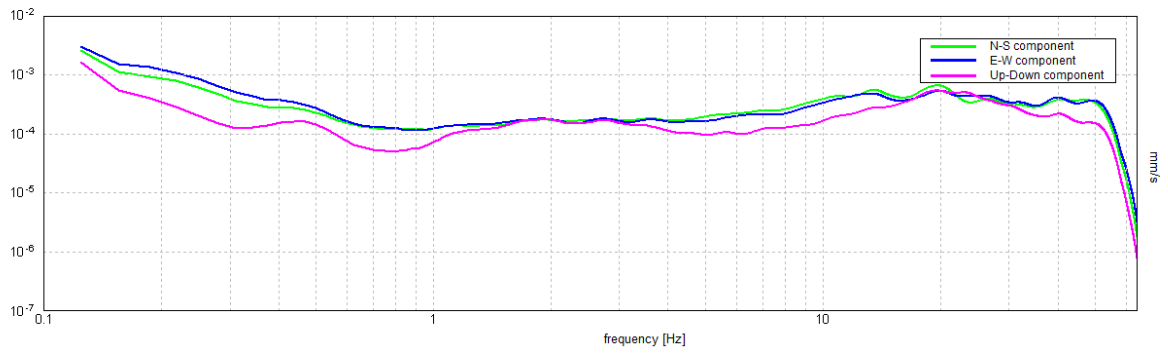
ZGN_42



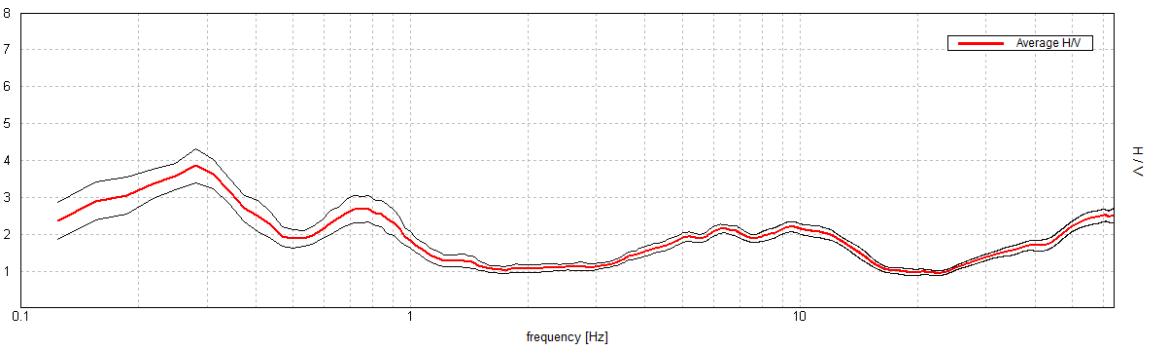
Max. H/V at 6.84 ± 2.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



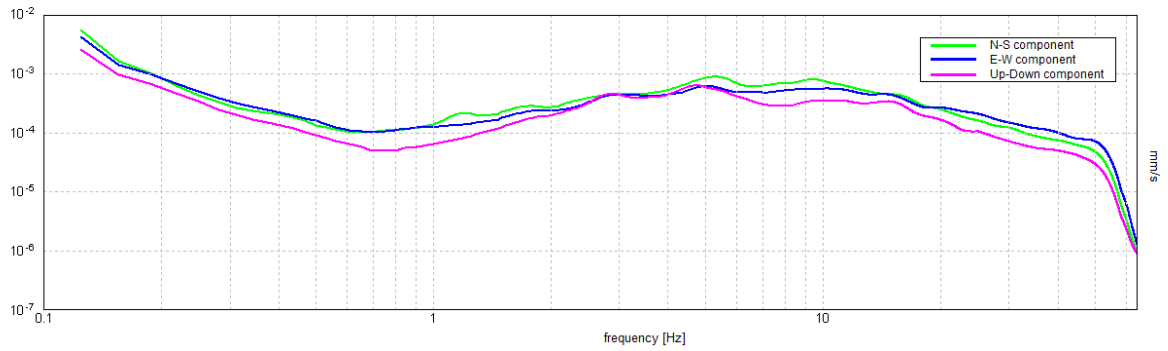
ZGN_43



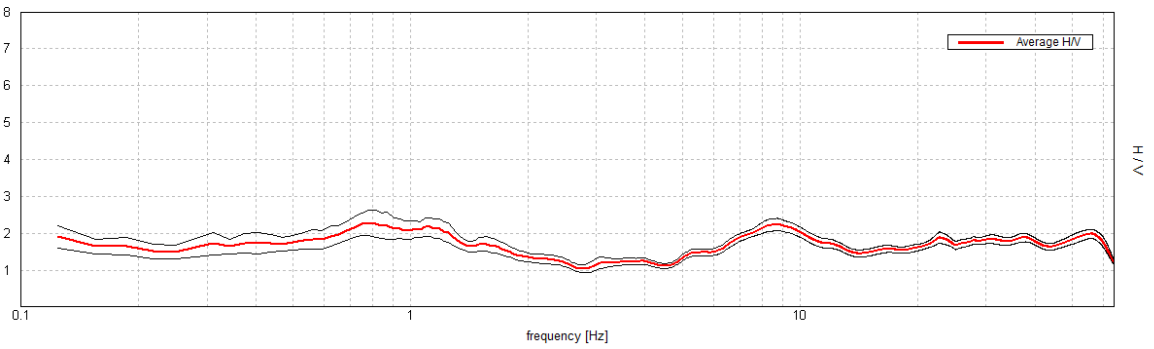
Max. H/V at 0.28 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



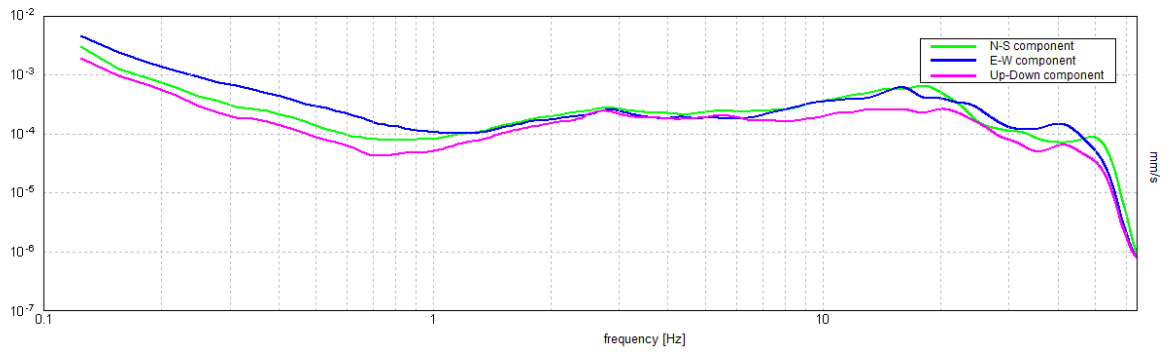
ZGN_44



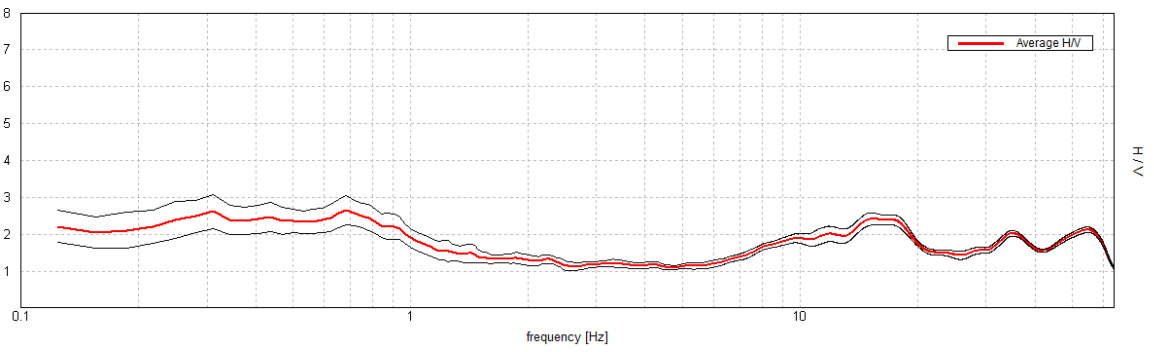
Max. H/V at 0.78 ± 6.76 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



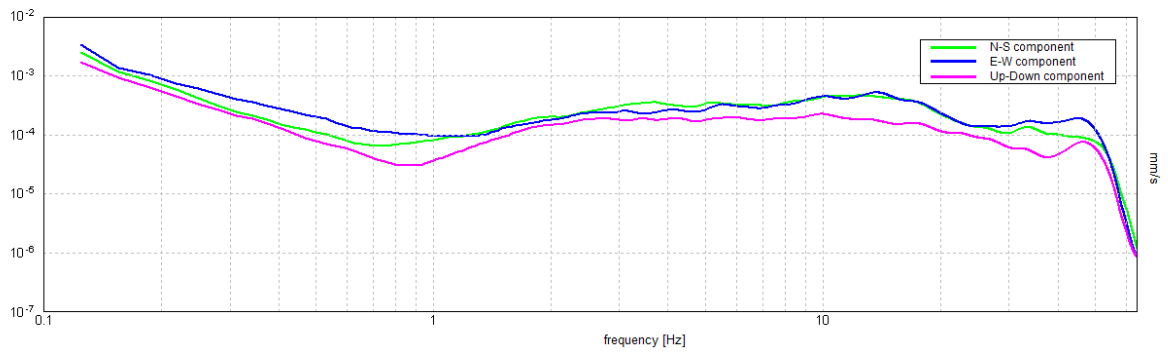
ZGN_45



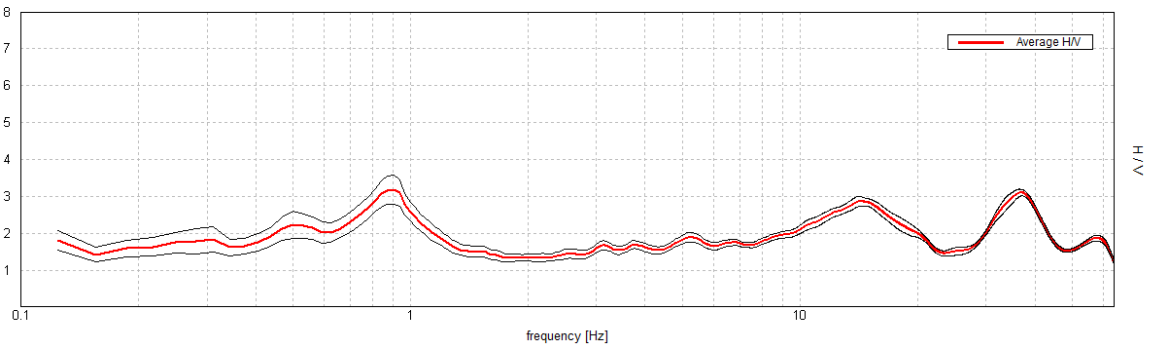
Max. H/V at 0.69 ± 0.38 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



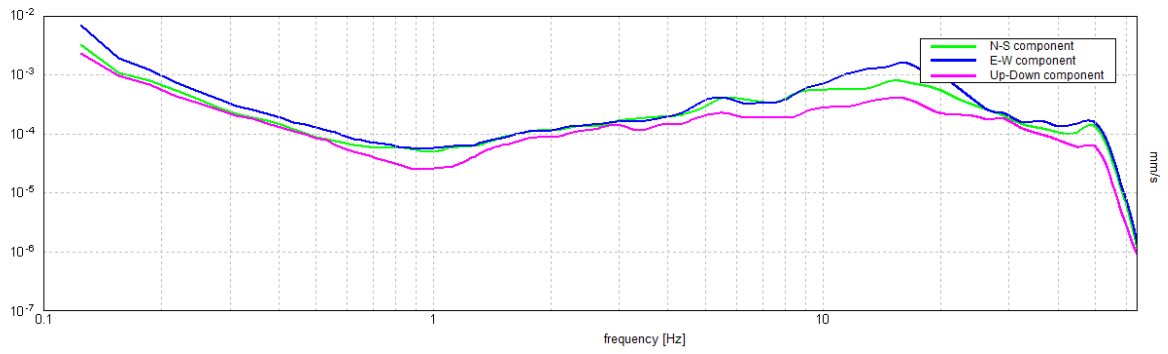
ZGN_46



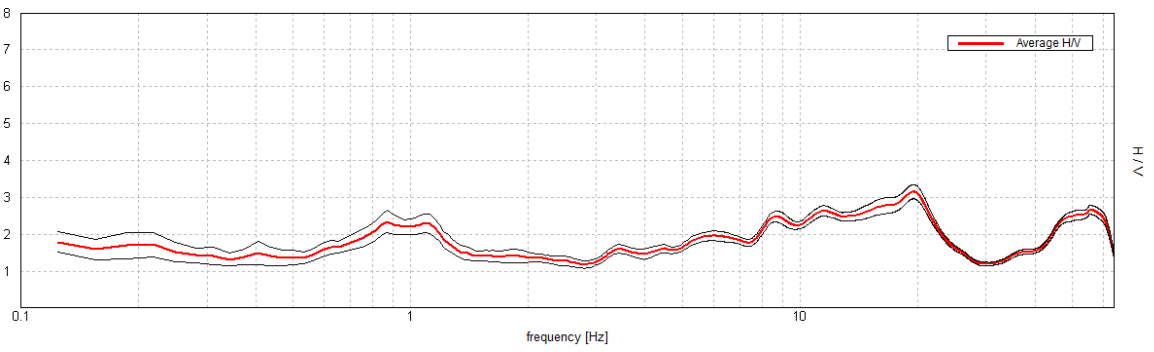
Max. H/V at 0.91 ± 11.82 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



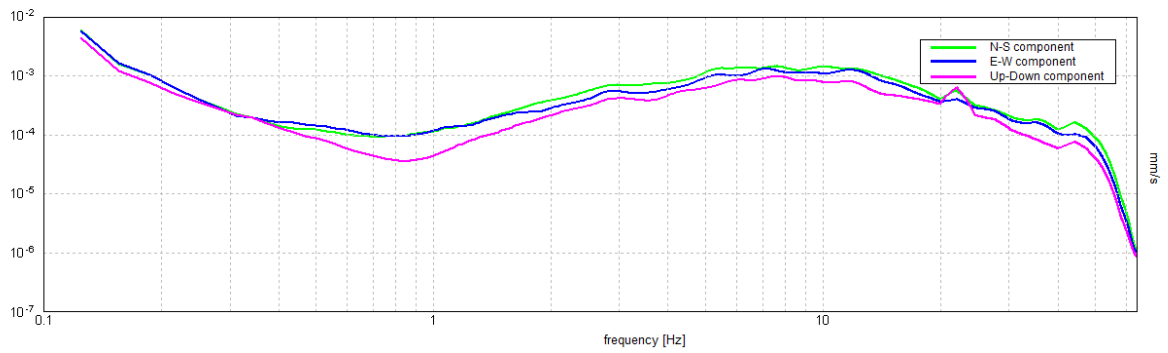
ZGN_47



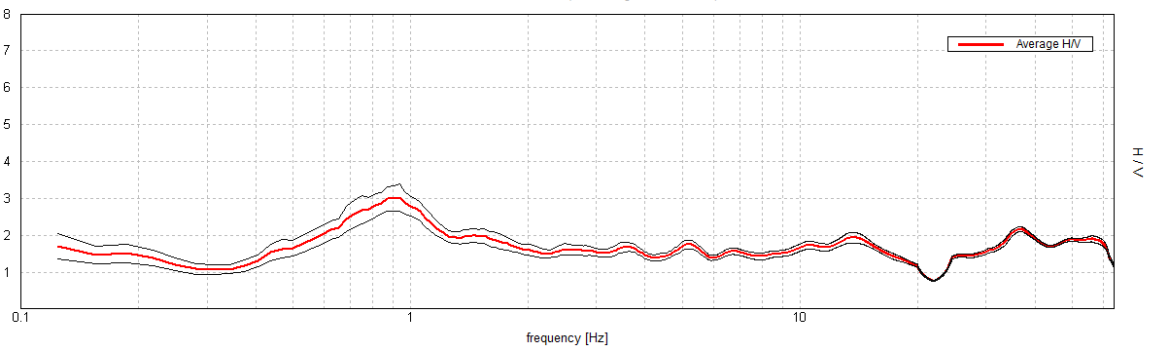
Max. H/V at 19.53 ± 0.13 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



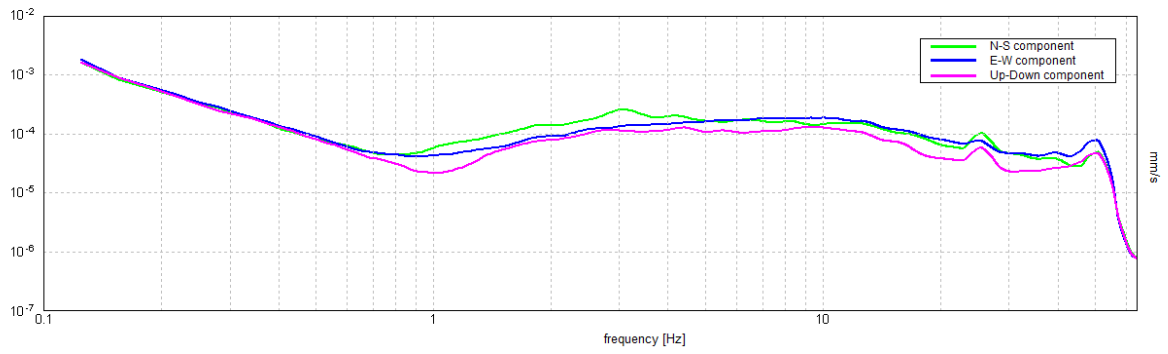
ZGN_48



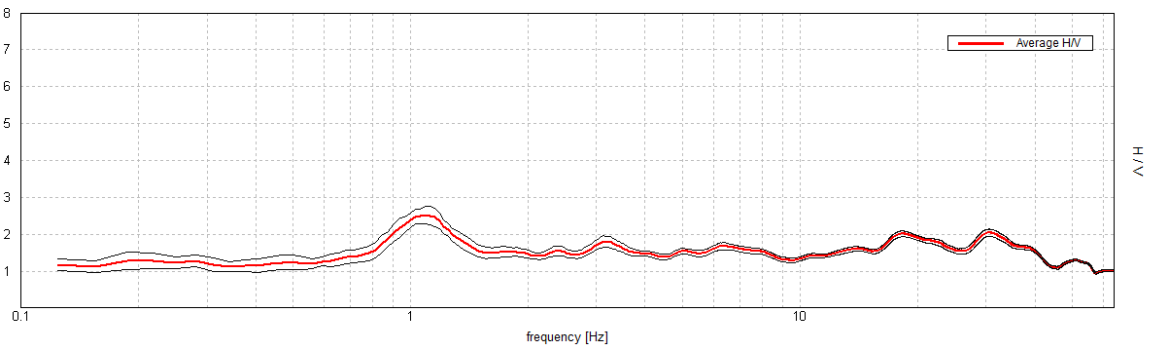
Max. H/V at 0.94 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



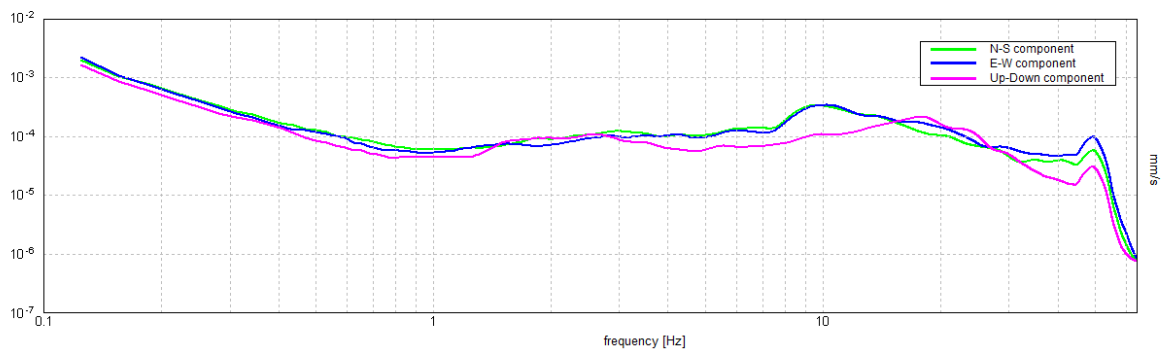
ZGN_49



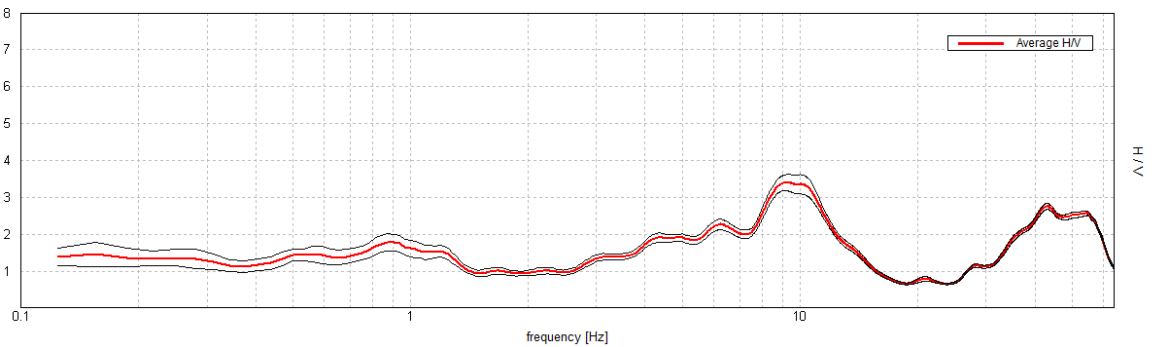
Max. H/V at 1.09 ± 0.12 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



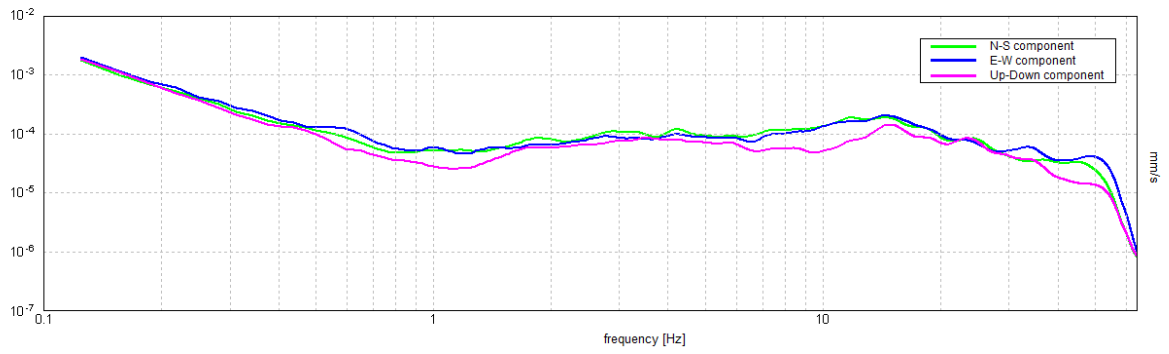
ZGN_50



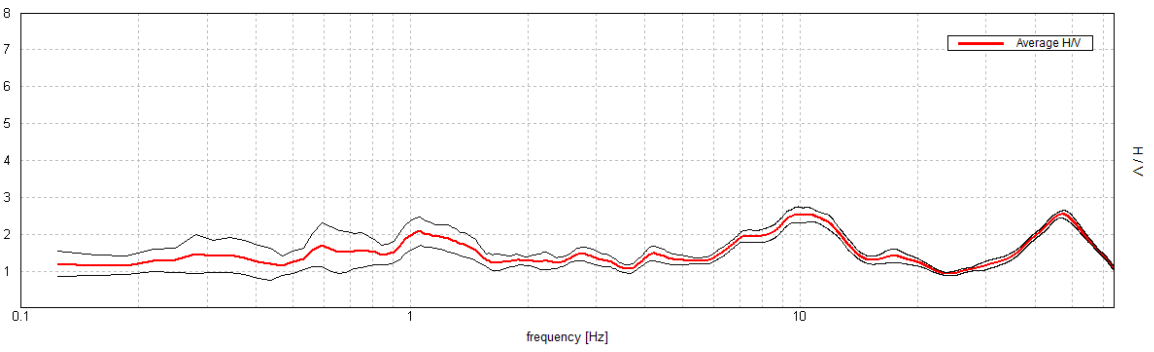
Max. H/V at 9.25 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



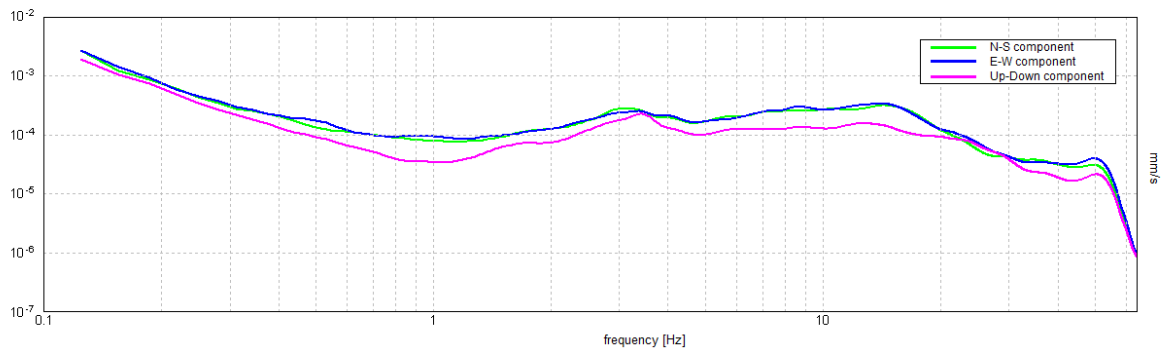
ZGN_51



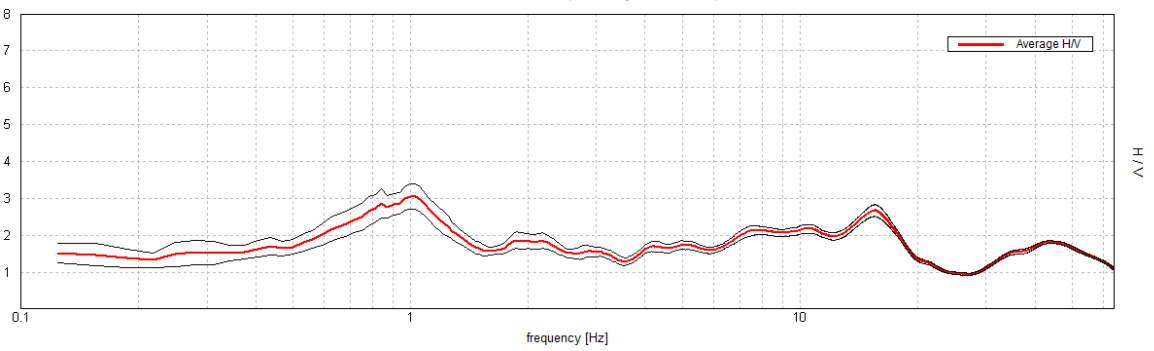
Max. H/V at 46.88 ± 20.75 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



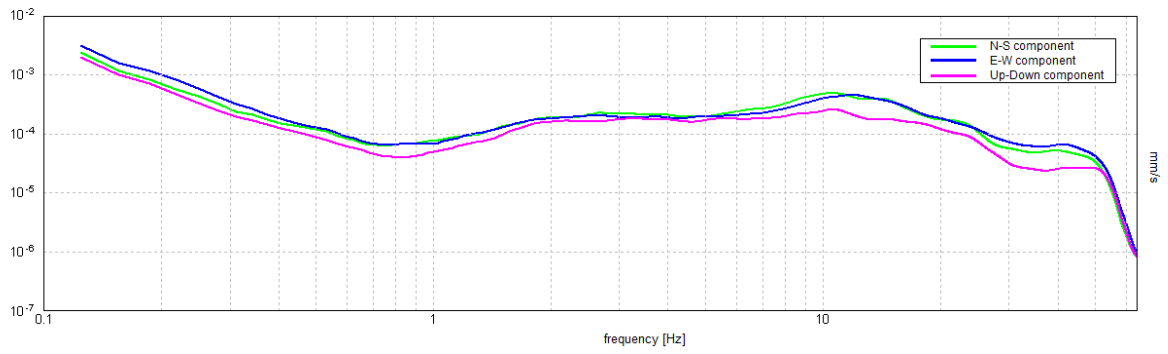
ZGN_52



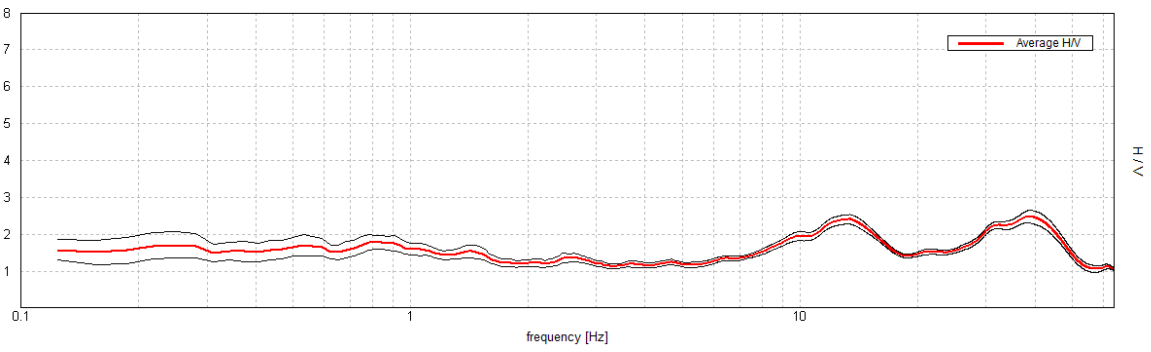
Max. H/V at 1.0 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



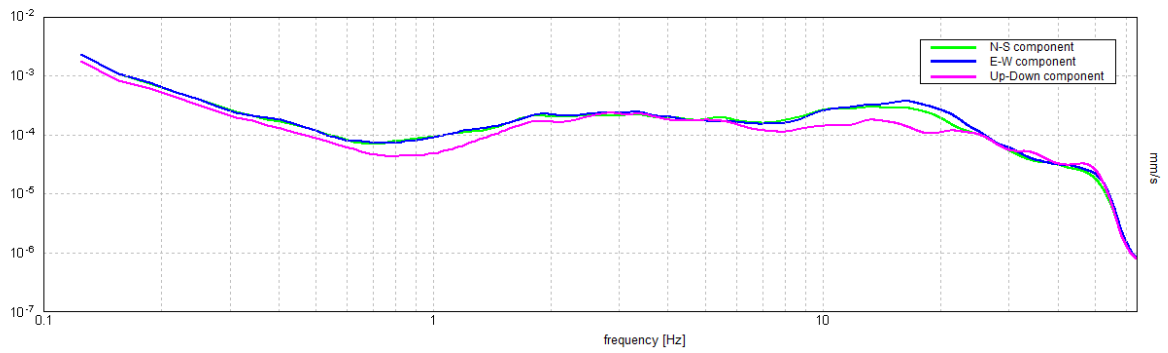
ZGN_53



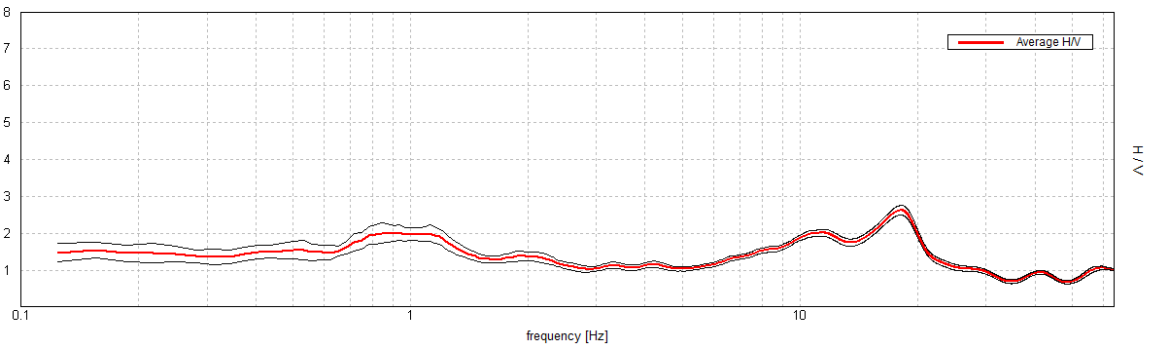
Max. H/V at 38.75 ± 8.95 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



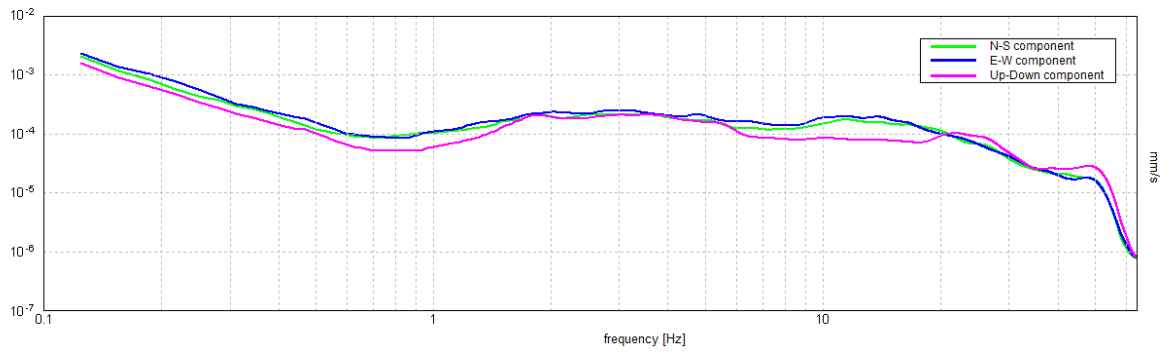
ZGN_54



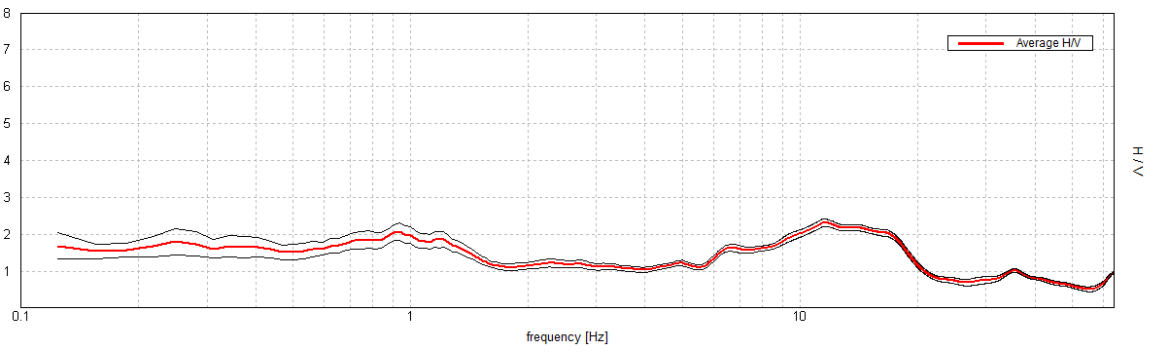
Max. H/V at 18.13 ± 4.97 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



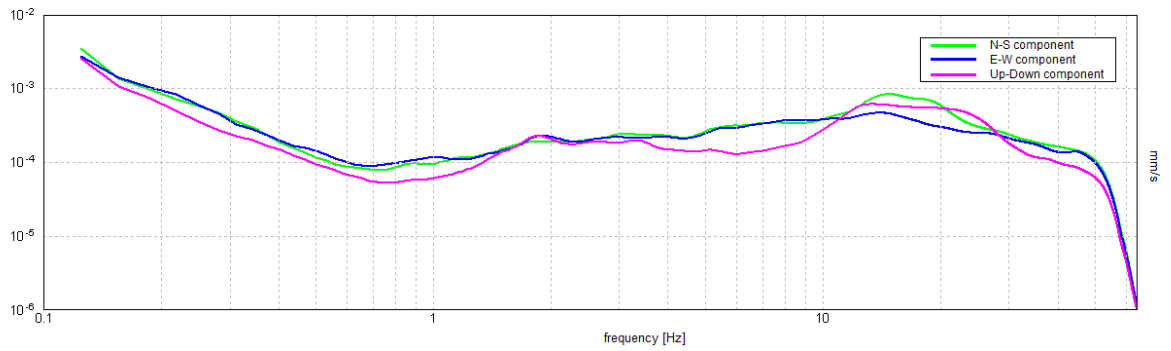
ZGN_55



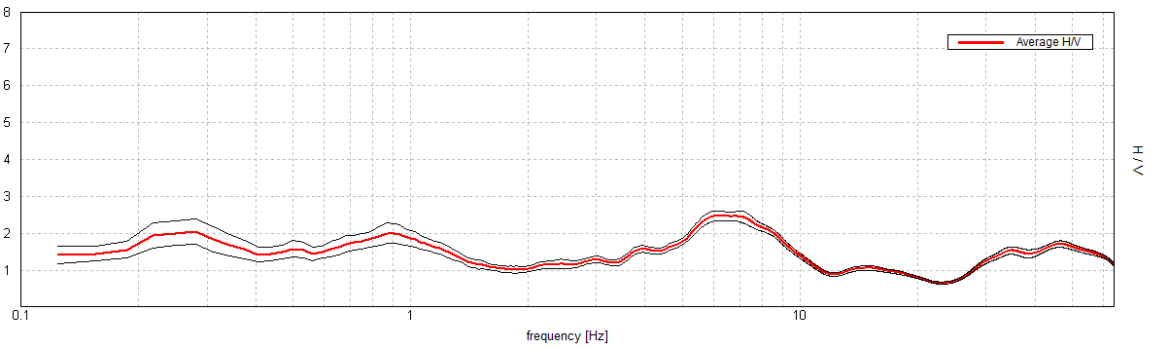
Max. H/V at 11.56 ± 2.91 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



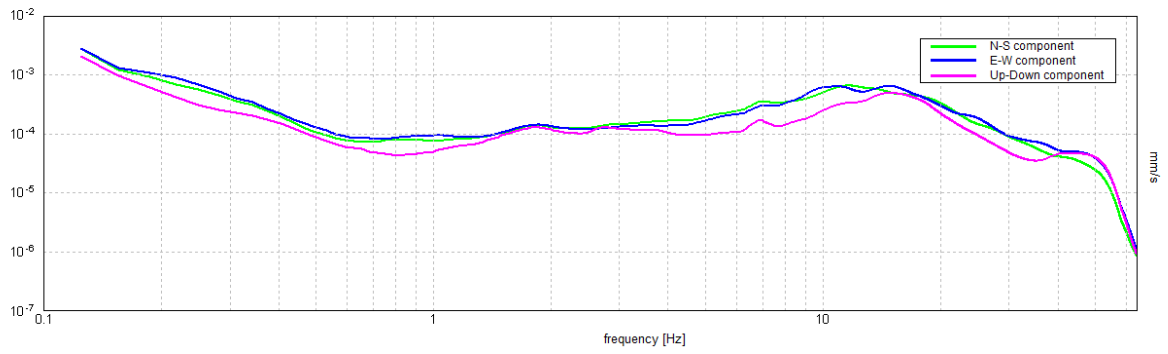
ZGN_56



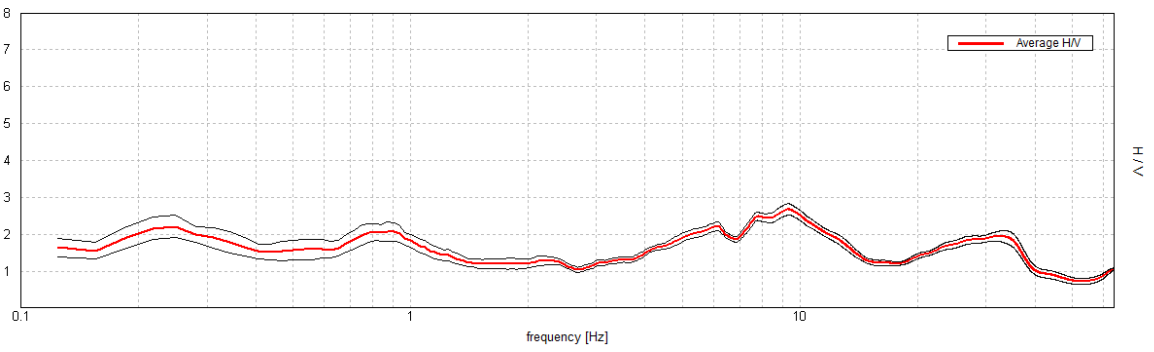
Max. H/V at 6.13 ± 1.62 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



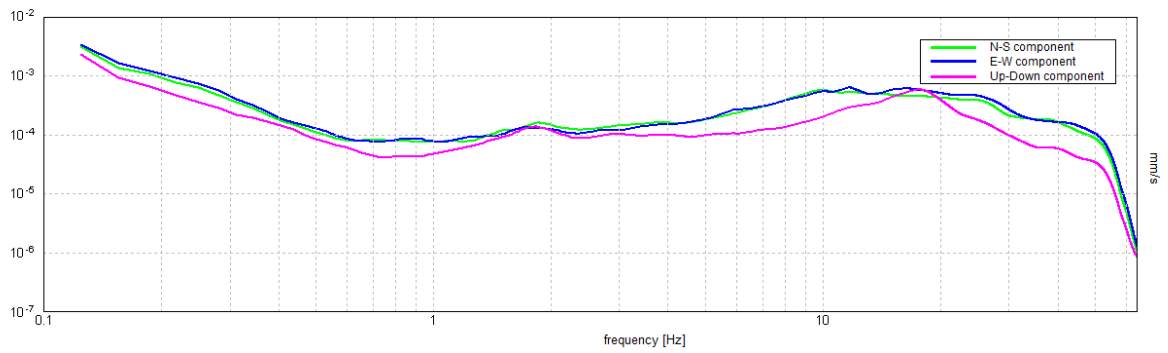
ZGN_57



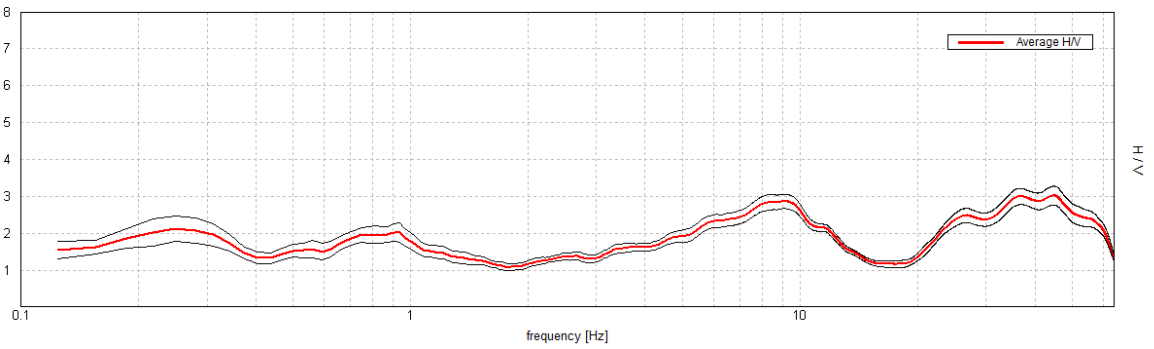
Max. H/V at 9.34 ± 4.56 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



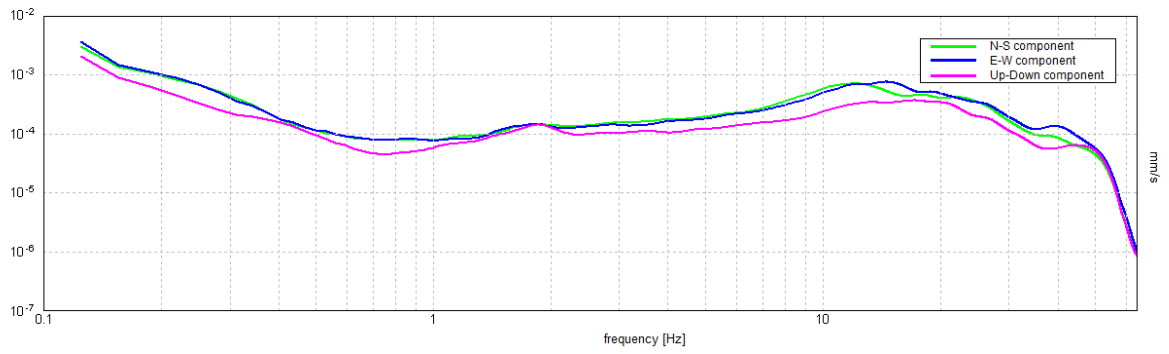
ZGN_58



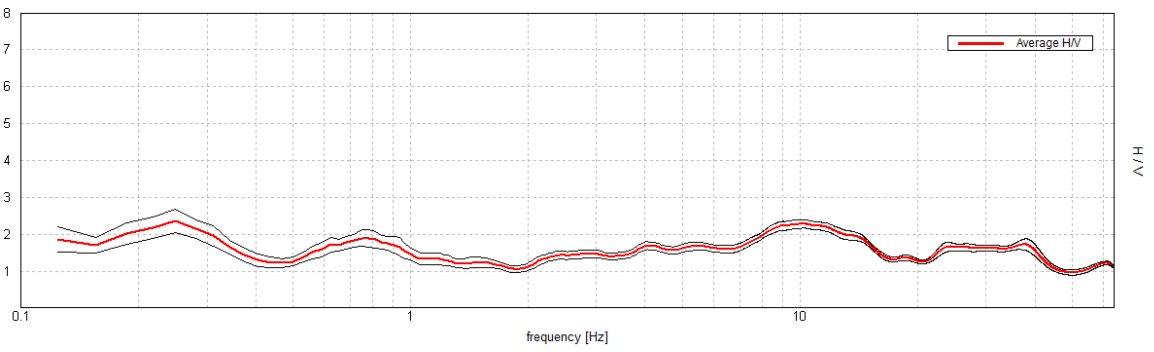
Max. H/V at 44.69 ± 13.26 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



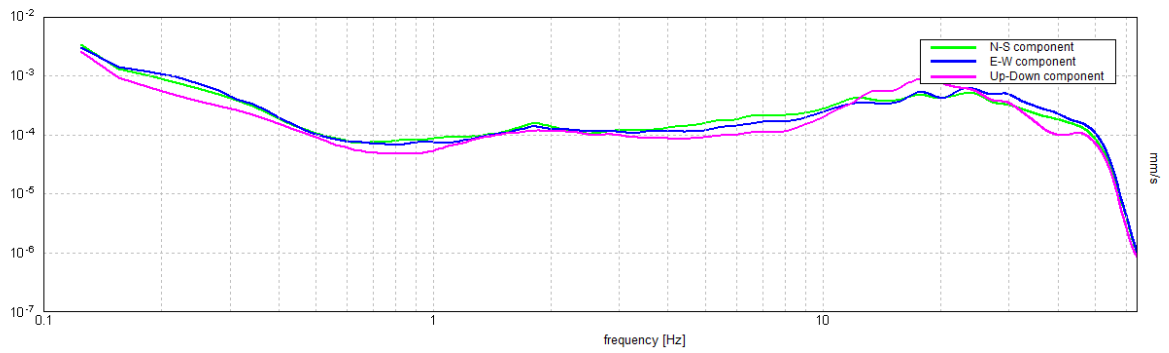
ZGN_59



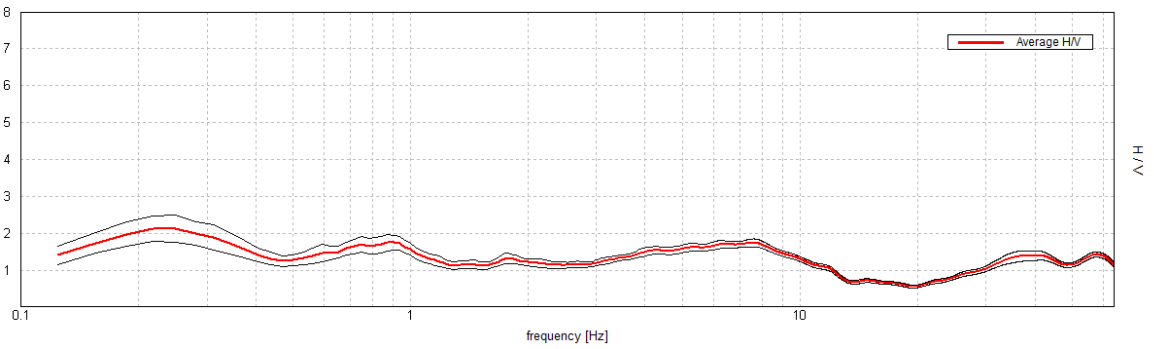
Max. H/V at 0.25 ± 7.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



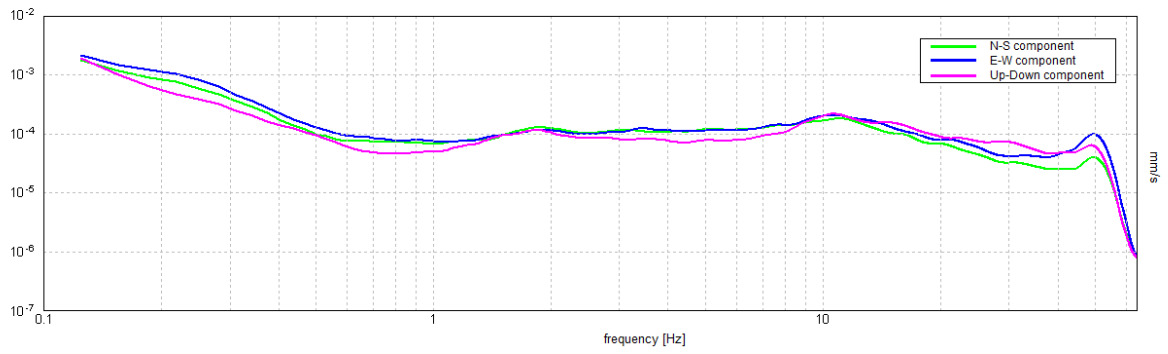
ZGN_60



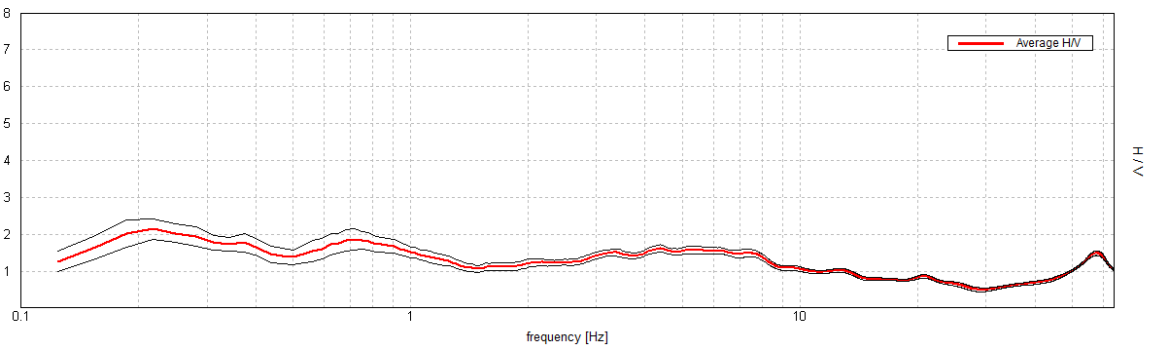
Max. H/V at 0.22 ± 1.79 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



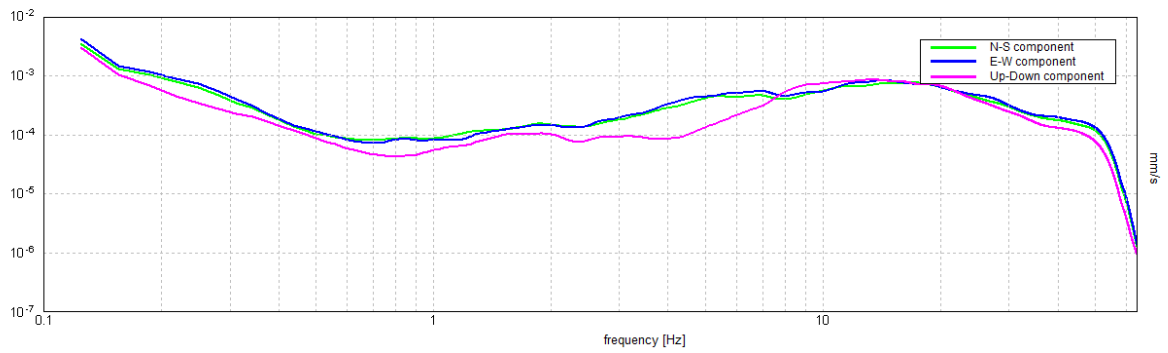
ZGN_61



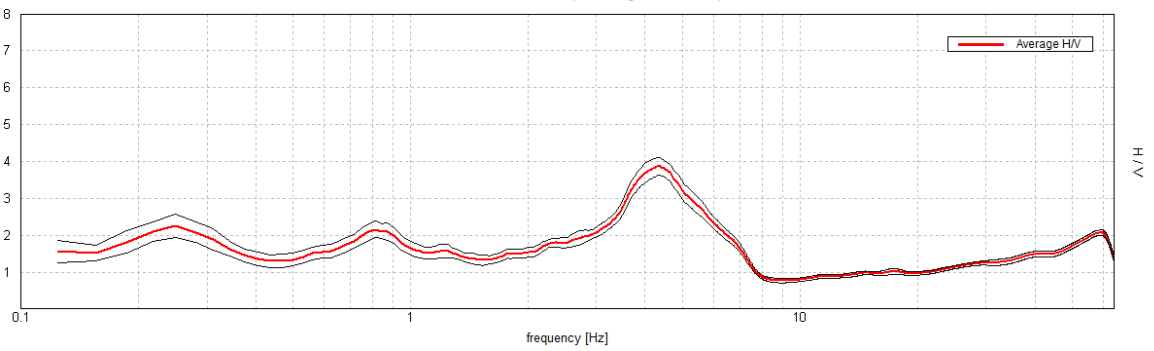
Max. H/V at 0.22 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



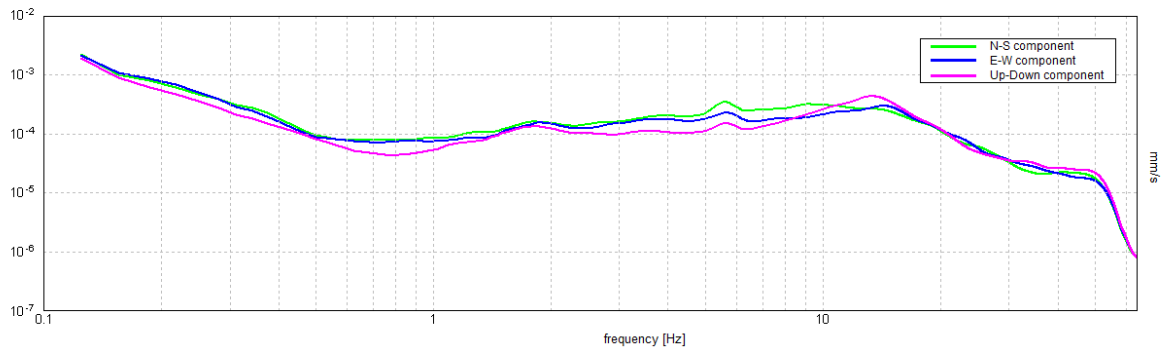
ZGN_62



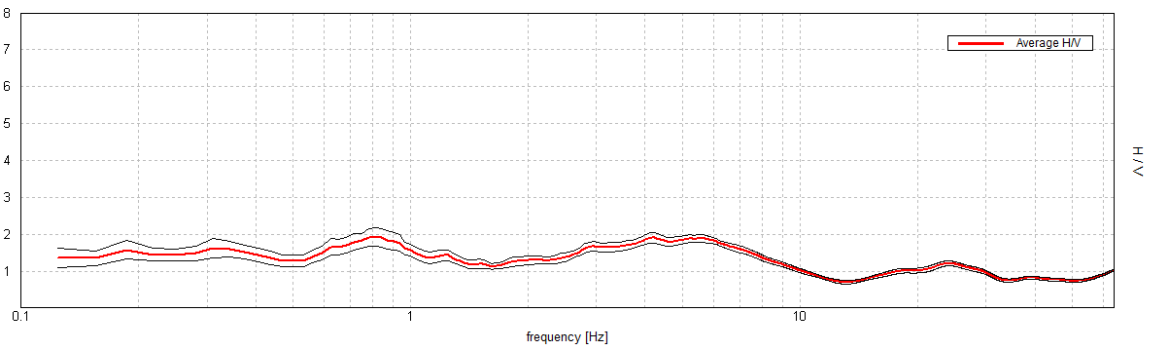
Max. H/V at 4.34 ± 0.53 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



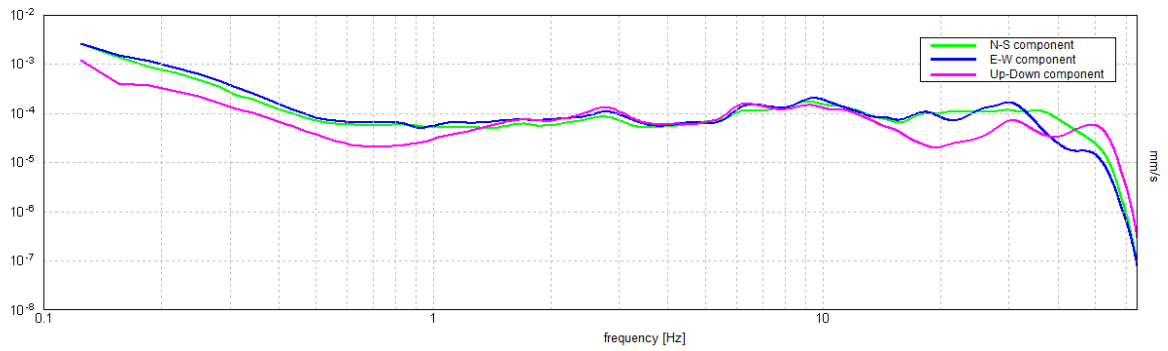
ZGN_63



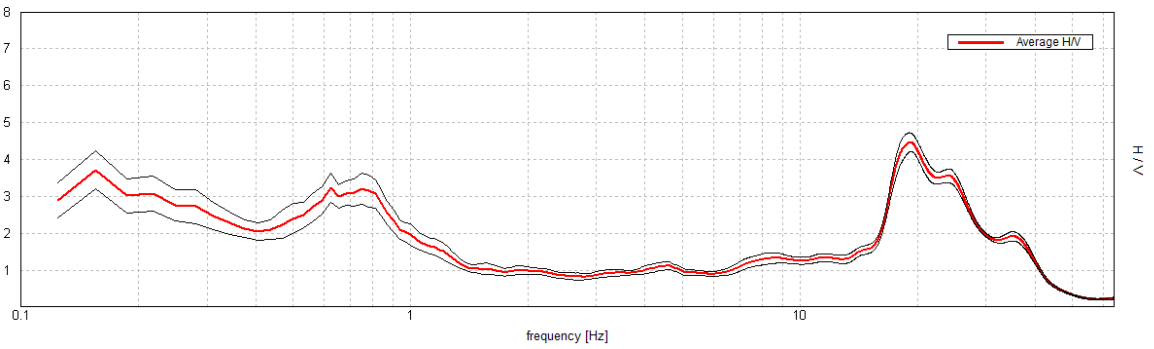
Max. H/V at 0.81 ± 0.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



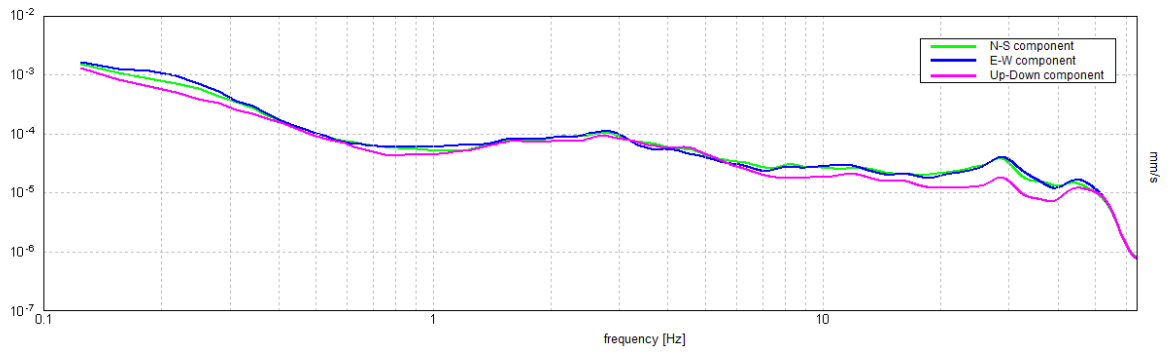
ZGN_64



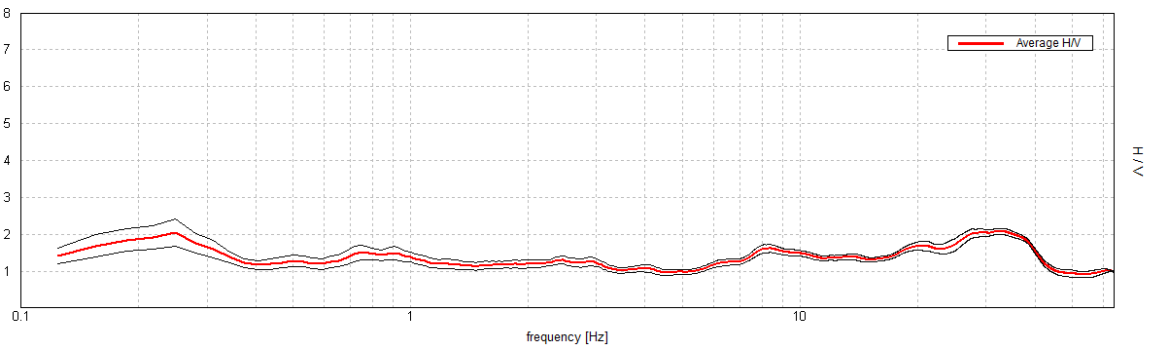
Max. H/V at 19.06 ± 11.89 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



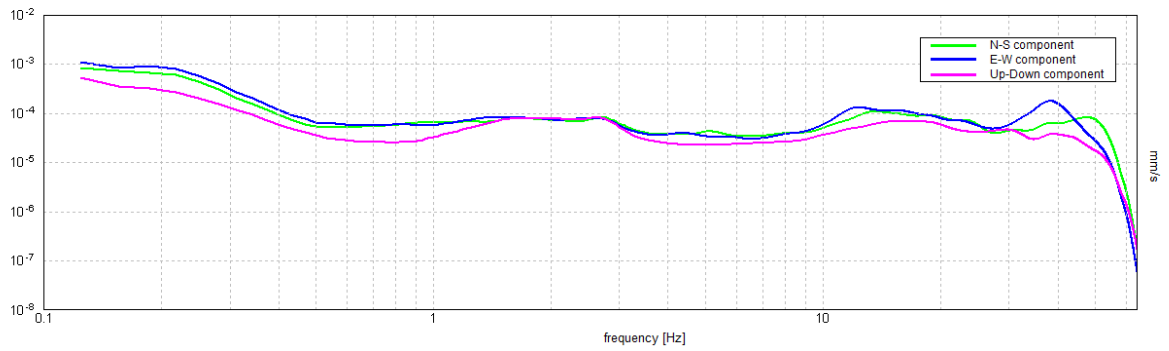
ZGN_65



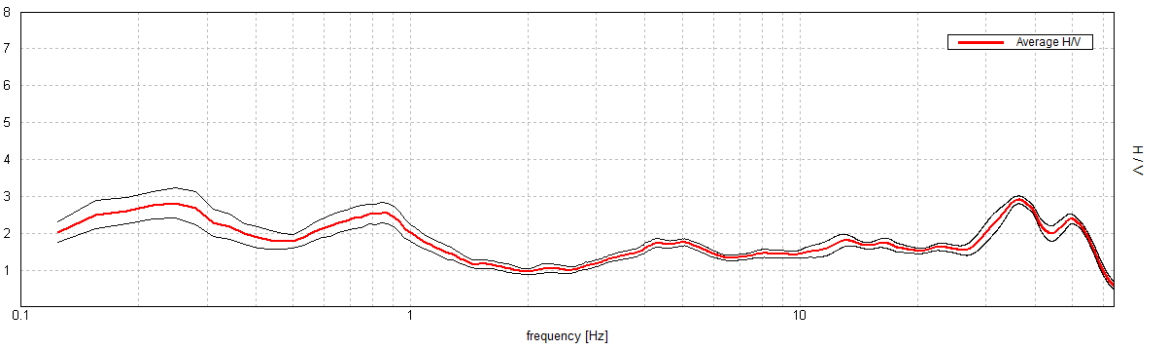
Max. H/V at 32.72 ± 22.77 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



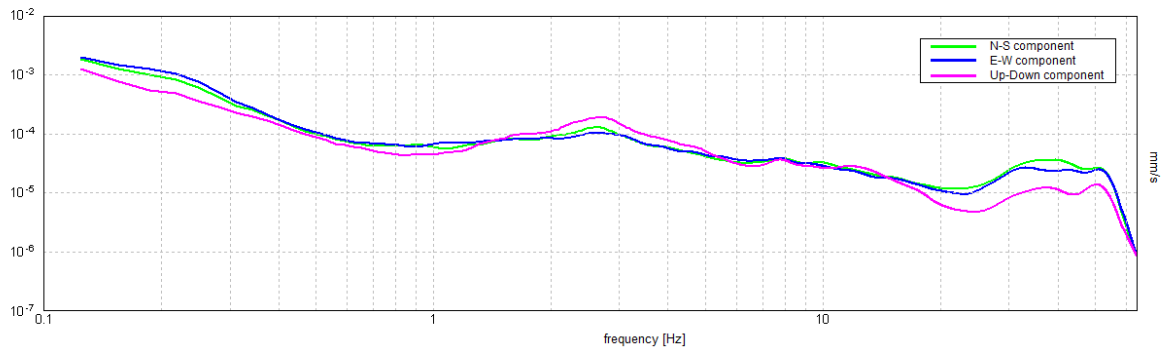
ZGN_66



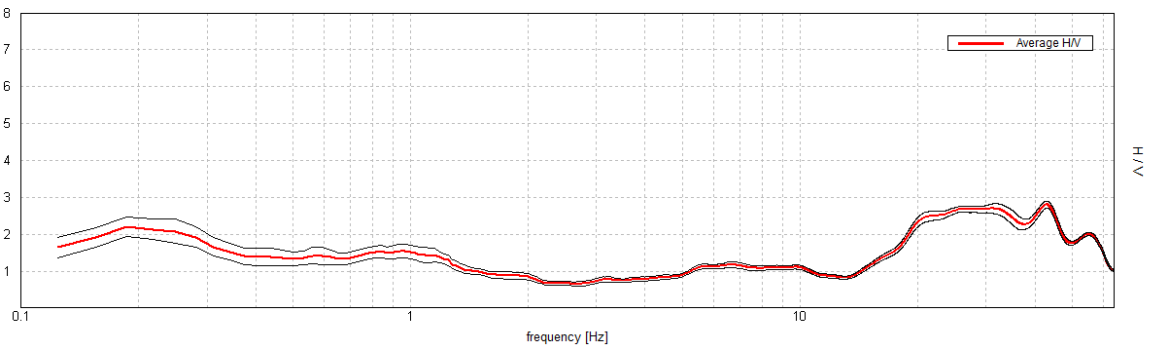
Max. H/V at 36.44 ± 29.12 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



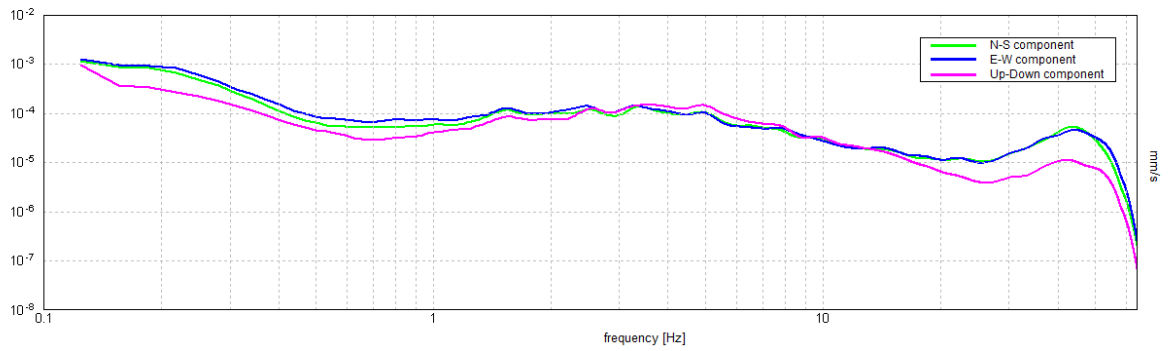
ZGN_67



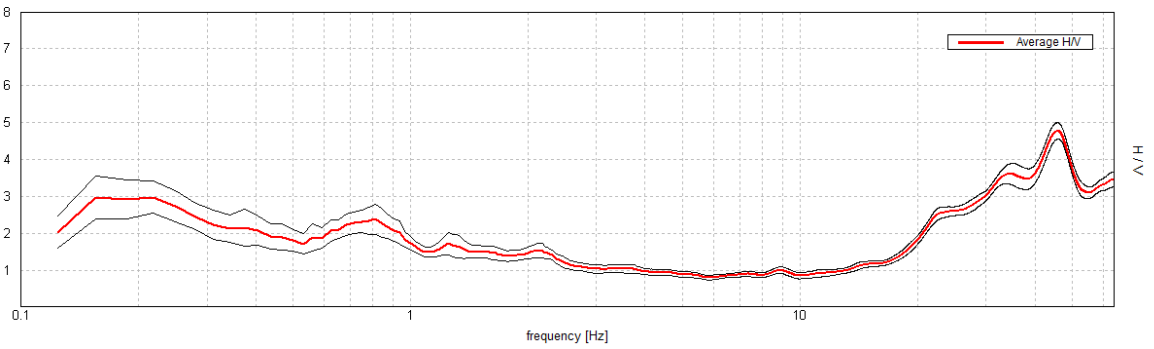
Max. H/V at 42.81 ± 12.88 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



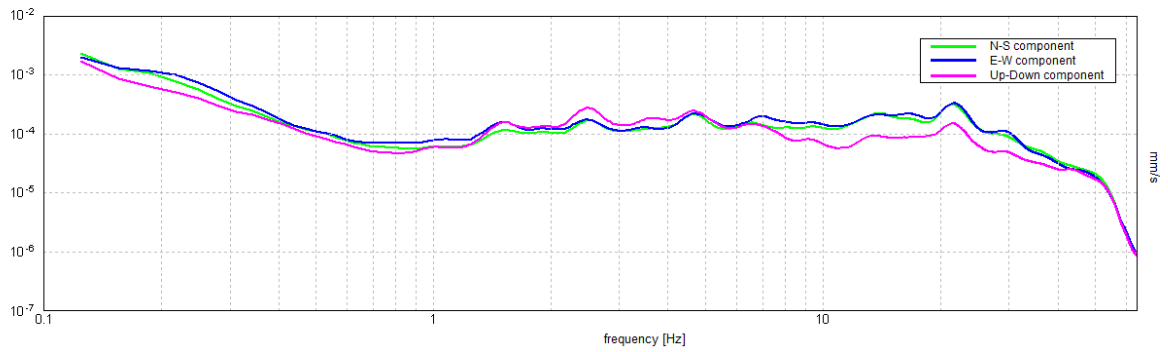
ZGN_68



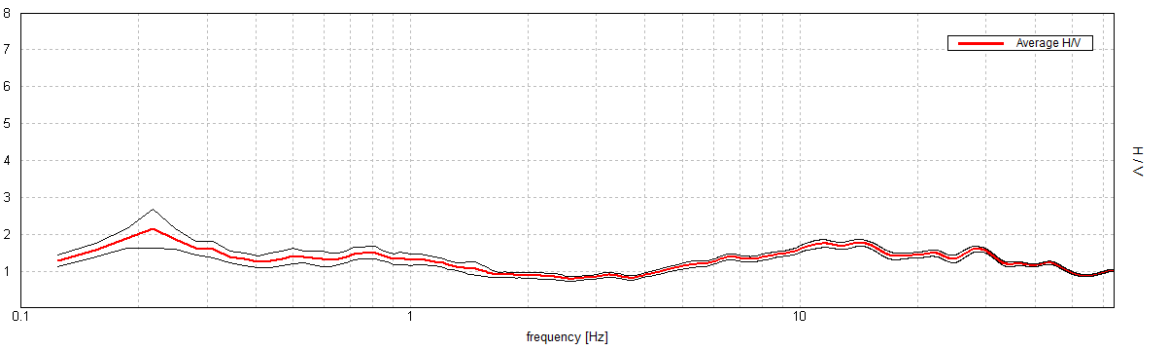
Max. H/V at 45.94 ± 10.12 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



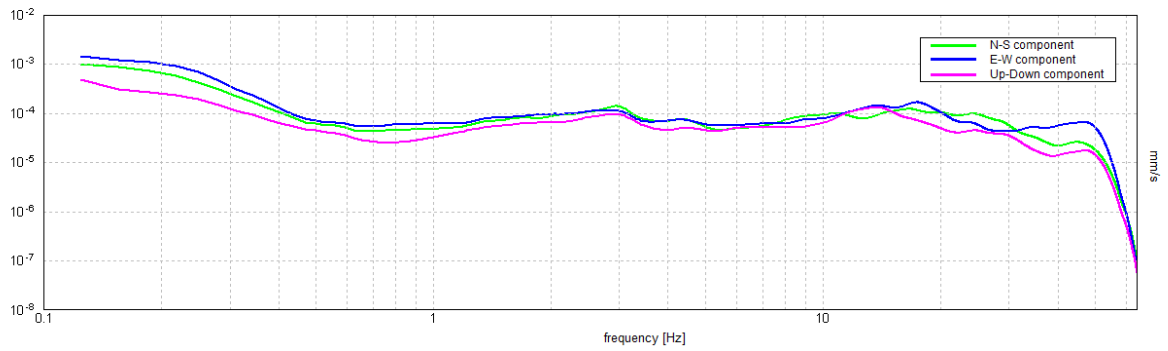
ZGN_69



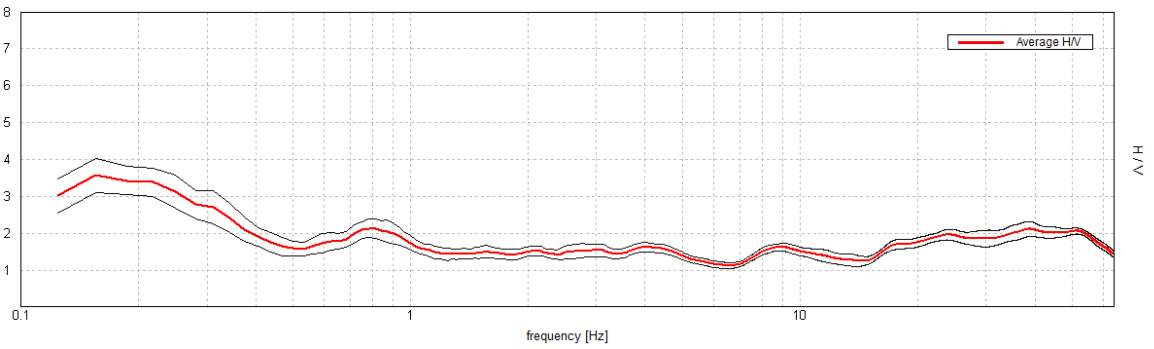
Max. H/V at 0.22 ± 3.93 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



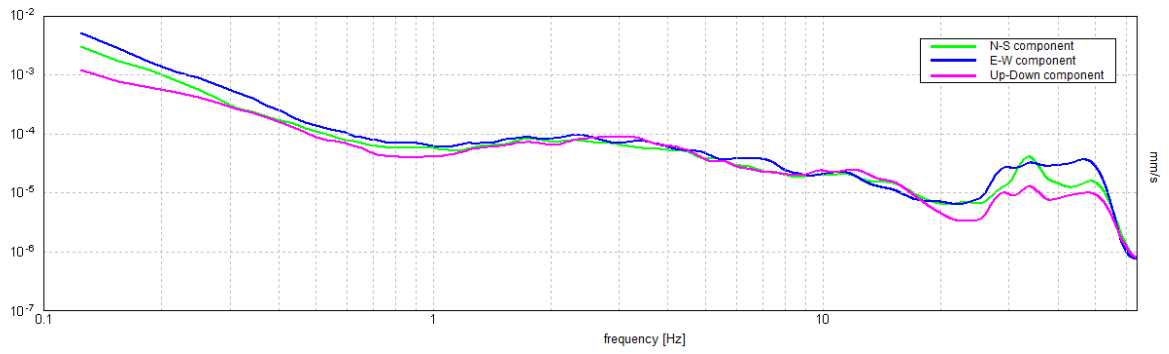
ZGN_70



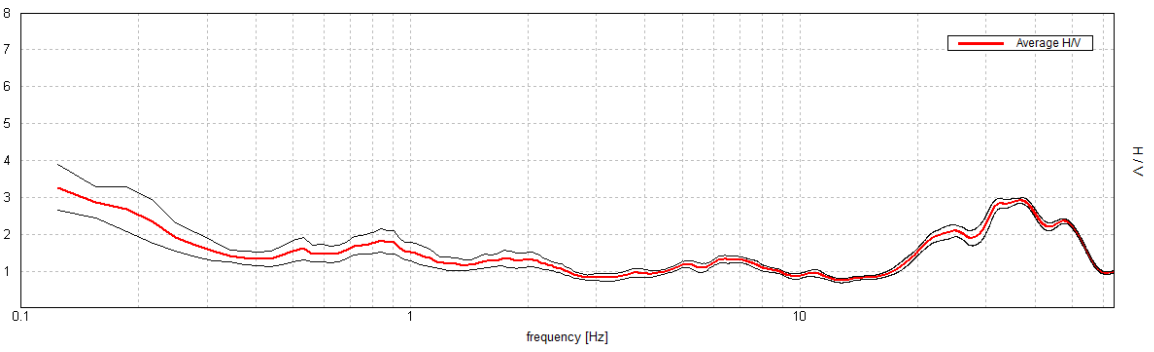
Max. H/V at 0.16 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



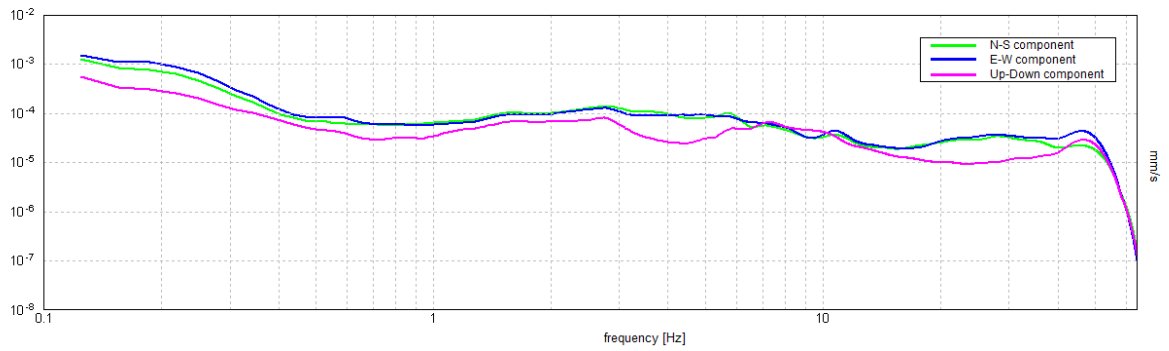
ZGN_71



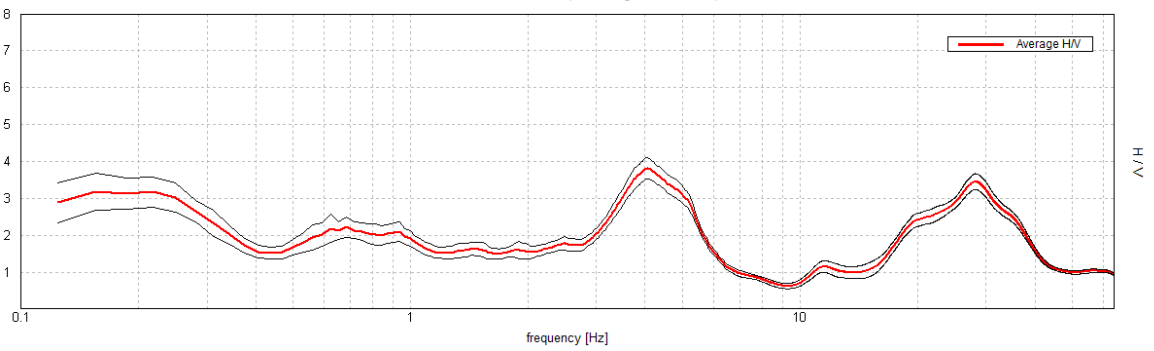
Max. H/V at 0.13 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



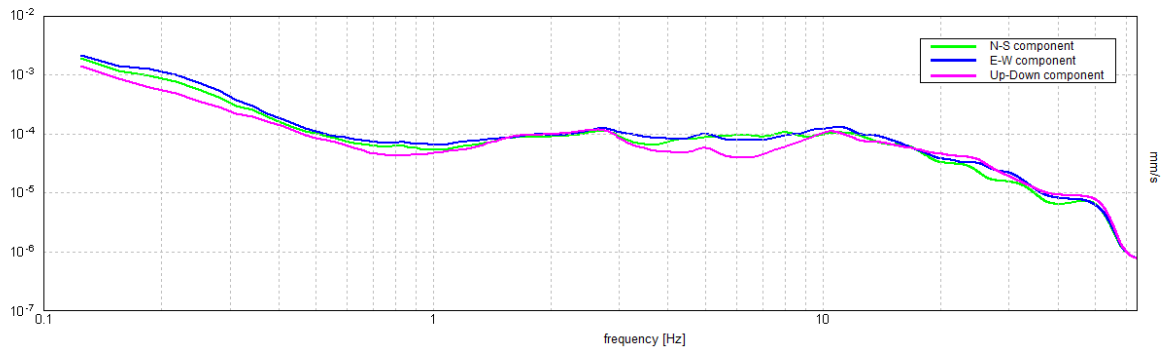
ZGN_72



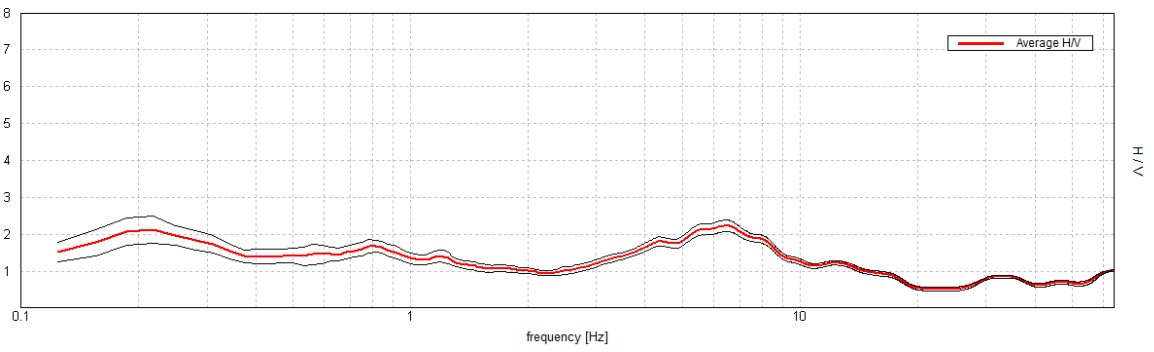
Max. H/V at 4.06 ± 1.6 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



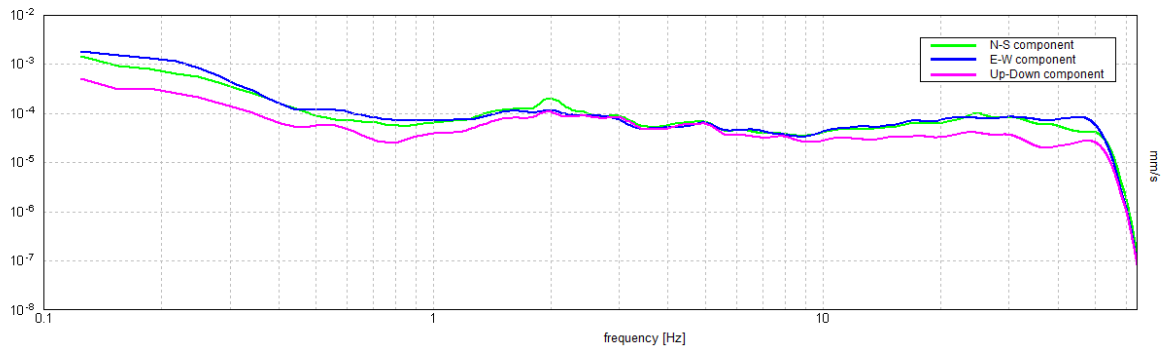
ZGN_73



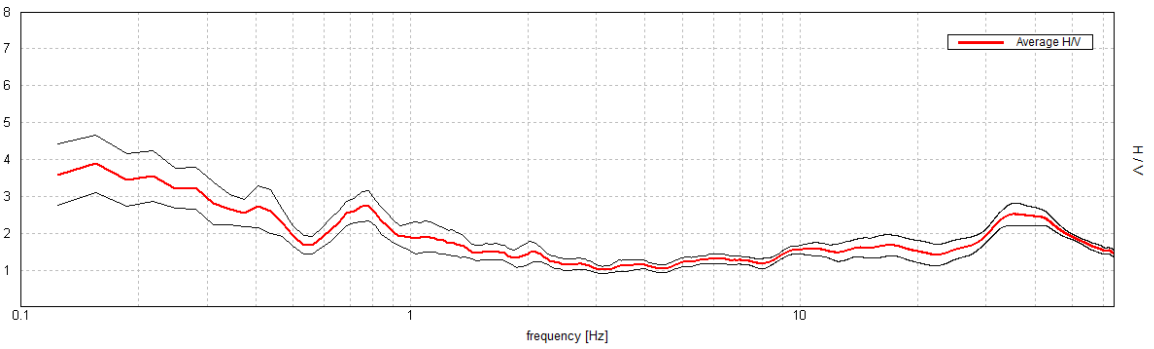
Max. H/V at 6.47 ± 5.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



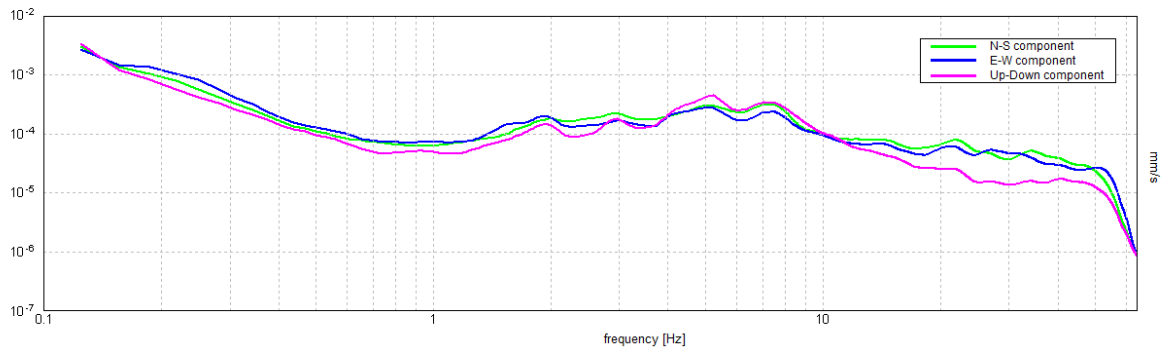
ZGN_74



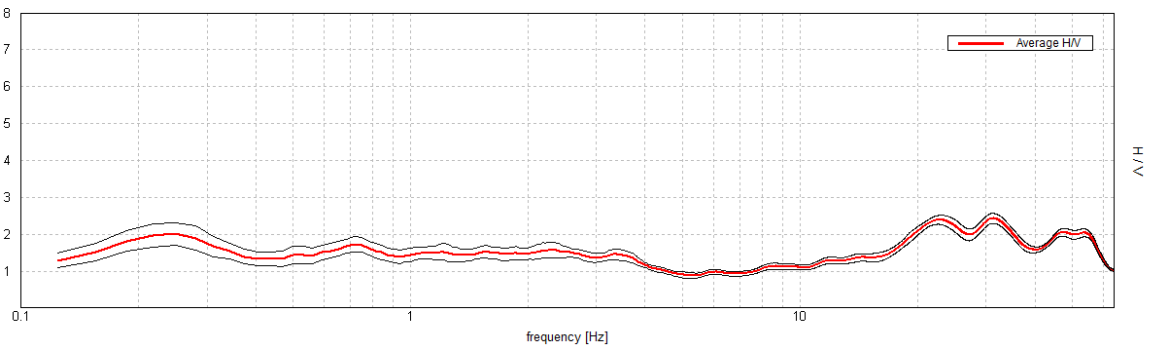
Max. H/V at 0.16 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



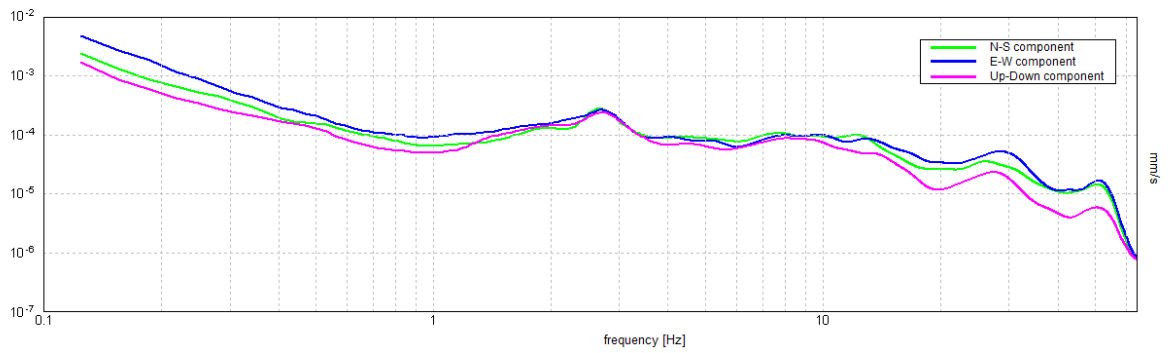
ZGN_75



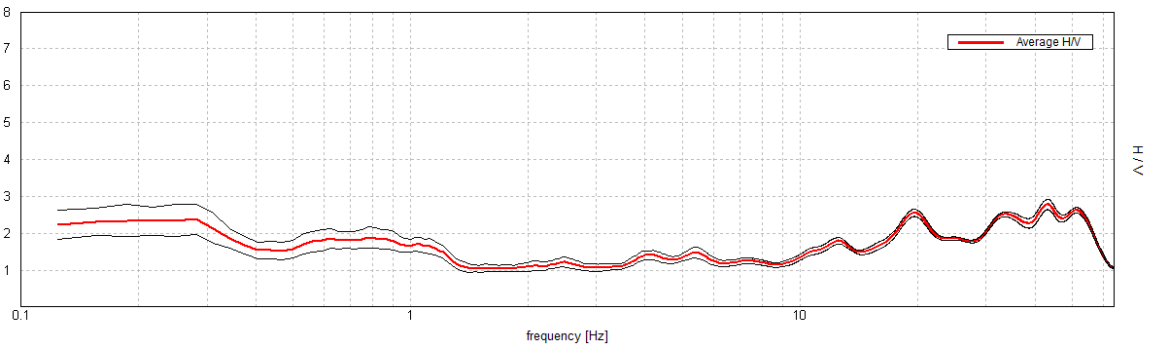
Max. H/V at 31.16 ± 9.52 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



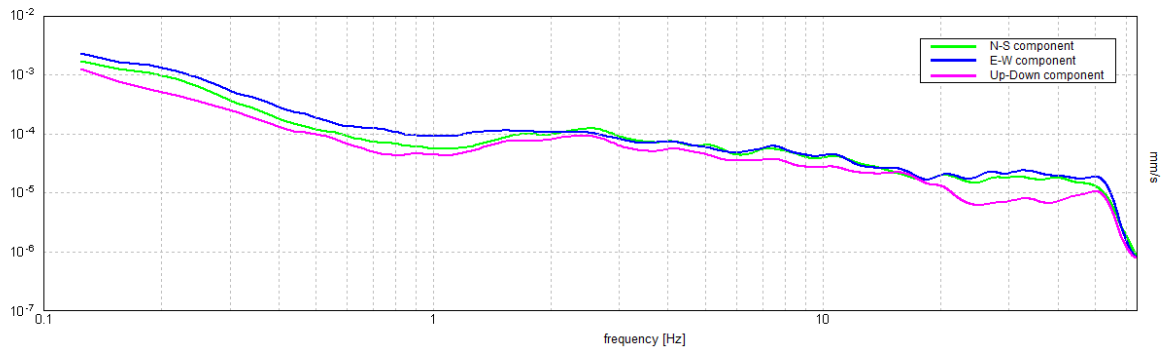
ZGN_76



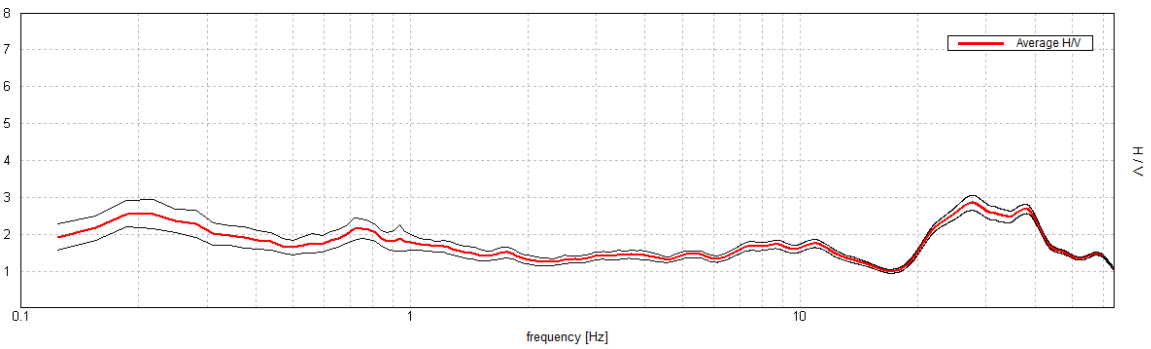
Max. H/V at 43.13 ± 12.83 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



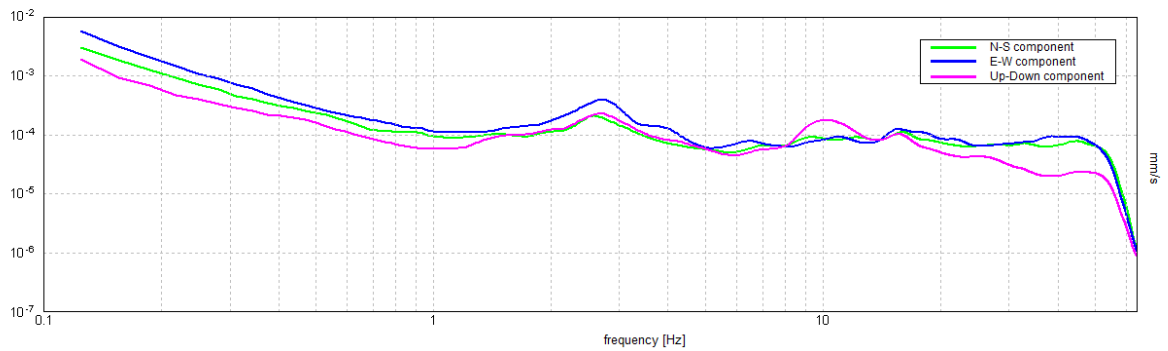
ZGN_77



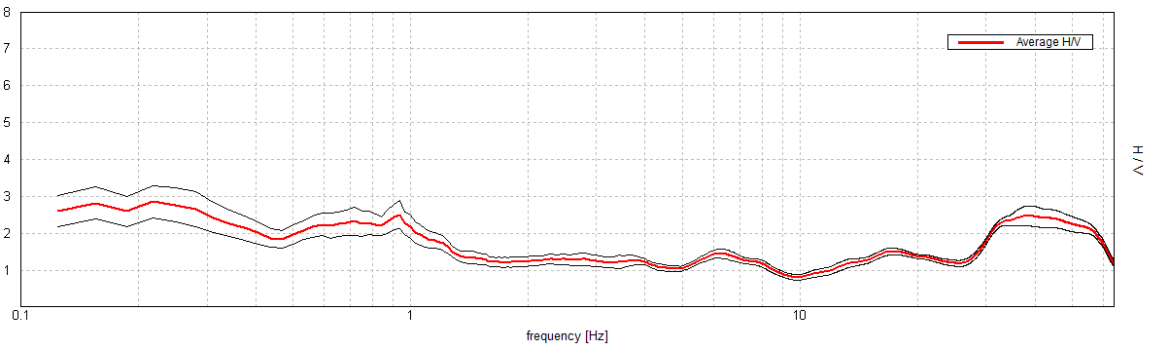
Max. H/V at 27.69 ± 17.68 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



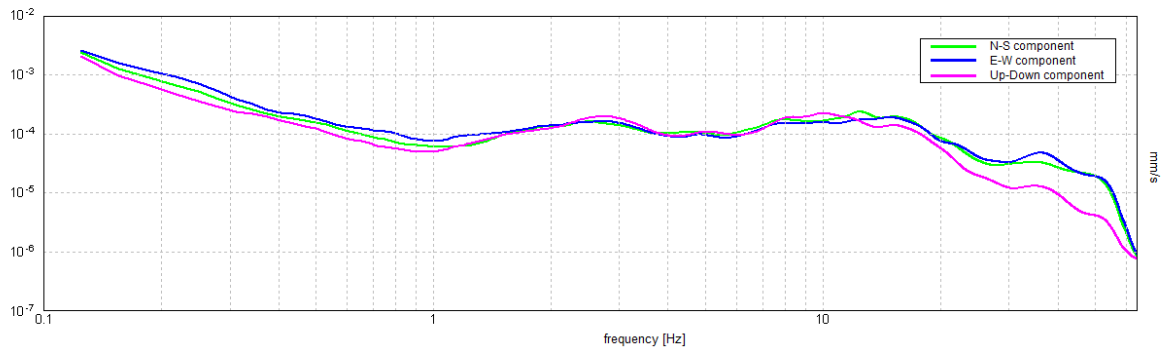
ZGN_78



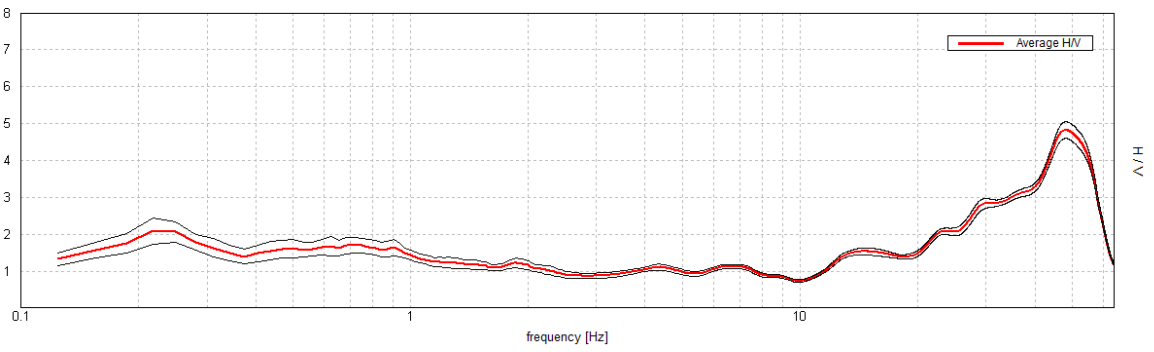
Max. H/V at 0.22 ± 0.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



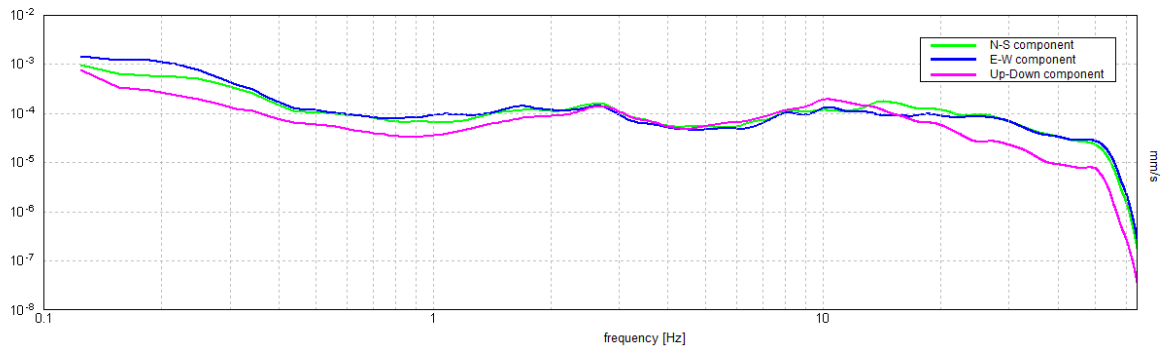
ZGN_79



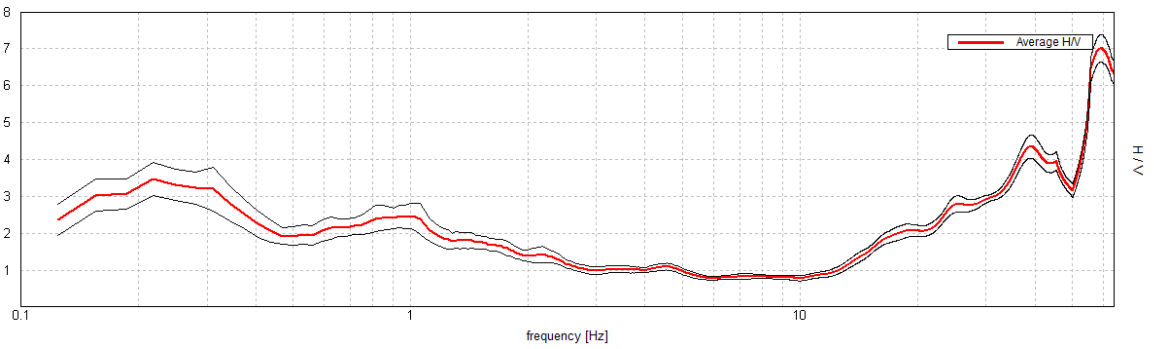
Max. H/V at 48.09 ± 0.84 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



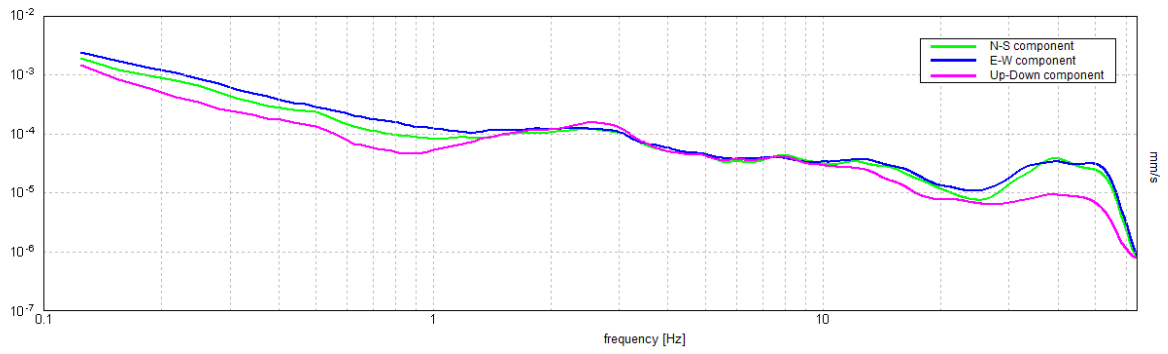
ZGN_80



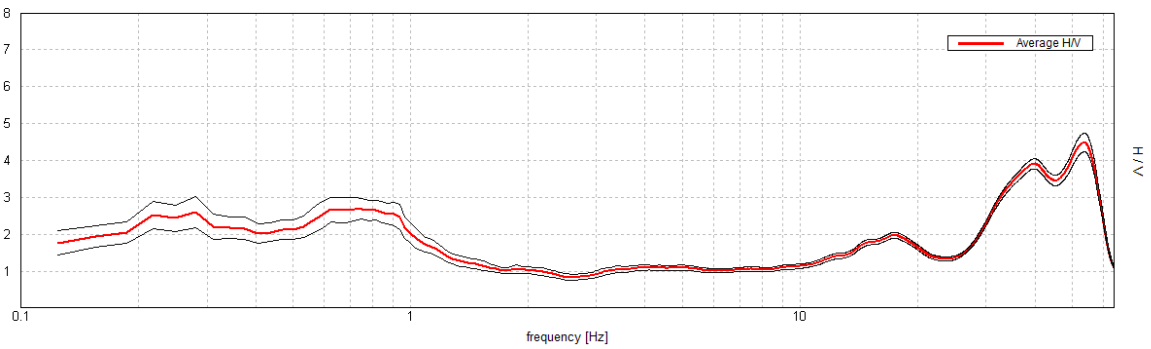
Max. H/V at 59.25 ± 0.79 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



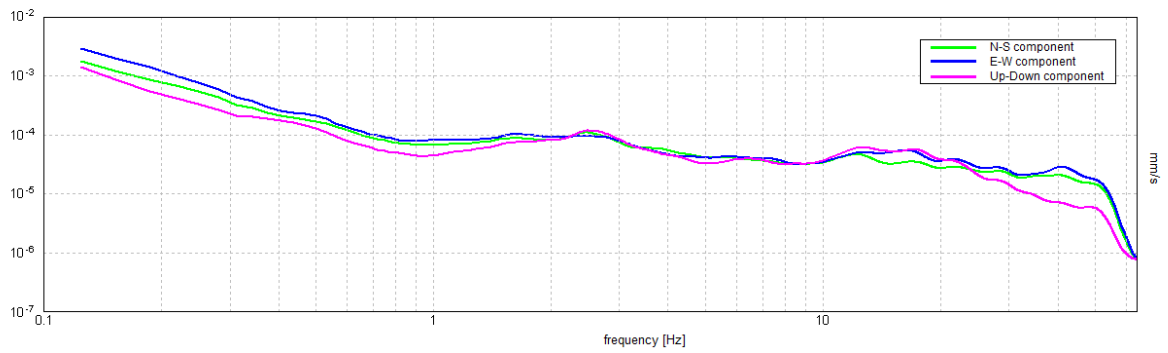
ZGN_81



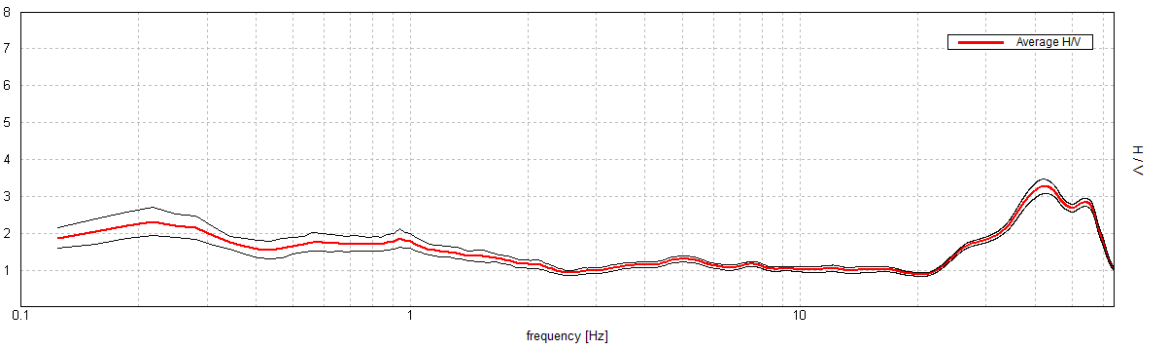
Max. H/V at 53.72 ± 0.65 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



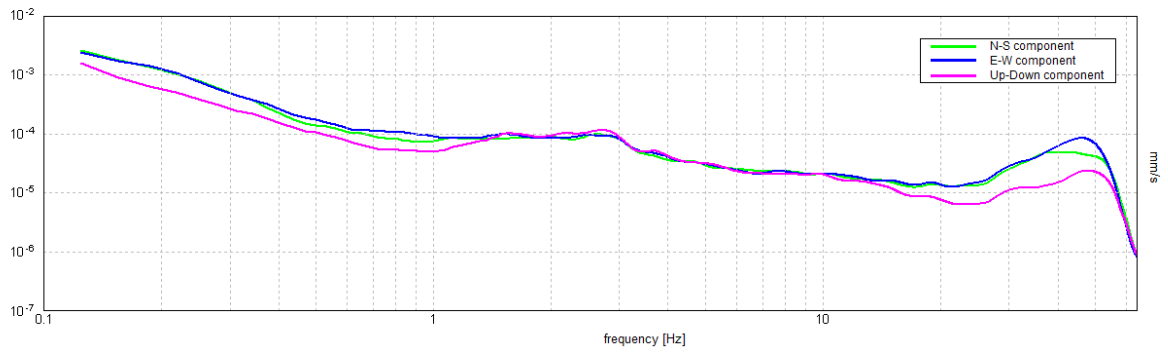
ZGN_82



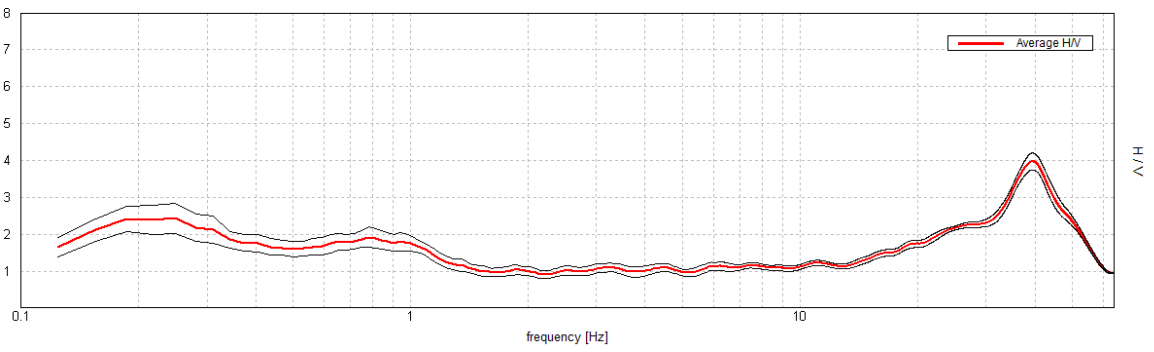
Max. H/V at 42.19 ± 1.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



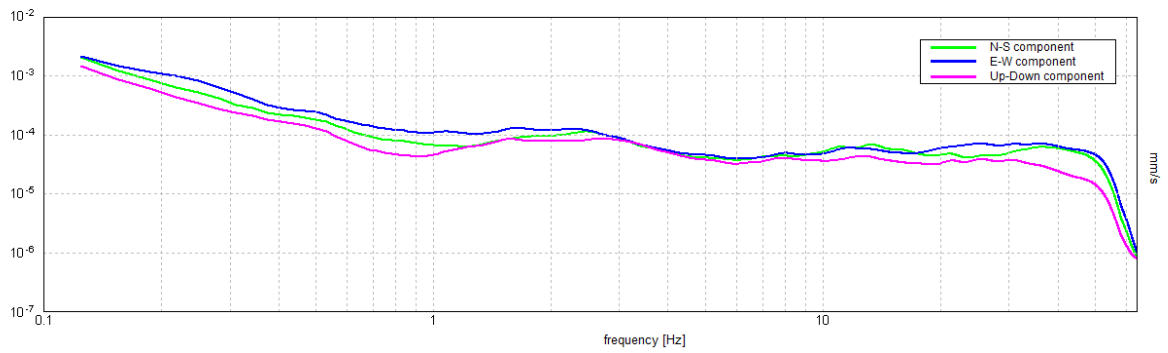
ZGN_83



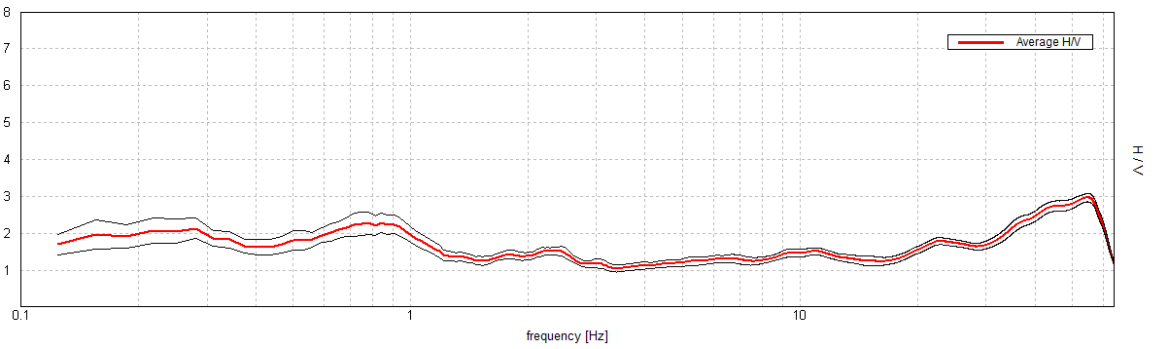
Max. H/V at 39.38 ± 8.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



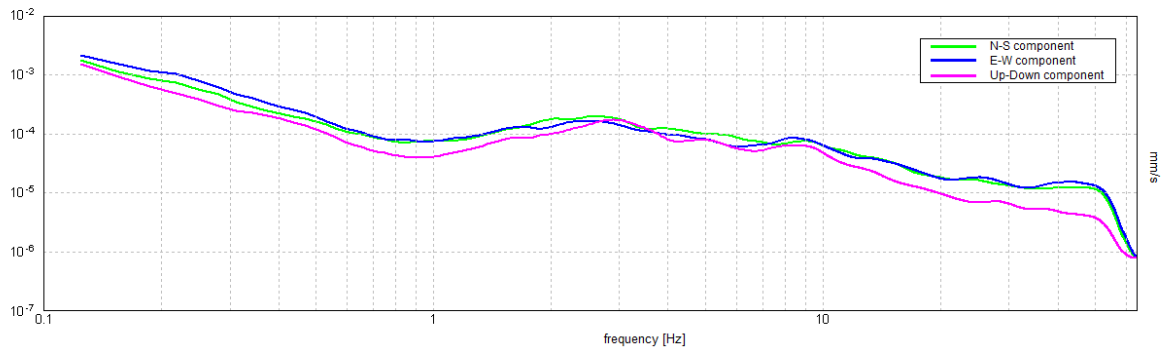
ZGN_84



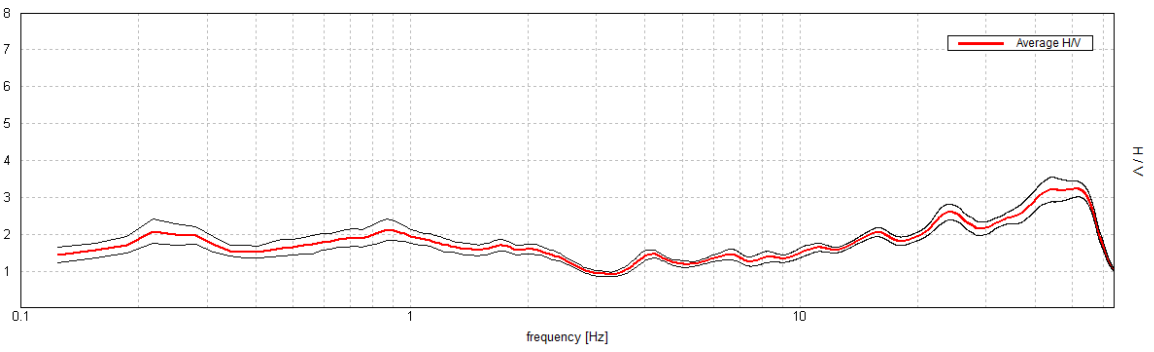
Max. H/V at 54.38 ± 12.56 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



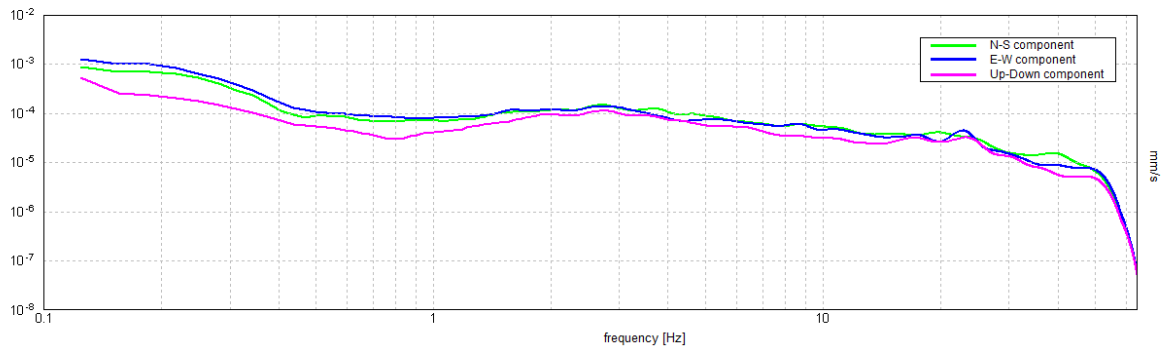
ZGN_85



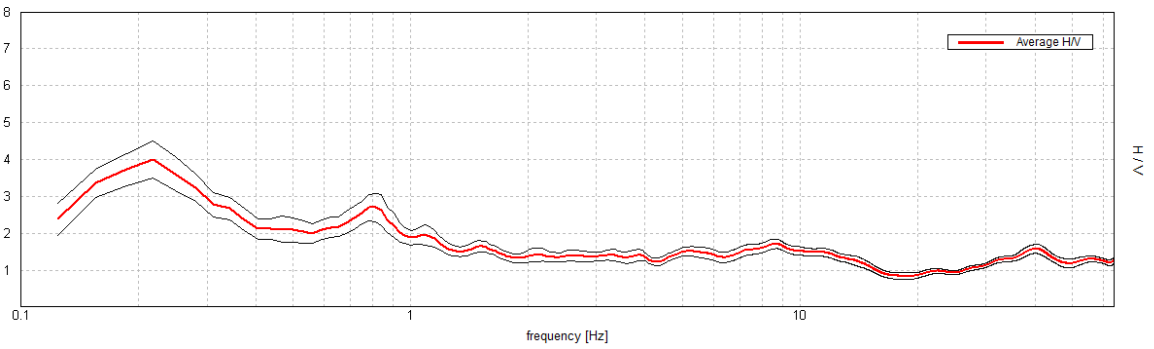
Max. H/V at 50.94 ± 9.28 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



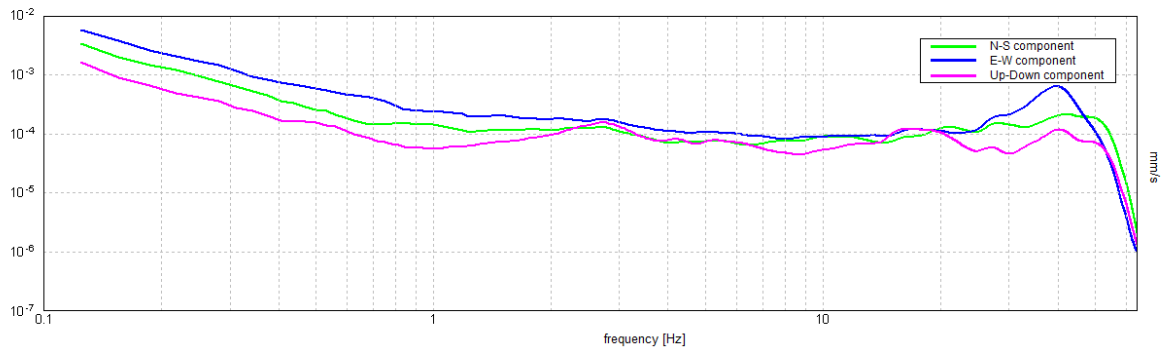
ZGN_86



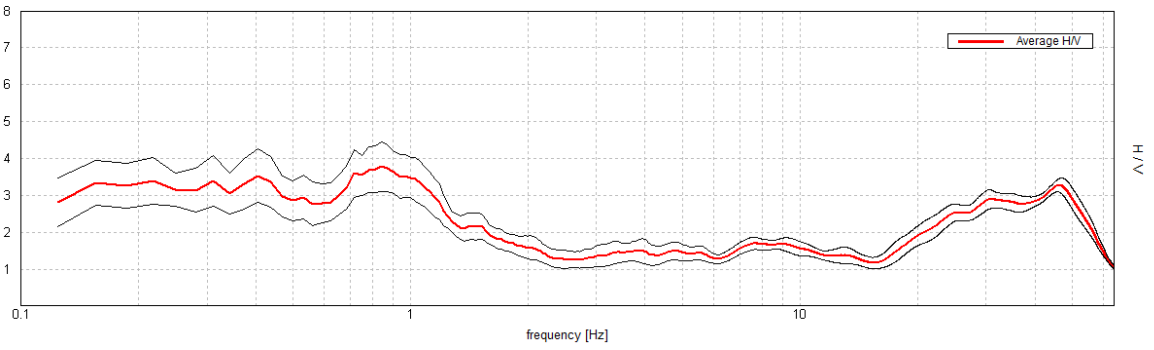
Max. H/V at 0.22 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



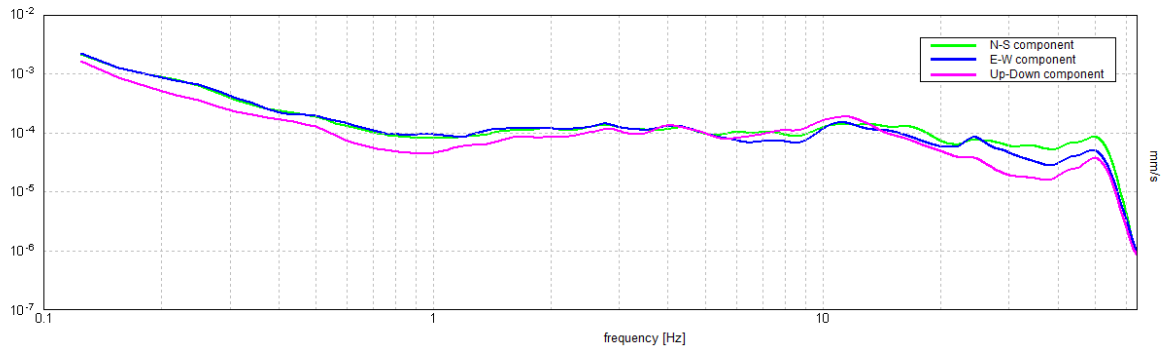
ZGN_87



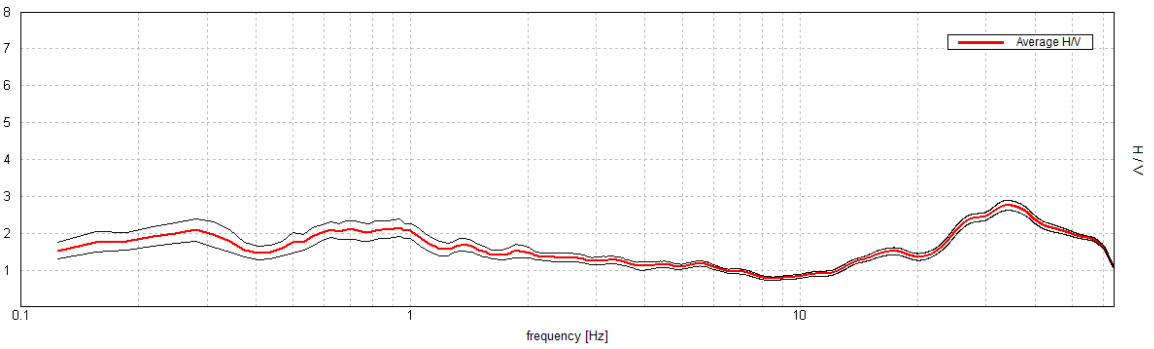
Max. H/V at 0.84 ± 0.42 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



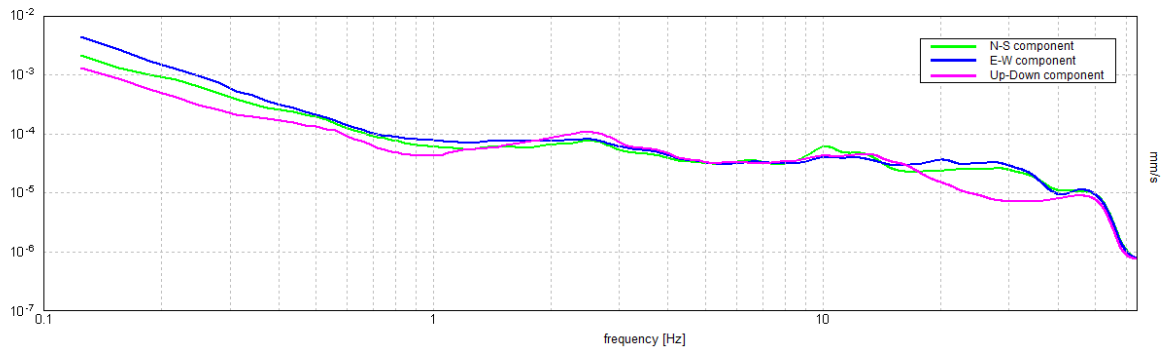
ZGN_88



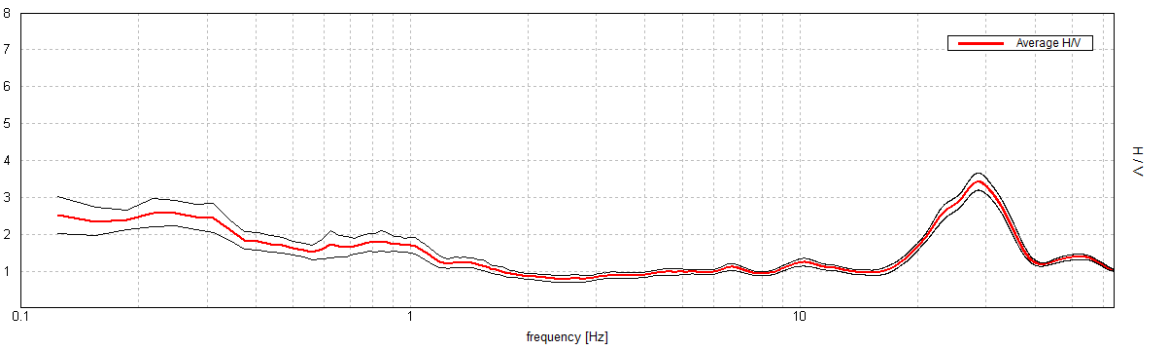
Max. H/V at 34.06 ± 8.85 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



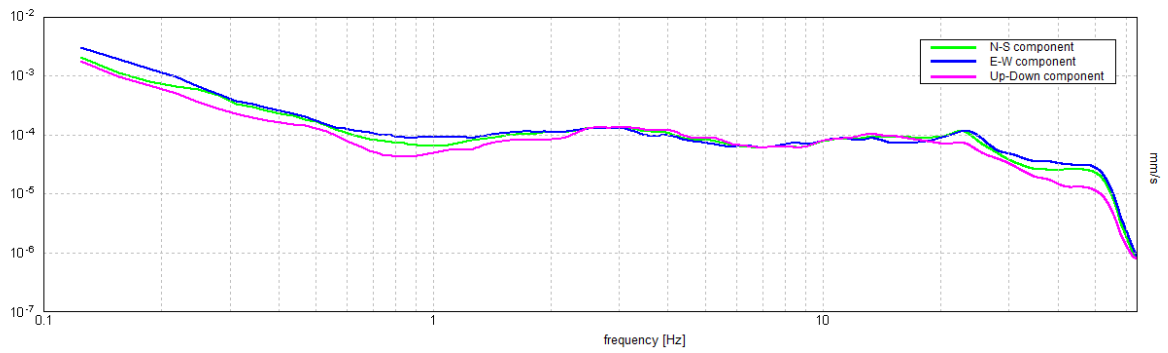
ZGN_89



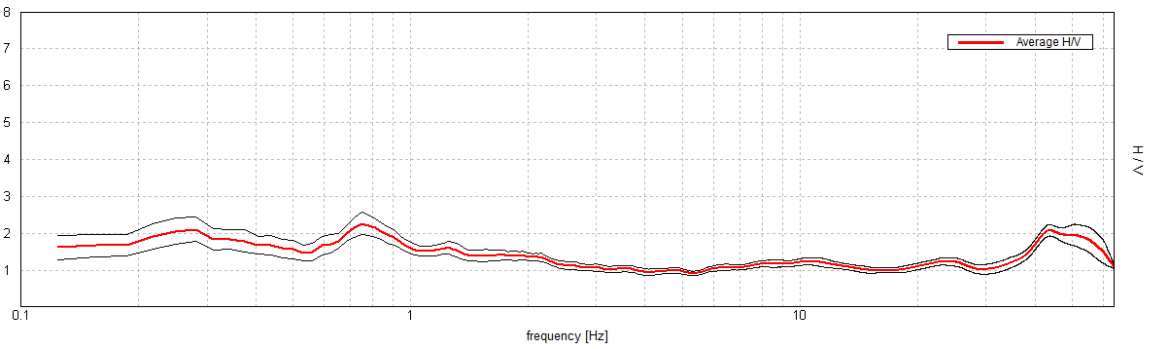
Max. H/V at 28.66 ± 11.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



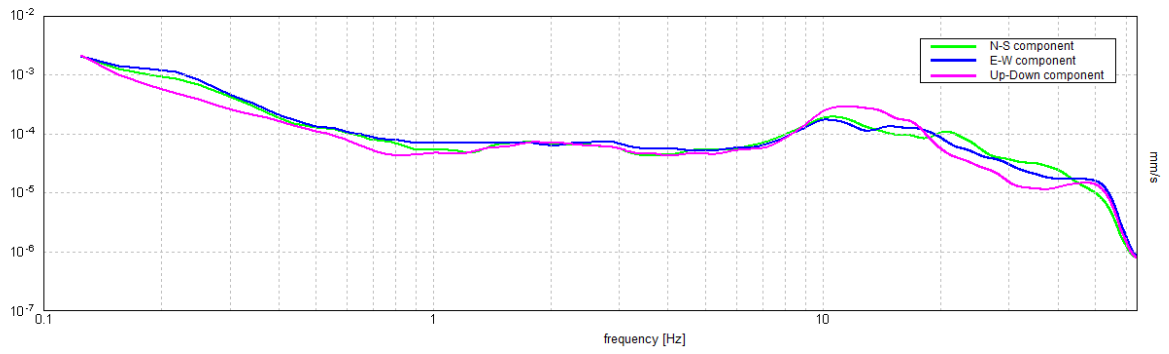
ZGN_90



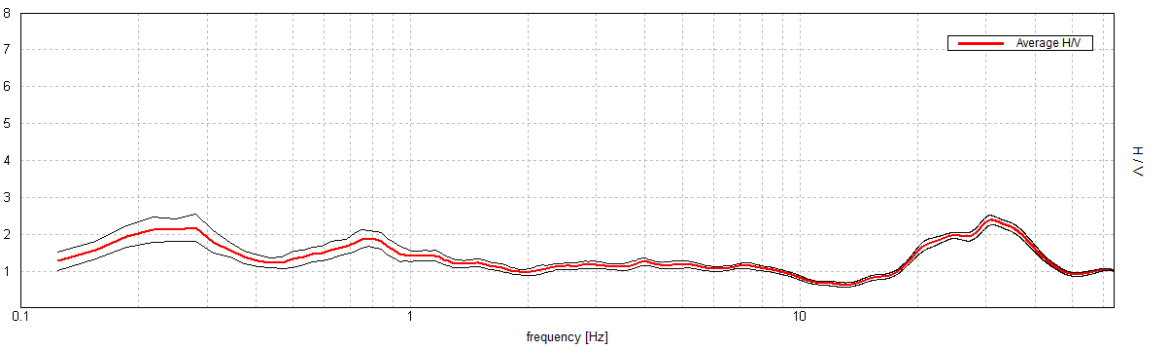
Max. H/V at 0.75 ± 29.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



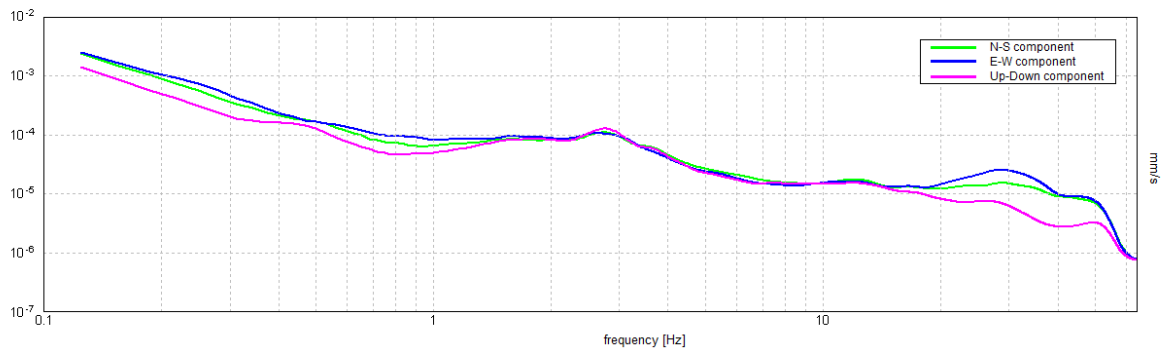
ZGN_91



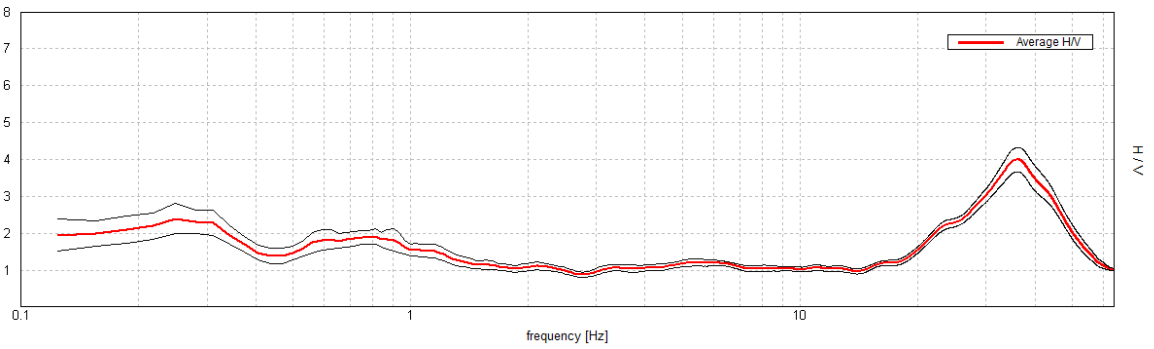
Max. H/V at 30.91 ± 11.8 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



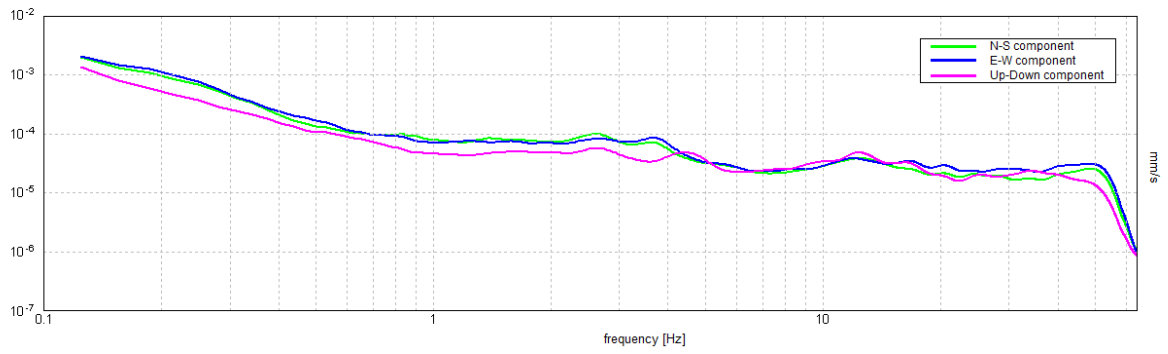
ZGN_92



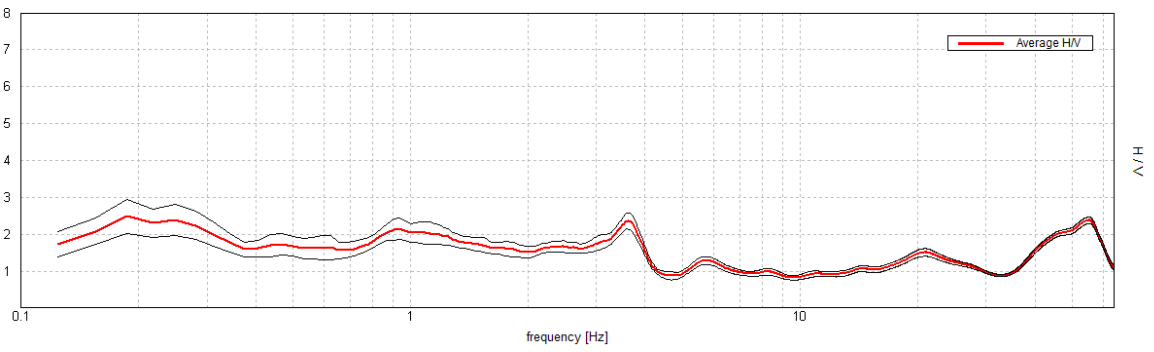
Max. H/V at 35.94 ± 11.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



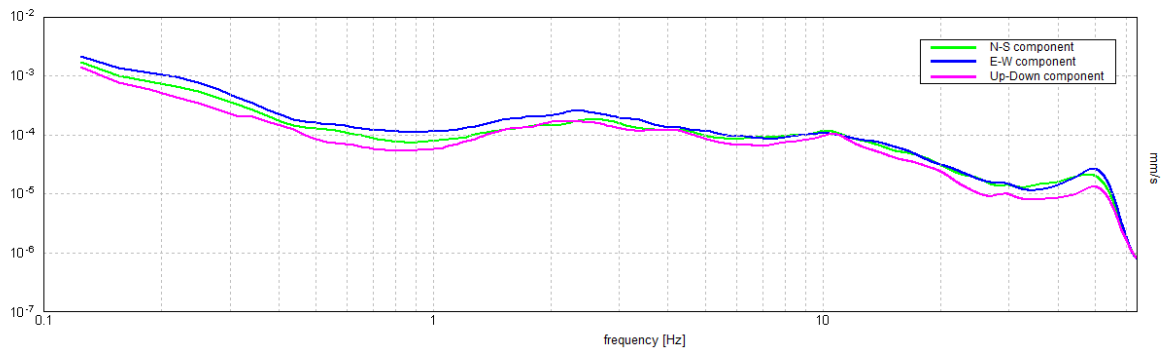
ZGN_93



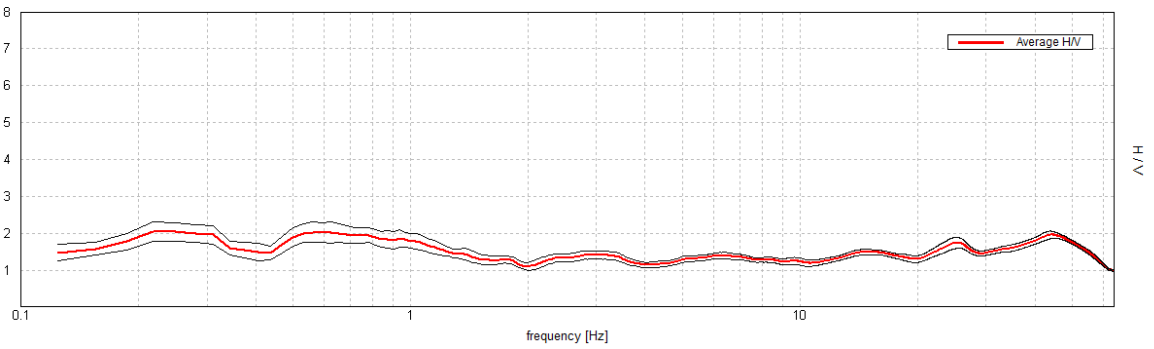
Max. H/V at 0.19 ± 28.8 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



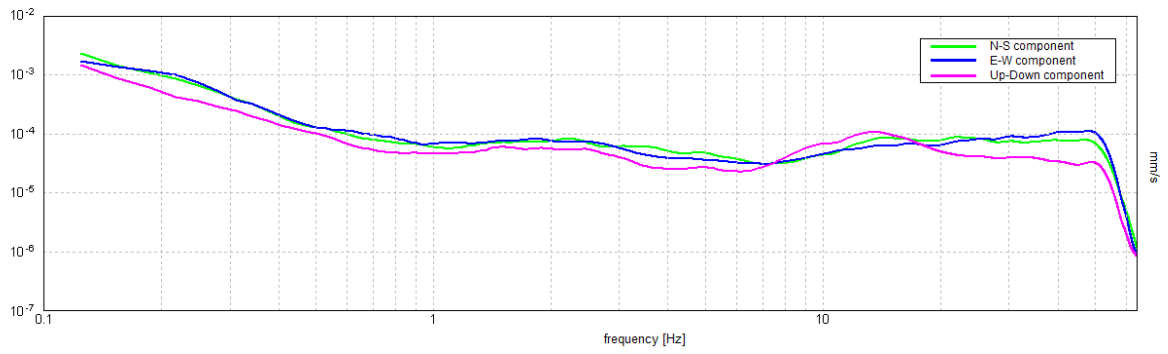
ZGN_94



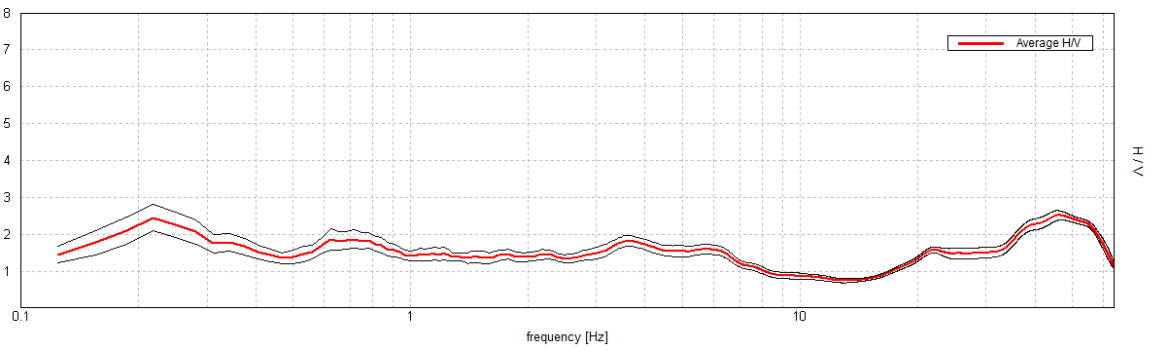
Max. H/V at 0.22 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



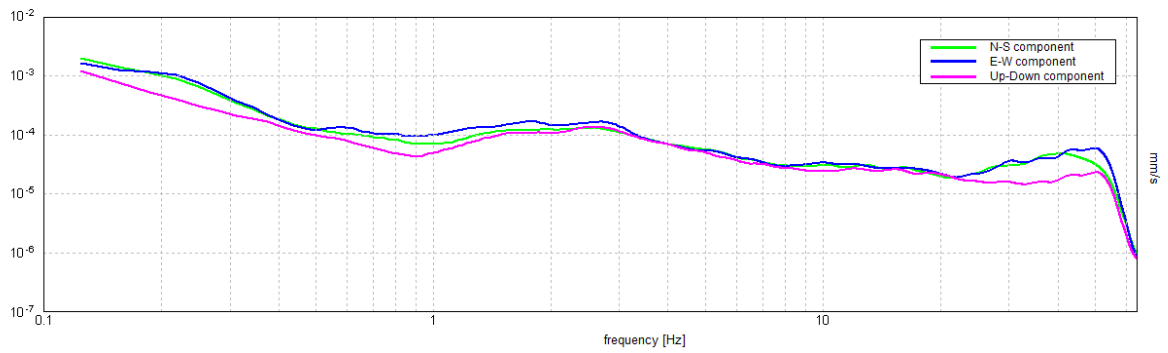
ZGN_95



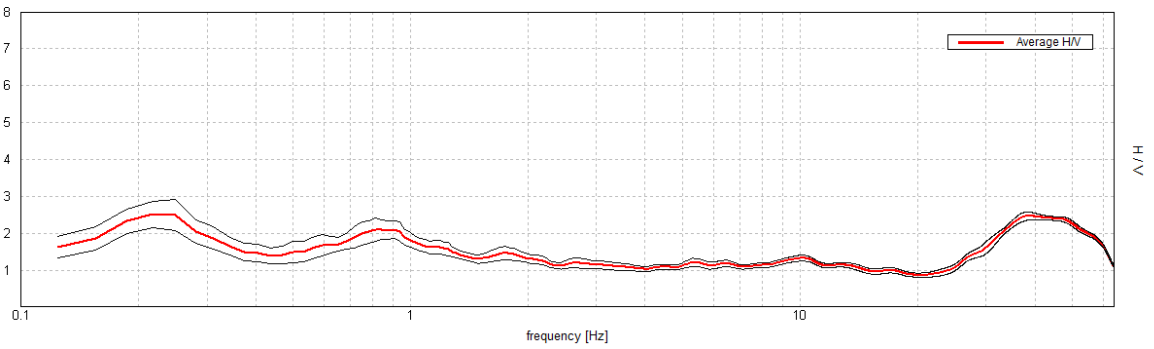
Max. H/V at 46.19 ± 6.41 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



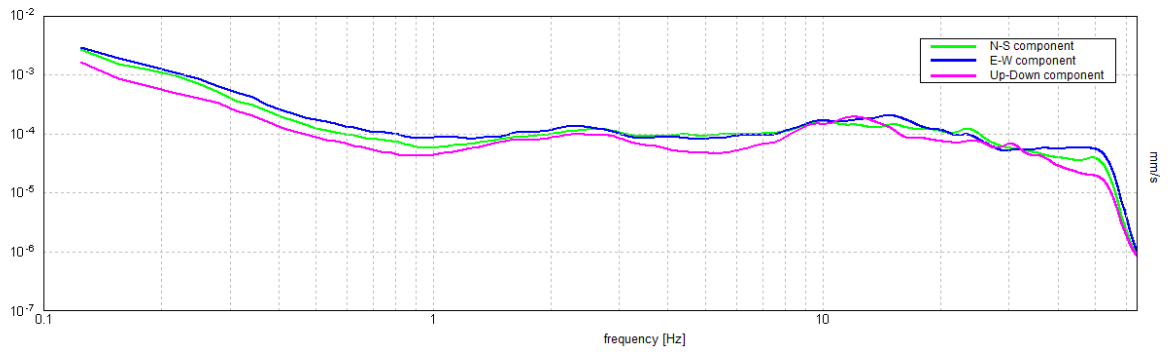
ZGN_96



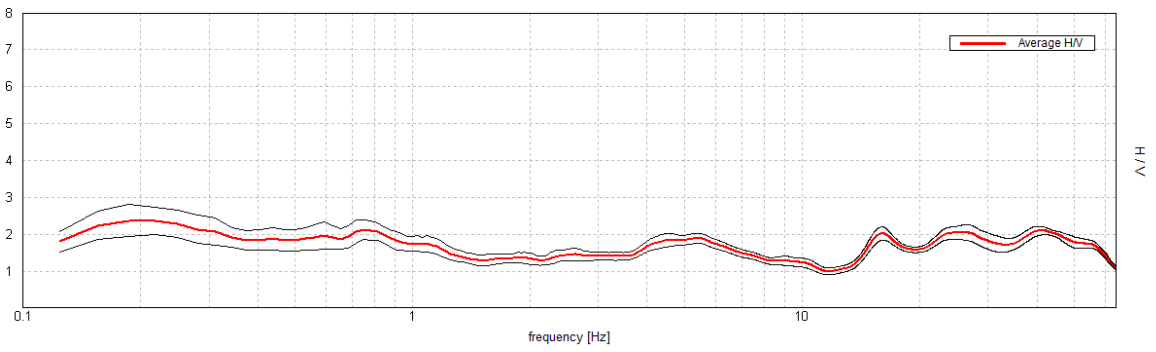
Max. H/V at 0.22 ± 37.62 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



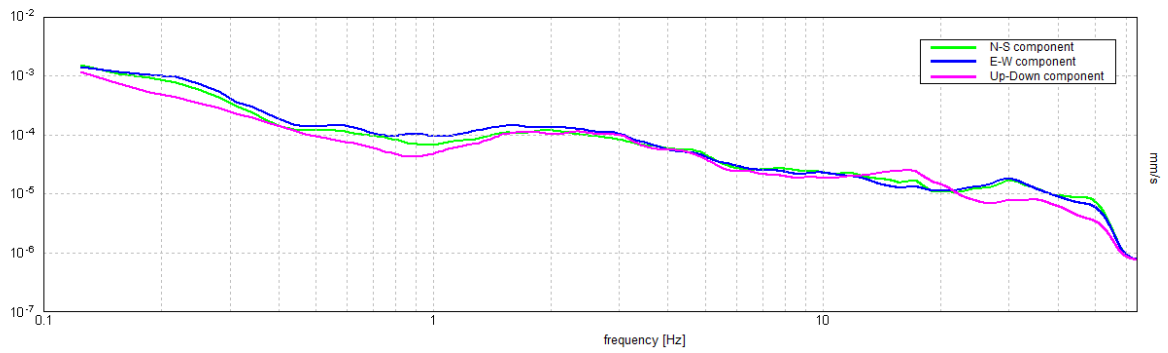
ZGN_97



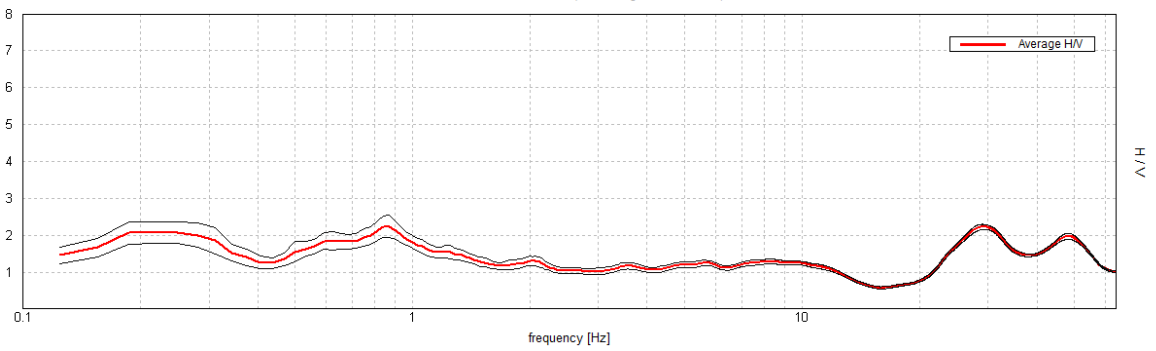
Max. H/V at 0.19 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



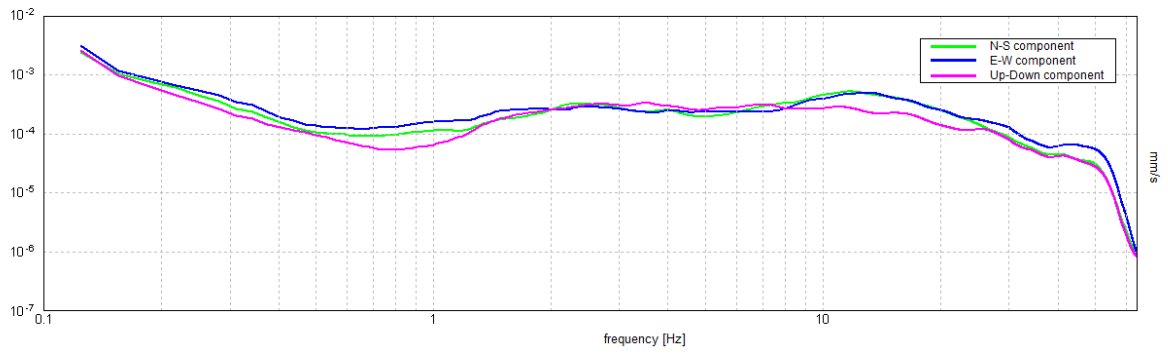
ZGN_98



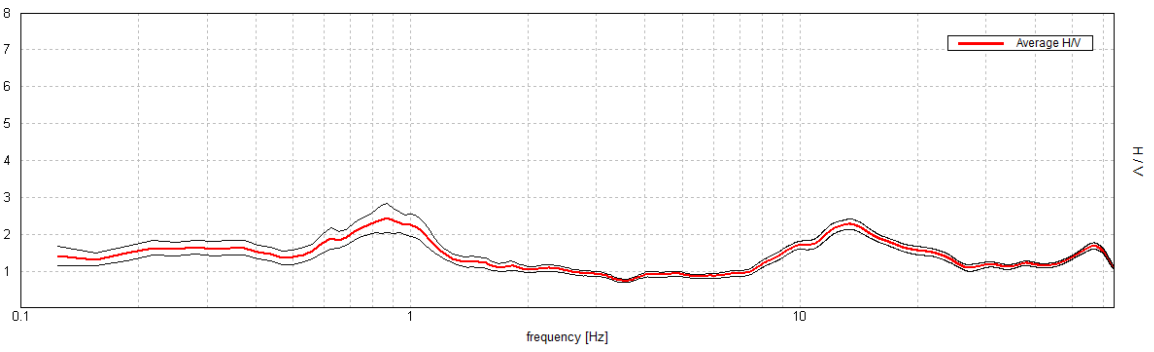
Max. H/V at 0.88 ± 28.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



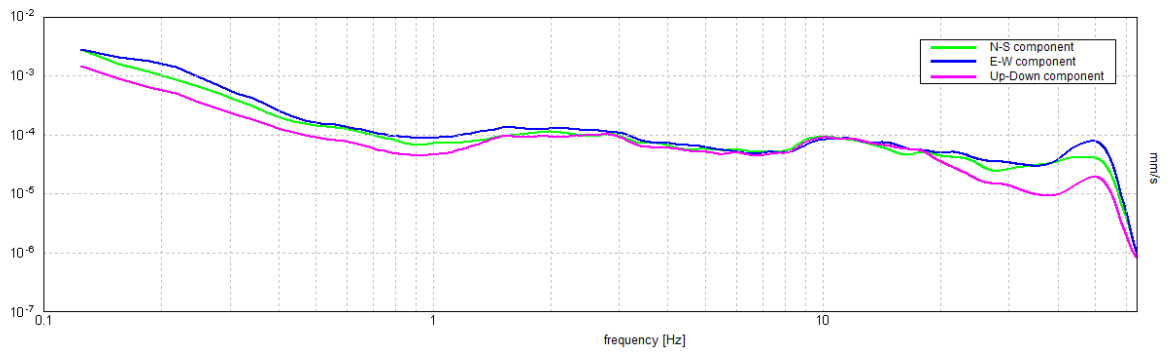
ZGN_99



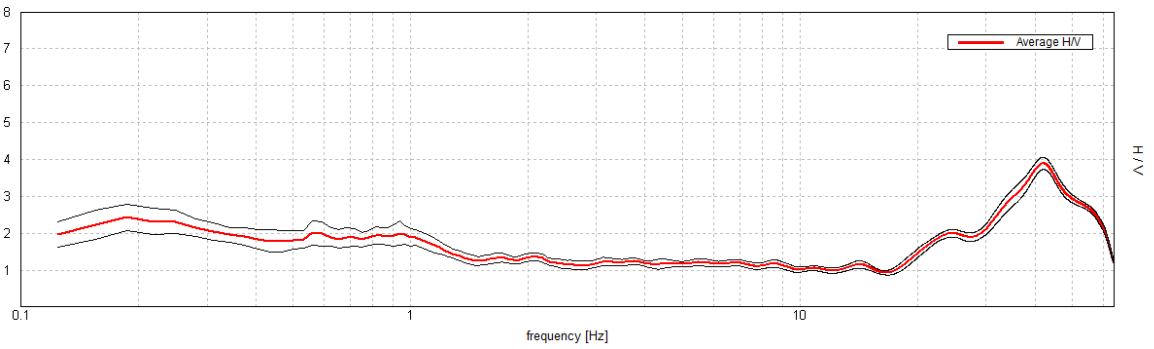
Max. H/V at 0.88 ± 1.72 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



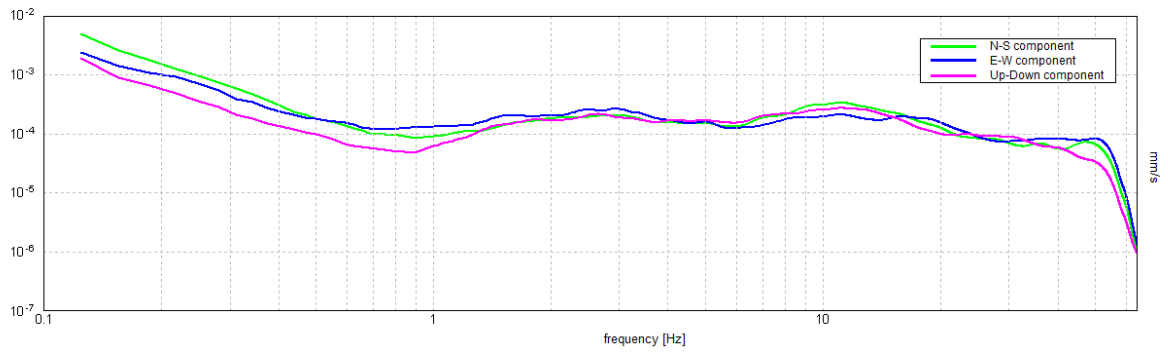
ZGN_100



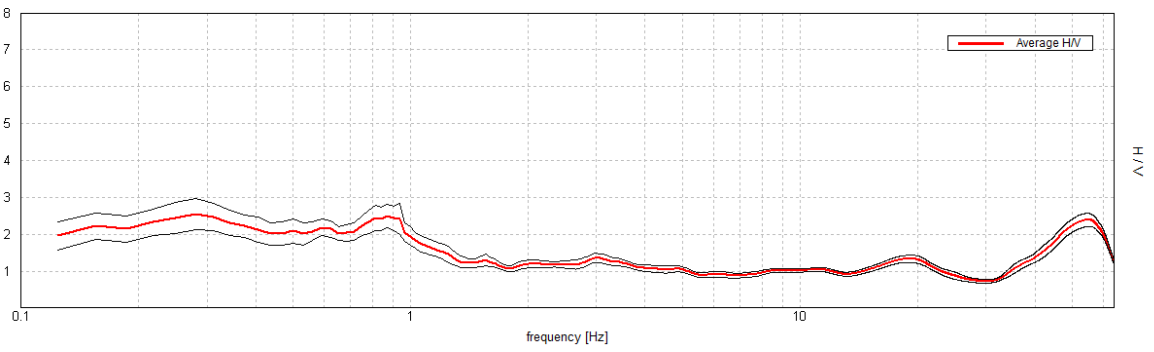
Max. H/V at 41.88 ± 11.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



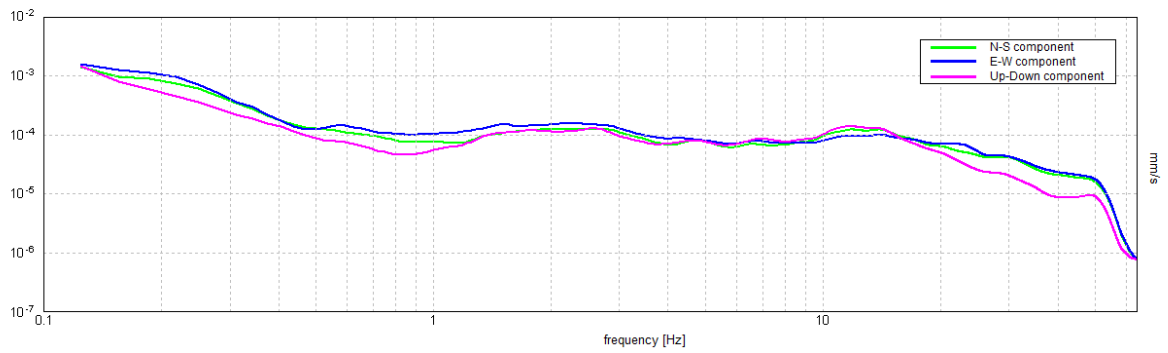
ZGN_101



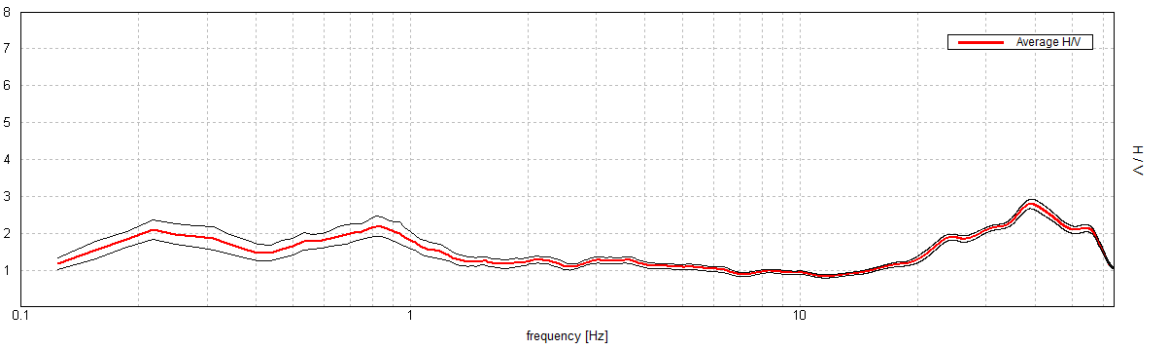
Max. H/V at 0.28 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



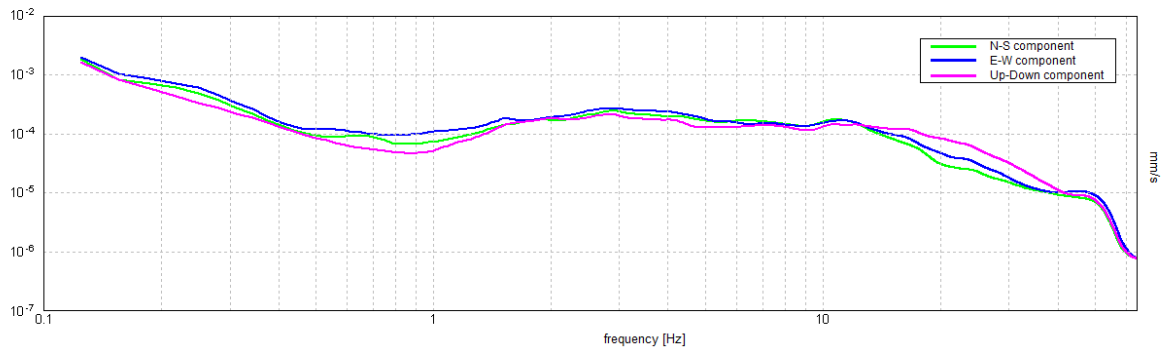
ZGN_102



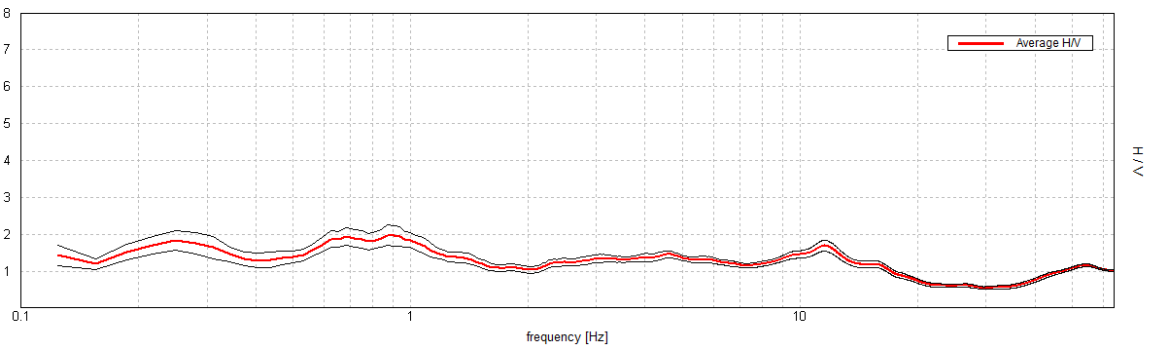
Max. H/V at 39.06 ± 5.62 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



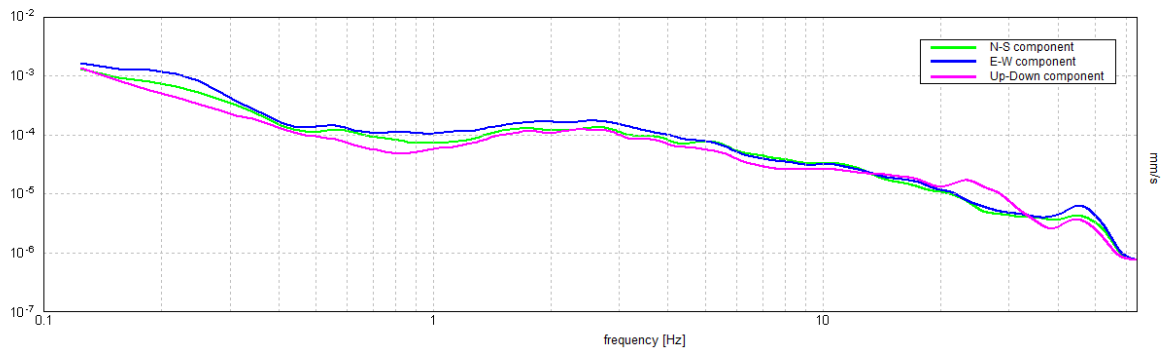
ZGN_103



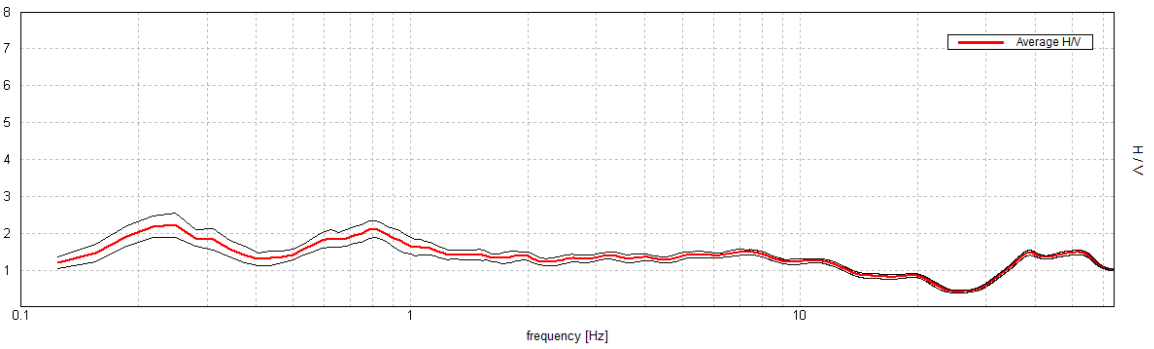
Max. H/V at 0.88 ± 0.31 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



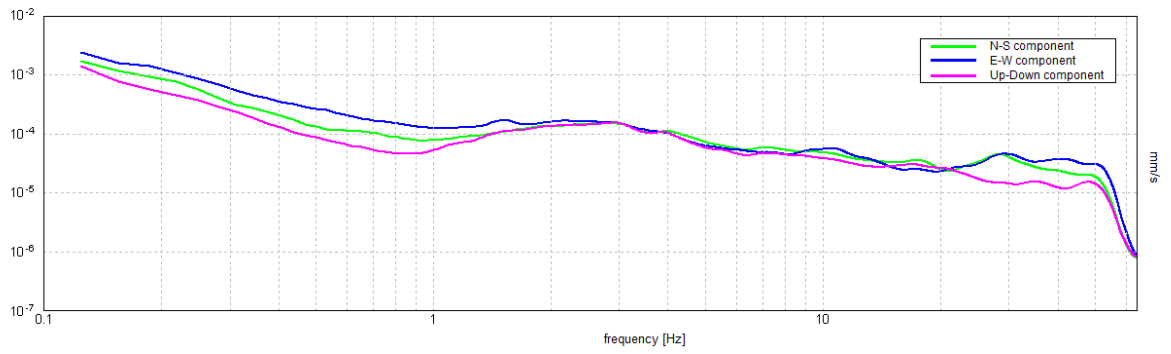
ZGN_104



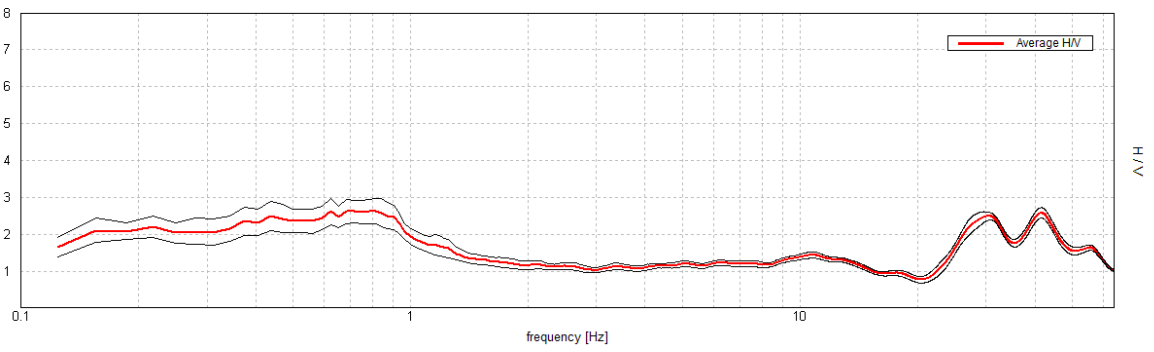
Max. H/V at 0.25 ± 0.17 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



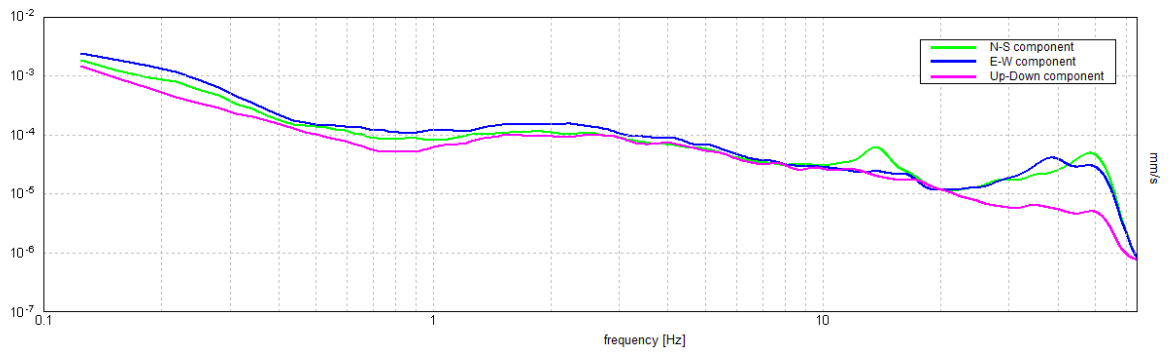
ZGN_105



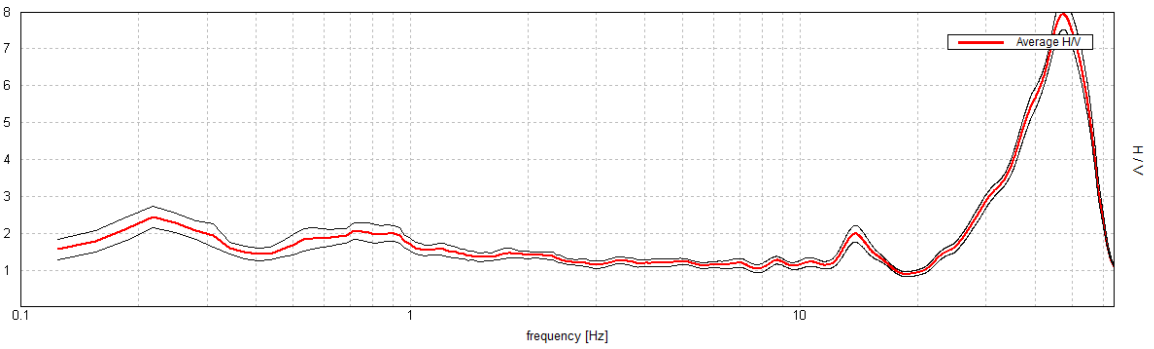
Max. H/V at 0.81 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



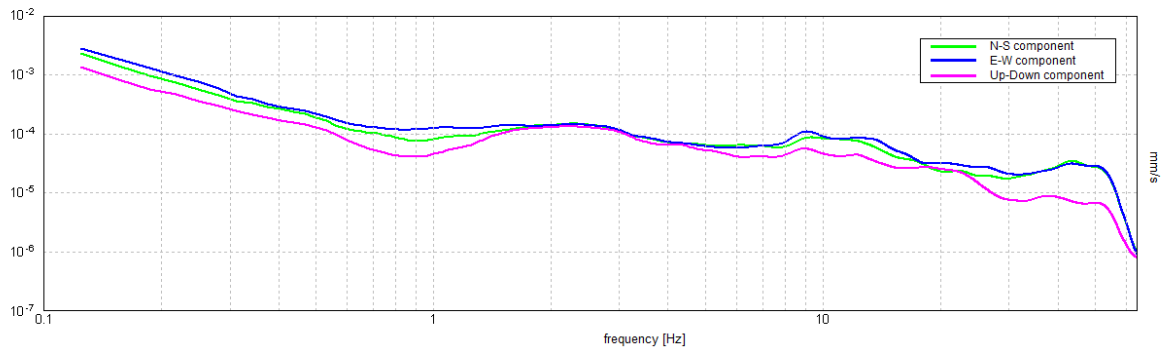
ZGN_106



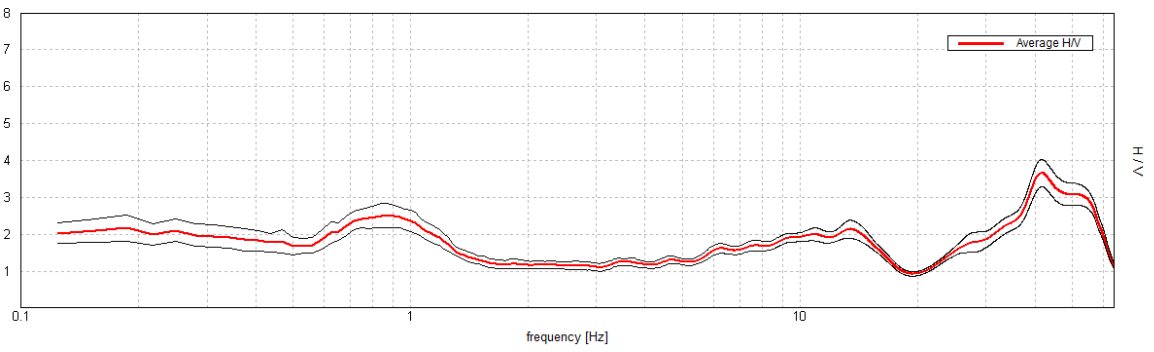
Max. H/V at 47.19 ± 0.59 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



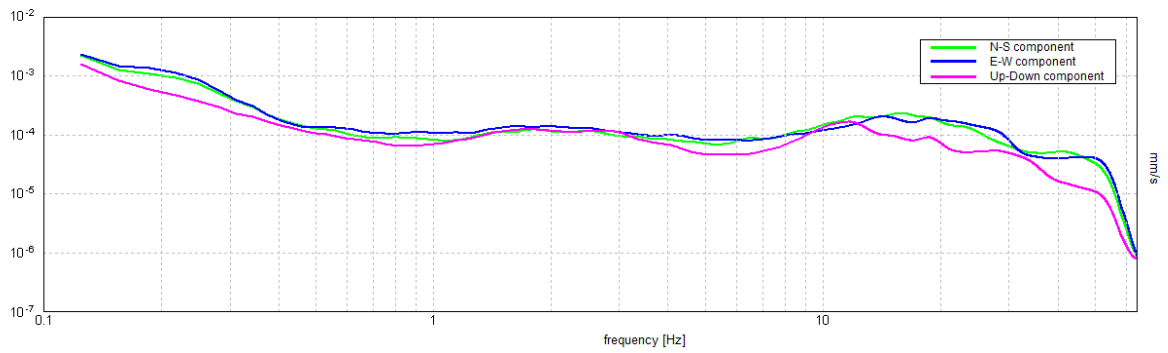
ZGN_107



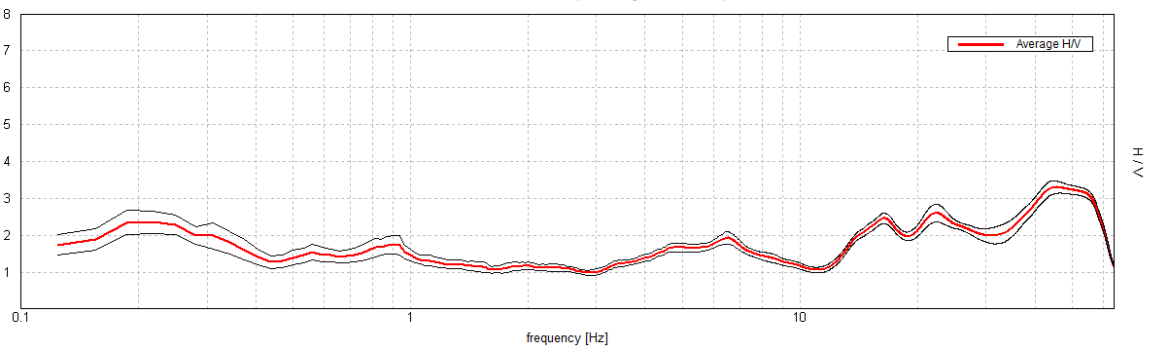
Max. H/V at 41.56 ± 8.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



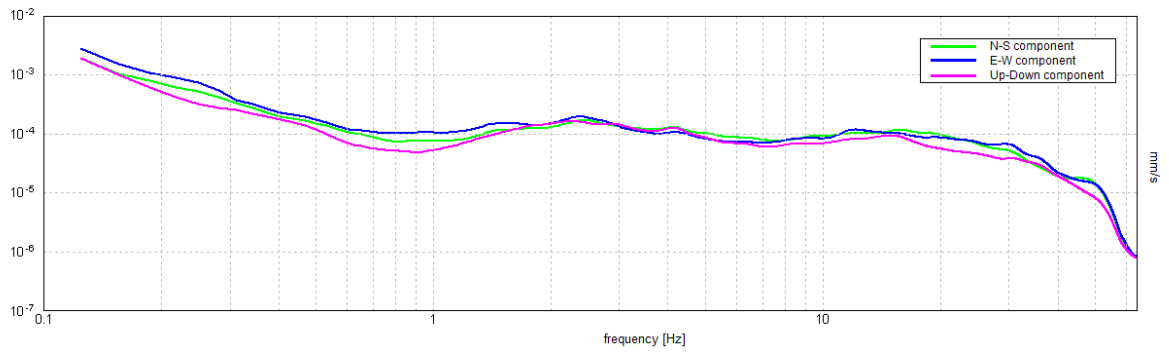
ZGN_108



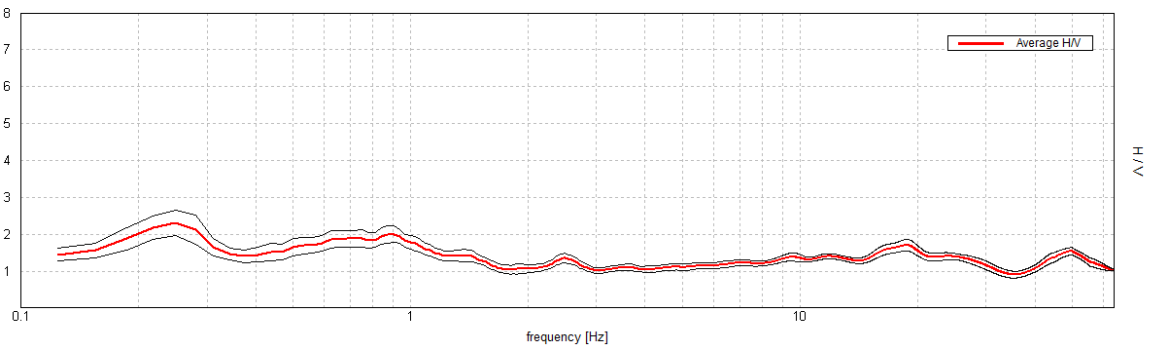
Max. H/V at 45.31 ± 1.68 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



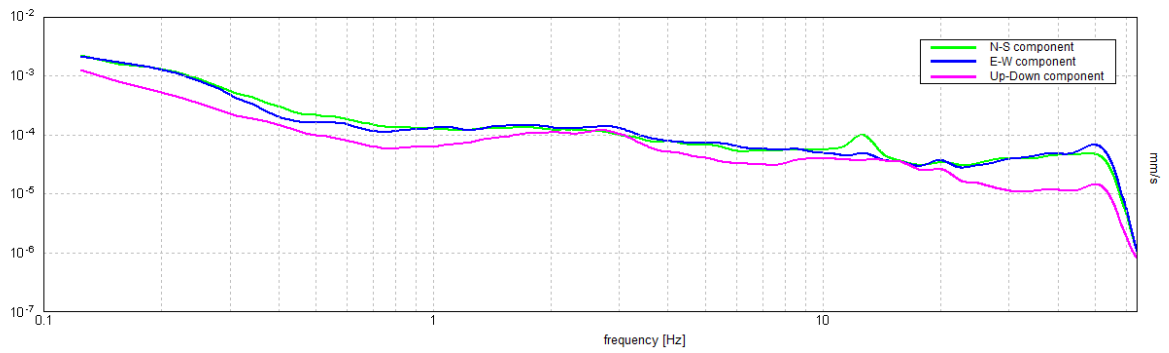
ZGN_109



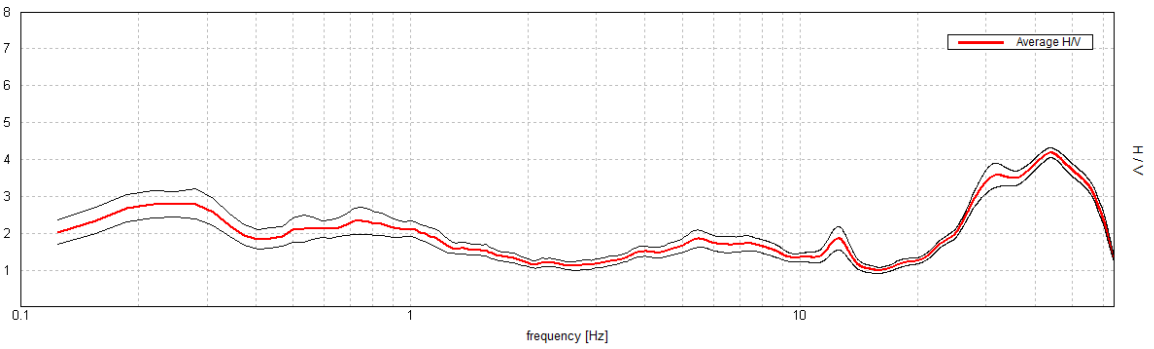
Max. H/V at 0.25 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



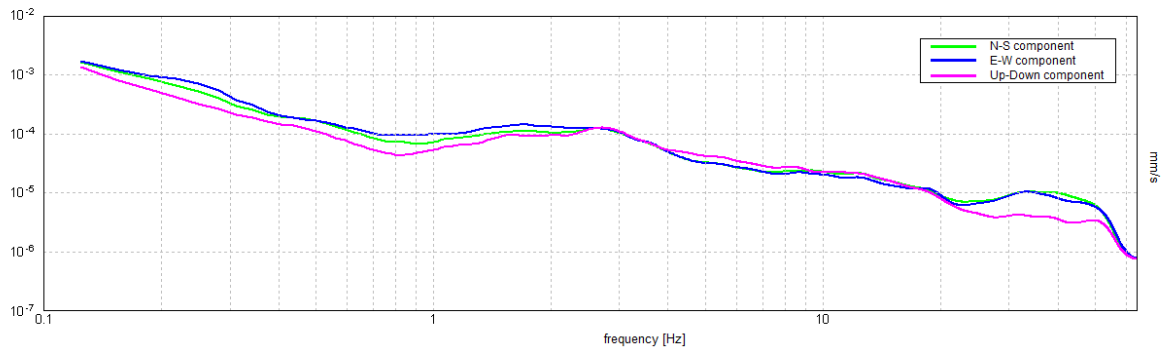
ZGN_110



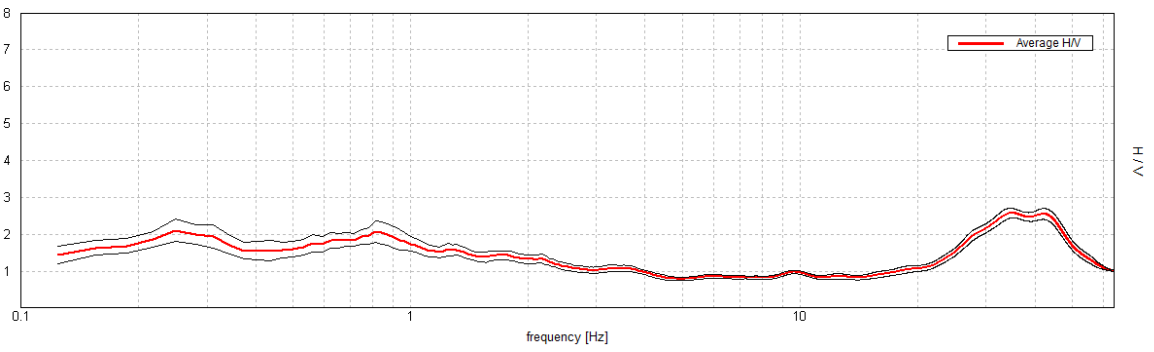
Max. H/V at 43.75 ± 5.36 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



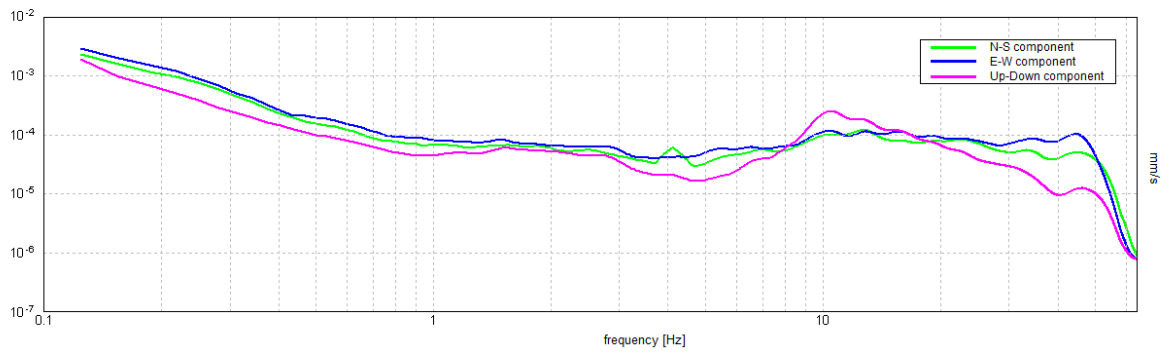
ZGN_111



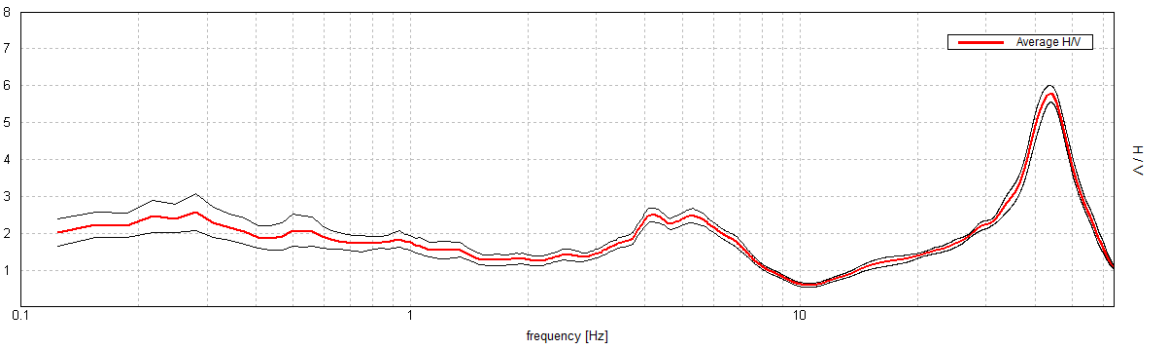
Max. H/V at 35.0 ± 2.98 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



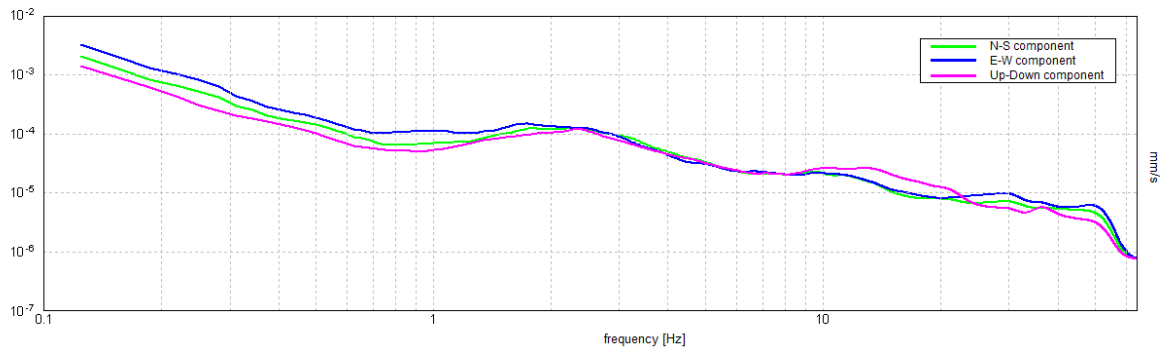
ZGN_112



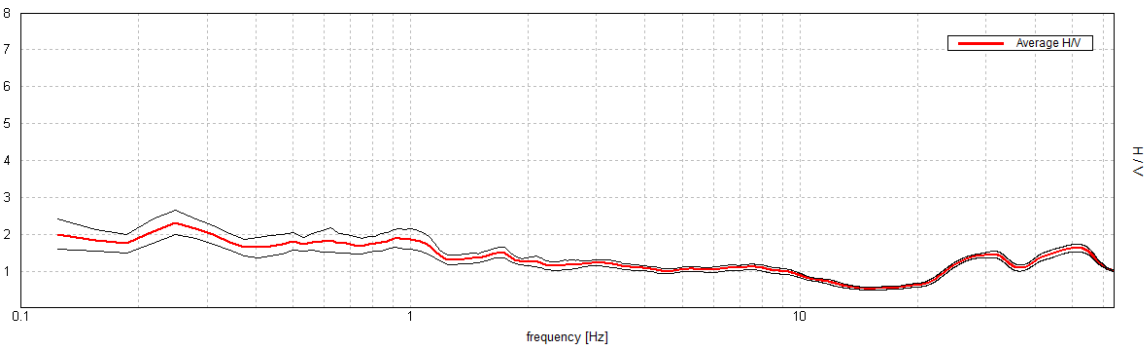
Max. H/V at 43.75 ± 9.29 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



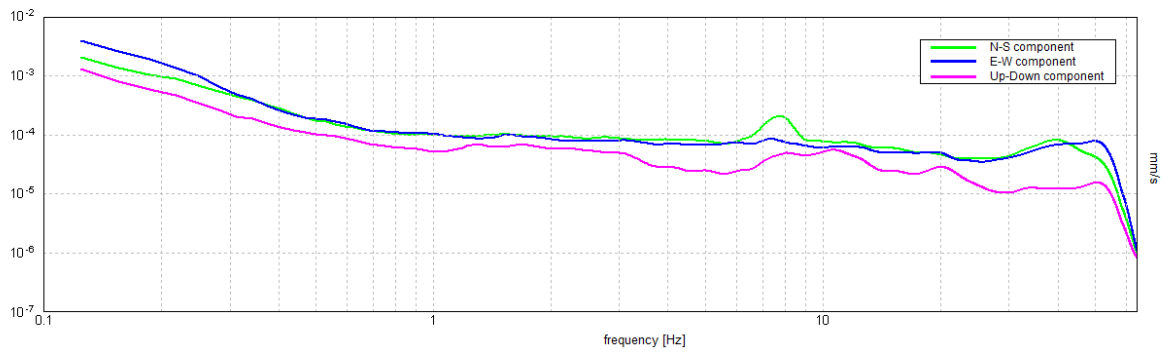
ZGN_113



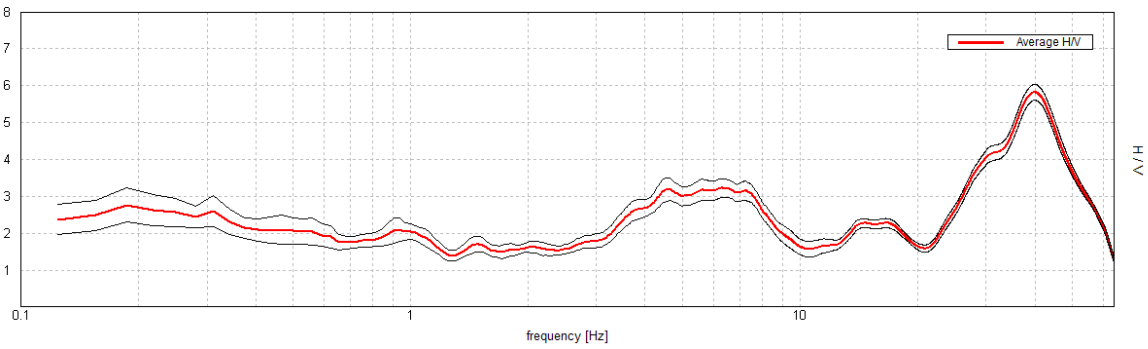
Max. H/V at 0.25 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



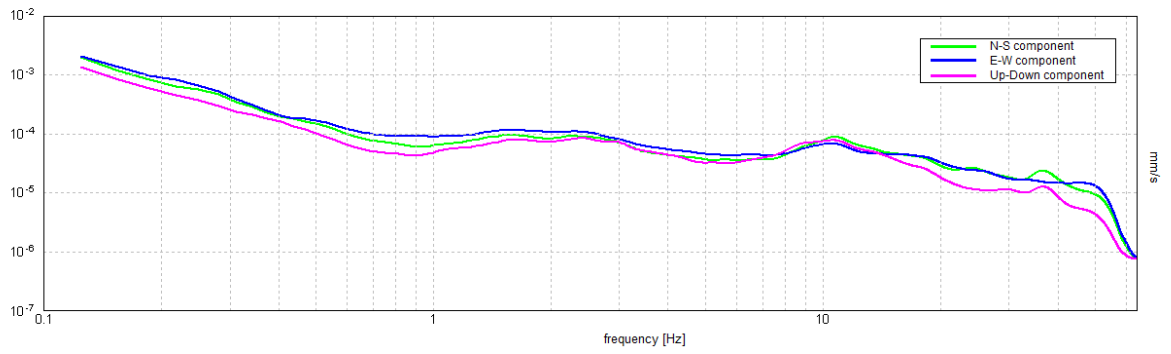
ZGN_114



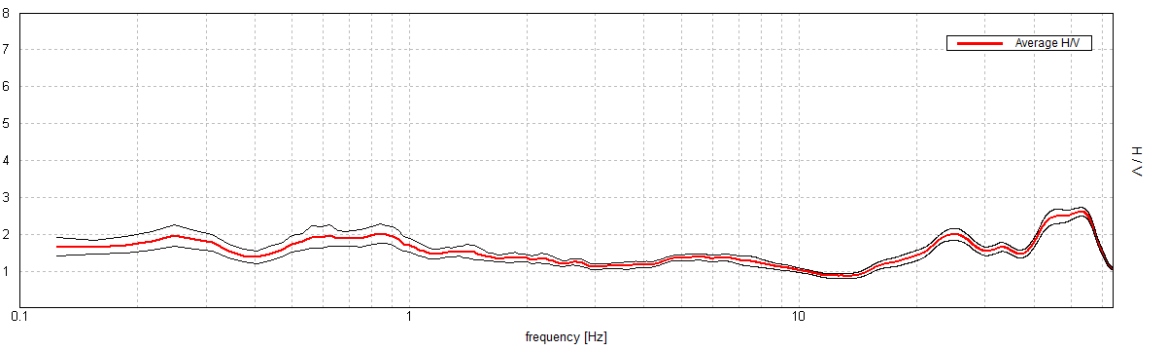
Max. H/V at 39.97 ± 0.73 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



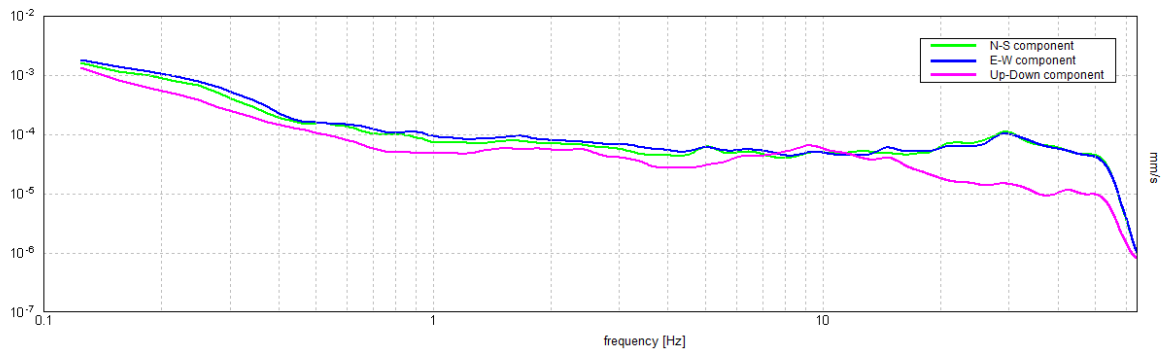
ZGN_115



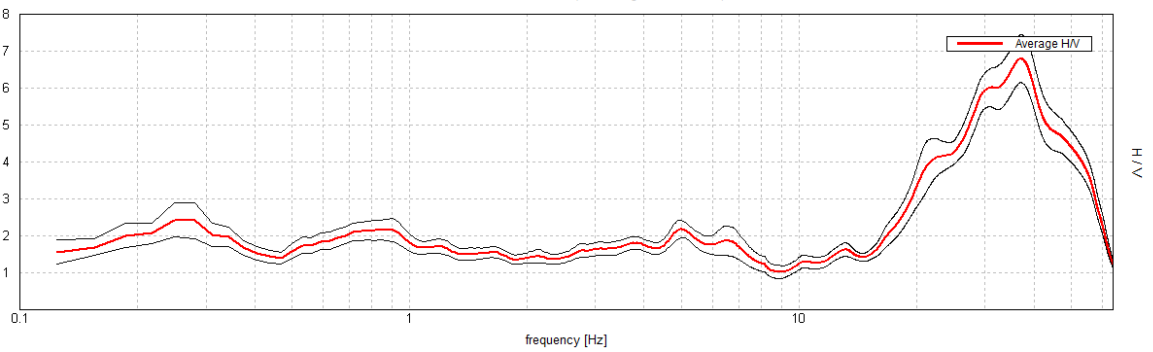
Max. H/V at 53.09 ± 17.95 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



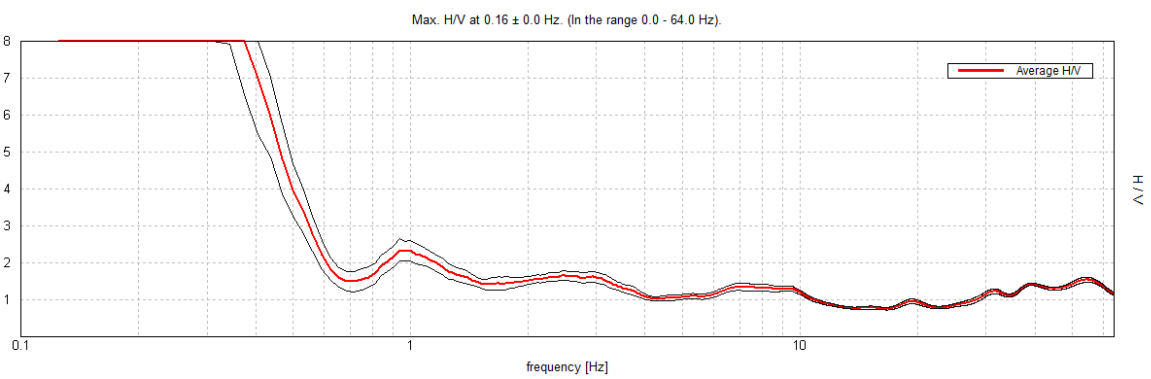
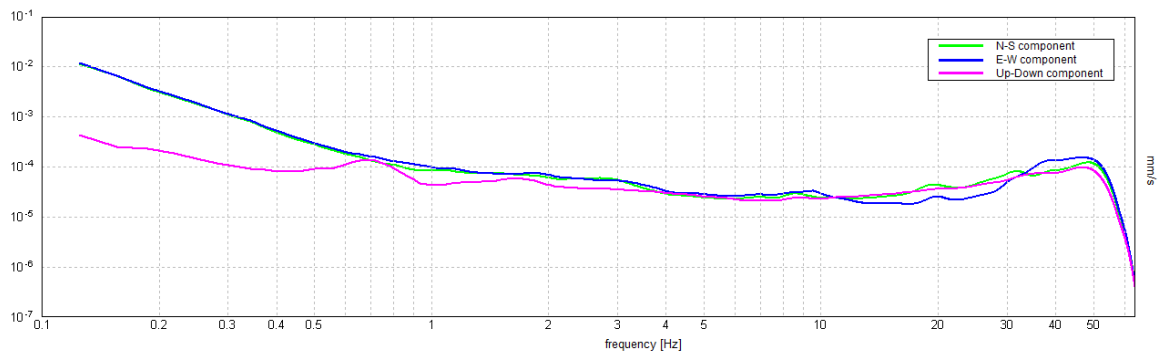
ZGN_116



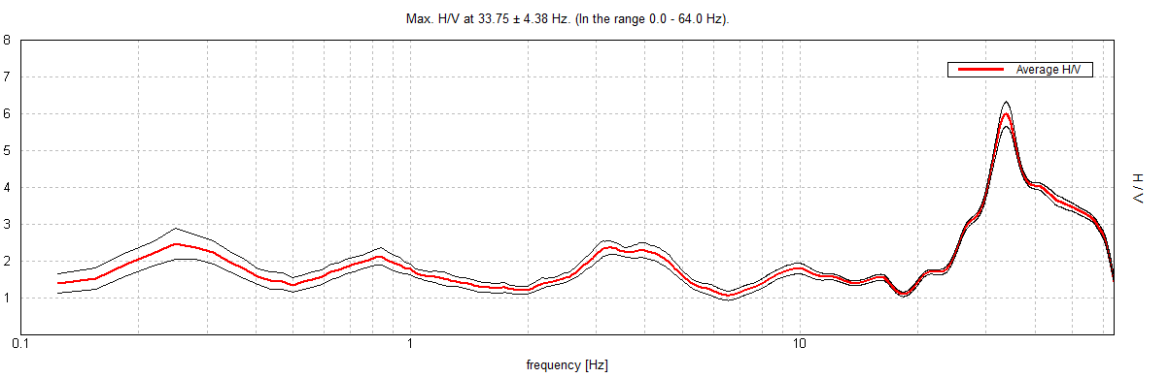
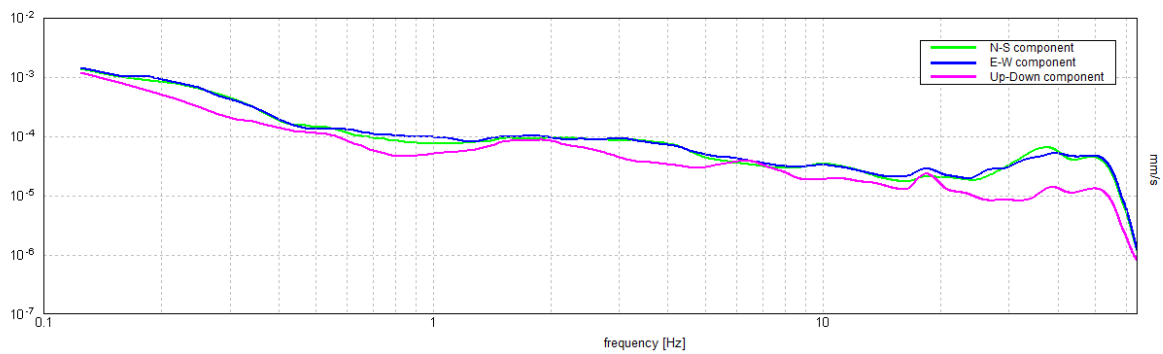
Max. H/V at 37.09 ± 0.99 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



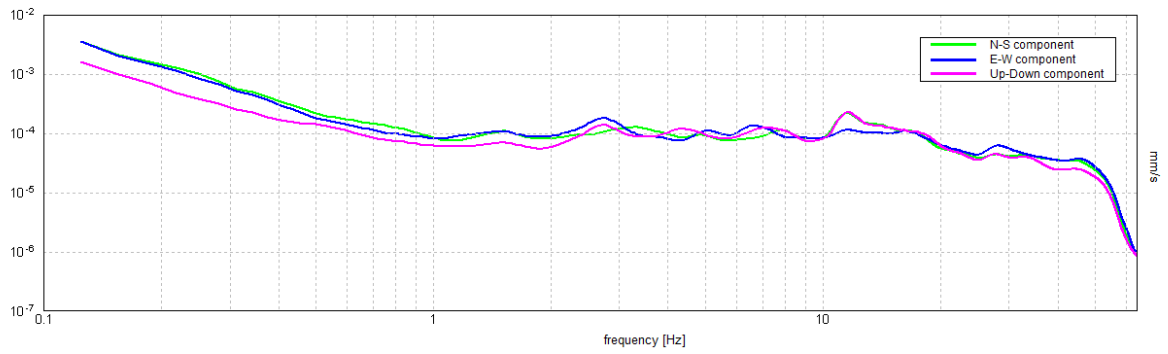
ZGN_117



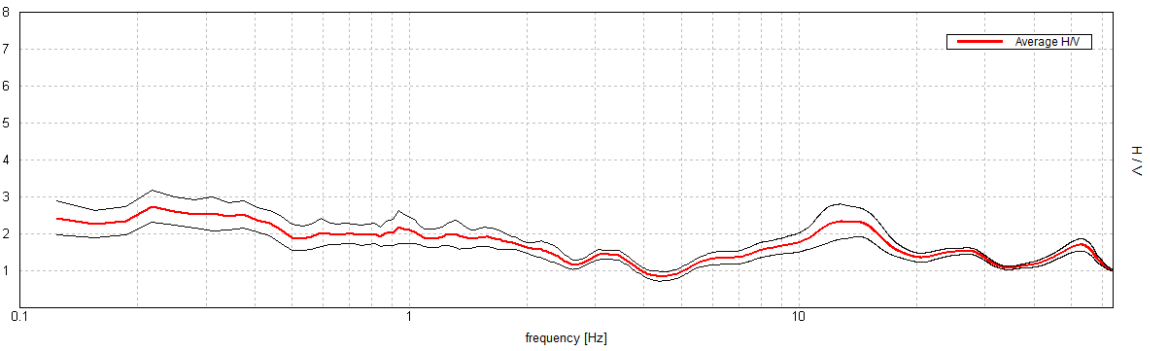
ZGN_118



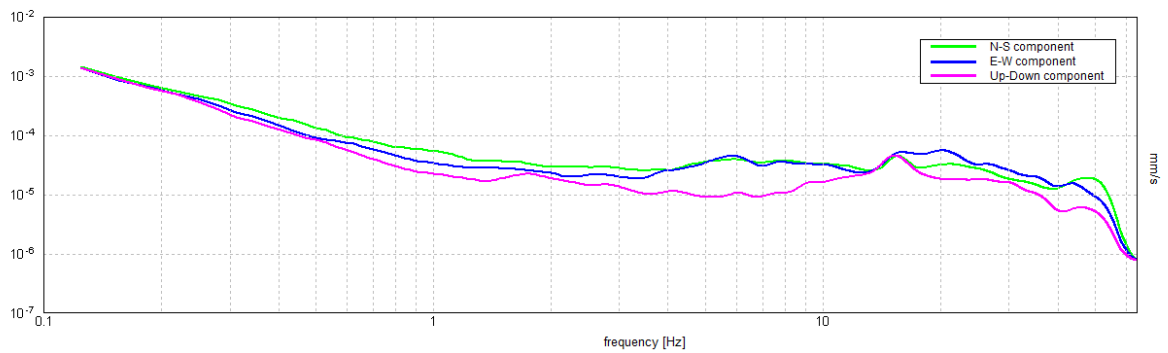
ZGN_119



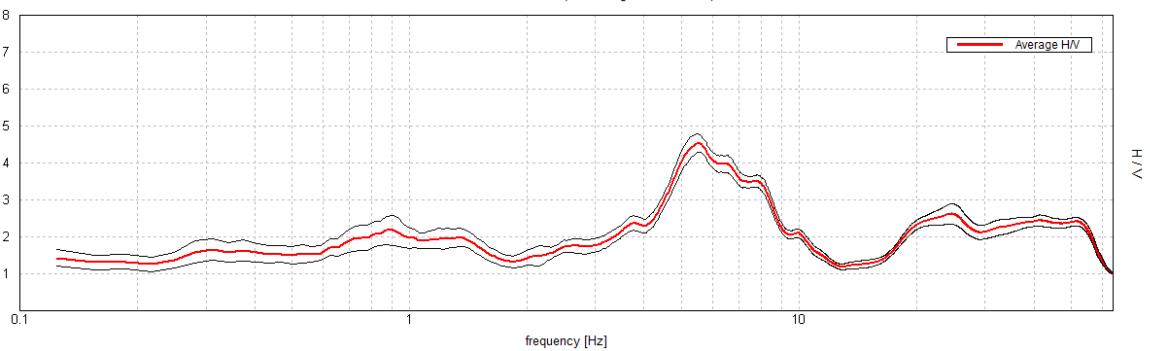
Max. H/V at 0.22 ± 1.8 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



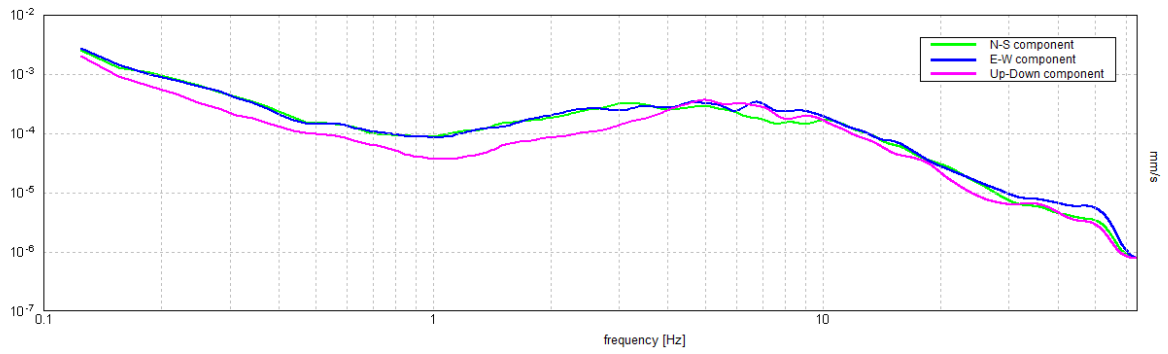
ZGN_120



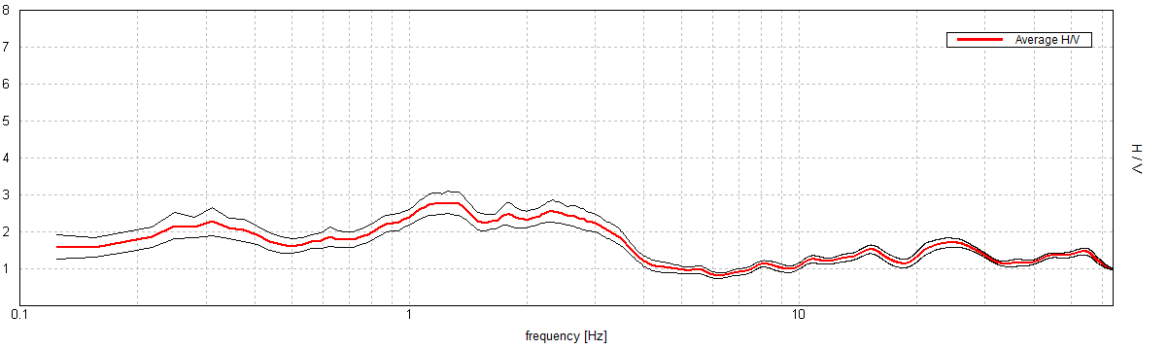
Max. H/V at 5.5 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



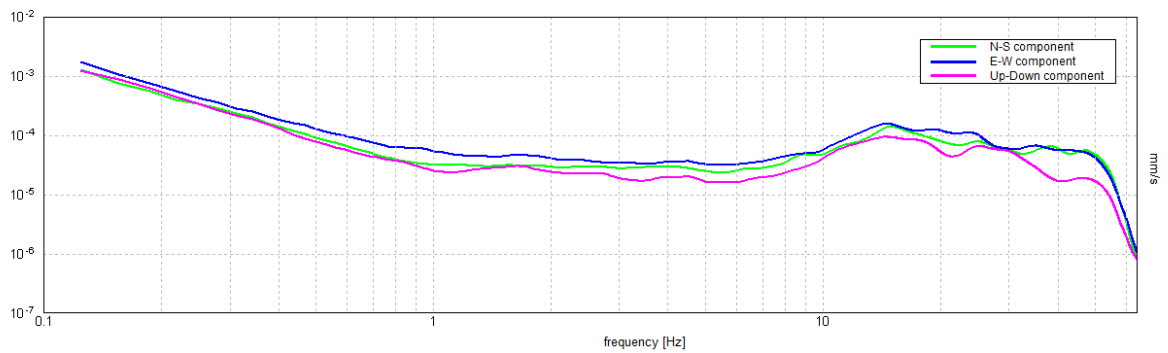
ZGN_121



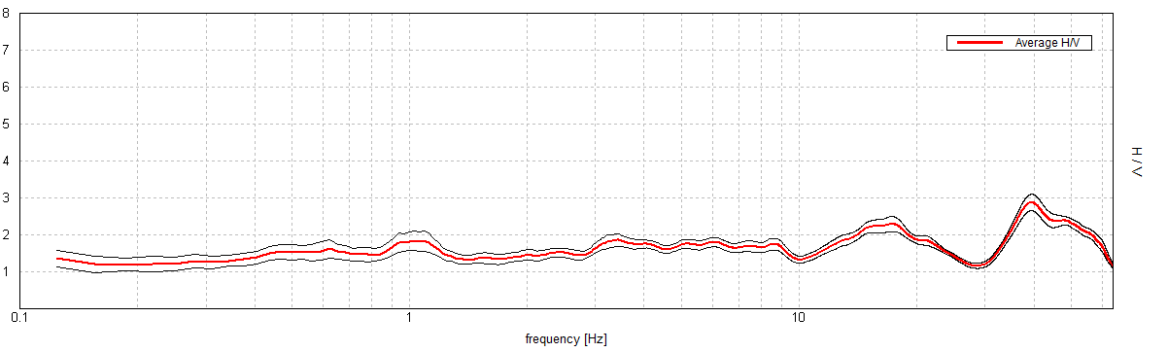
Max. H/V at 1.25 ± 0.55 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



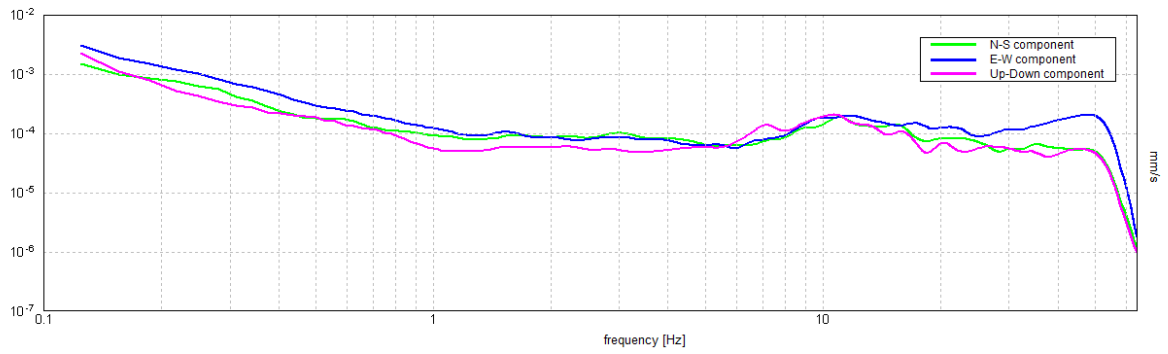
ZGN_122



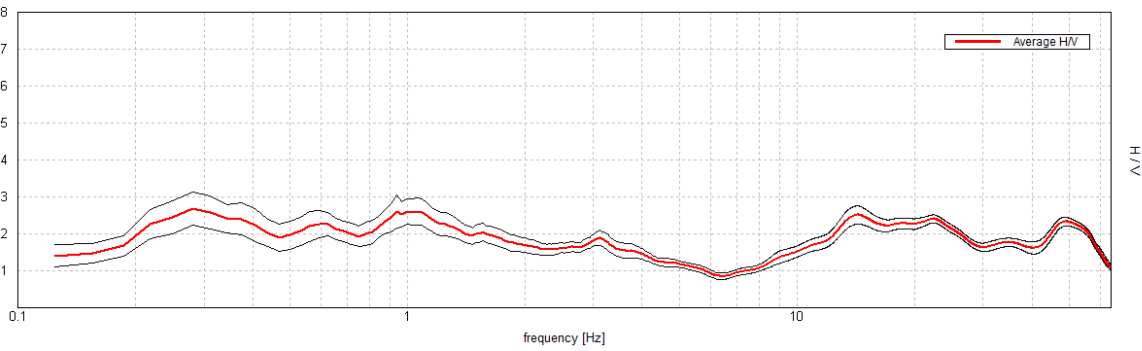
Max. H/V at 39.38 ± 10.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



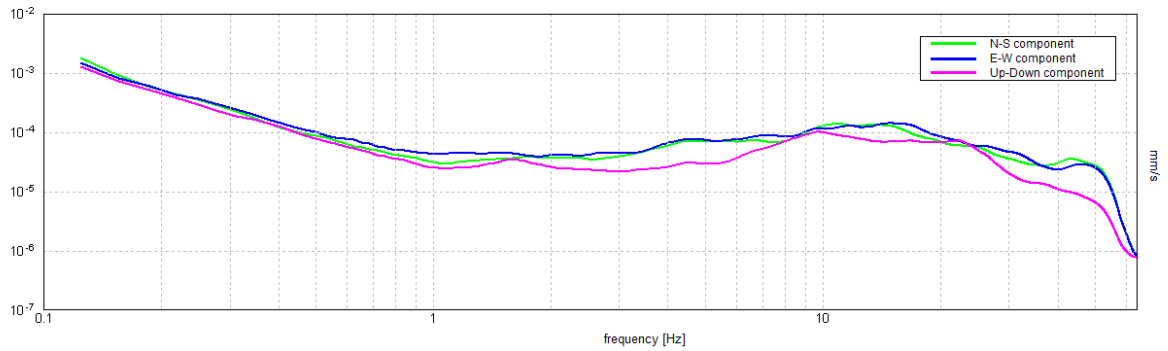
ZGN_123



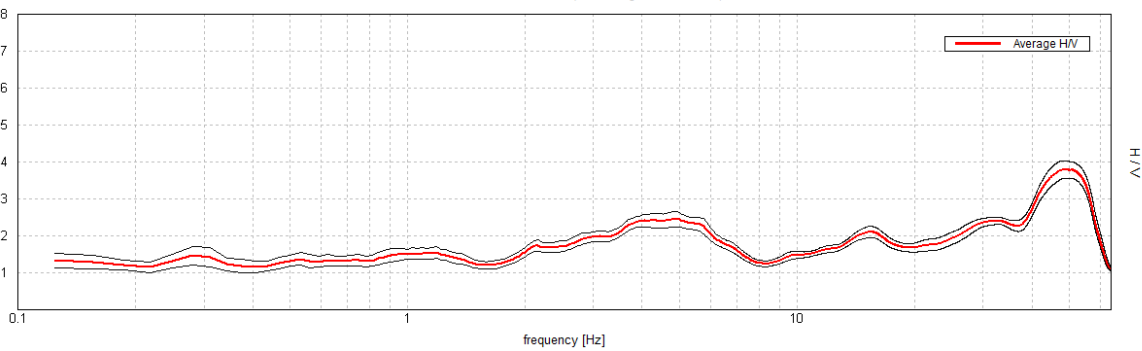
Max. H/V at 0.28 ± 0.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



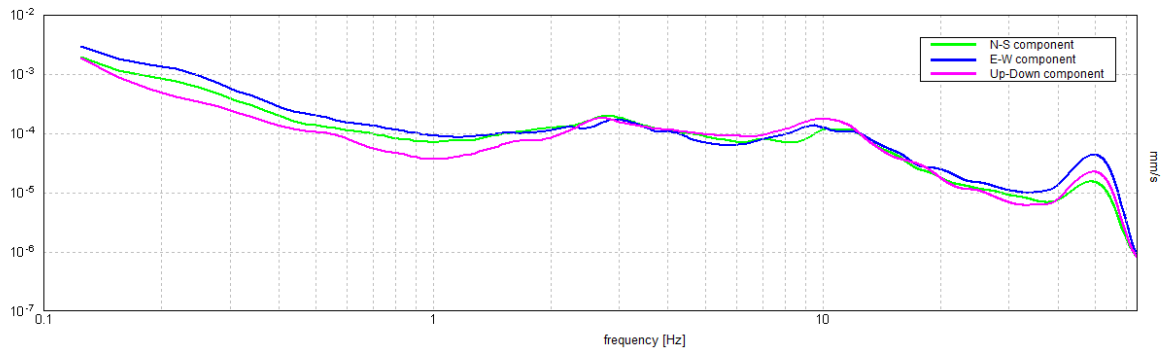
ZGN_124



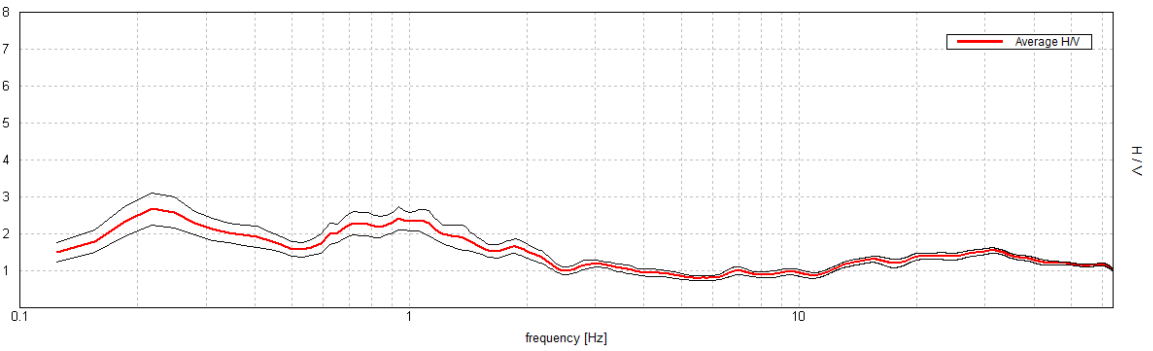
Max. H/V at 48.41 ± 1.68 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



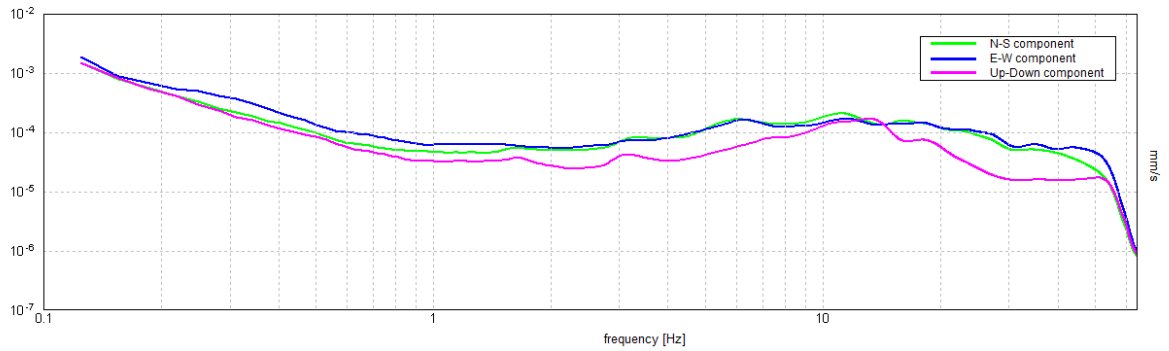
ZGN_125



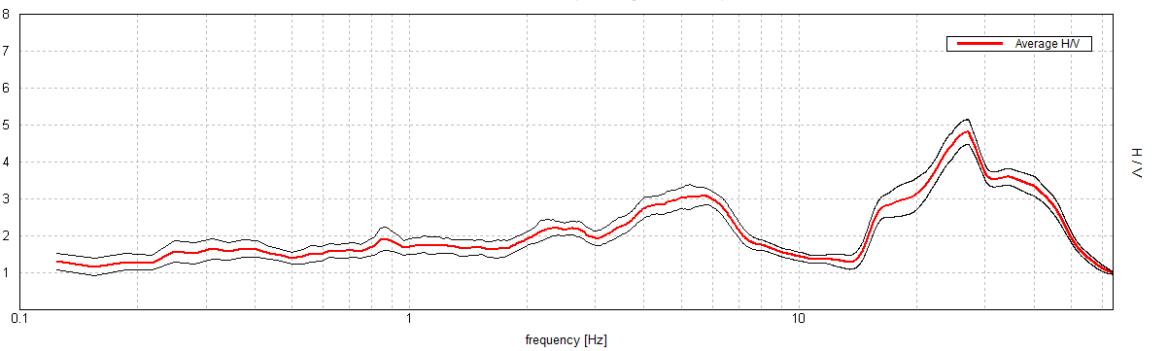
Max. HV at 0.22 ± 0.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



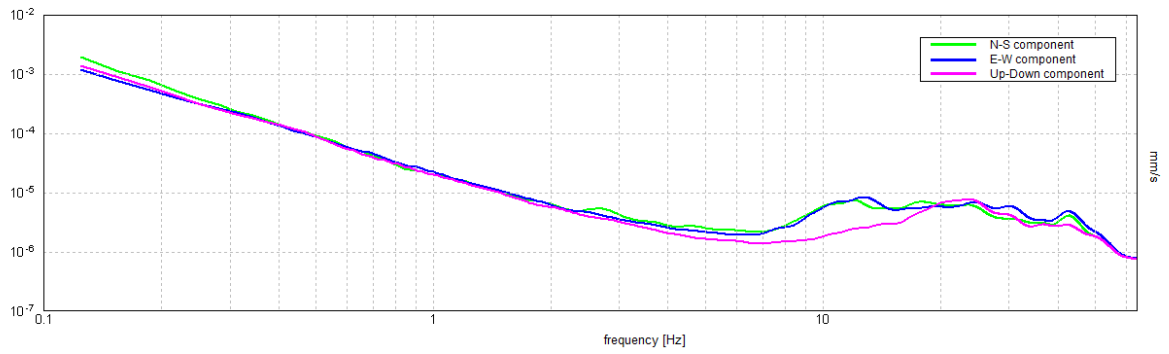
ZGN_126



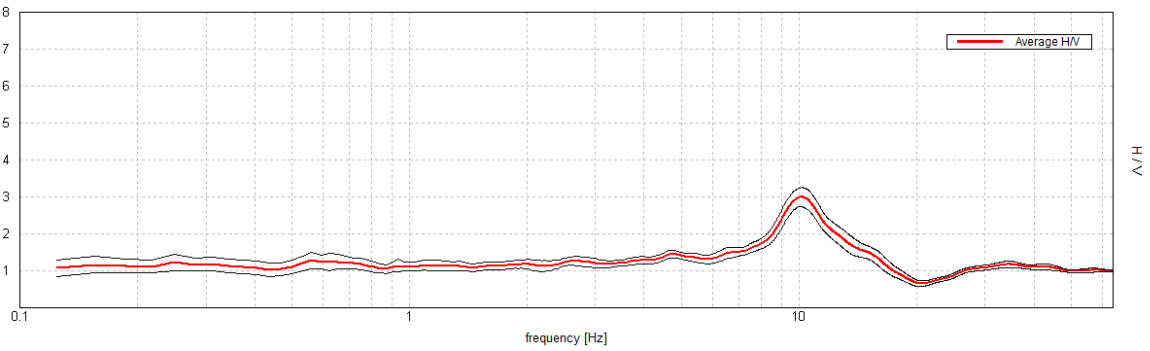
Max. HV at 27.13 ± 5.39 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



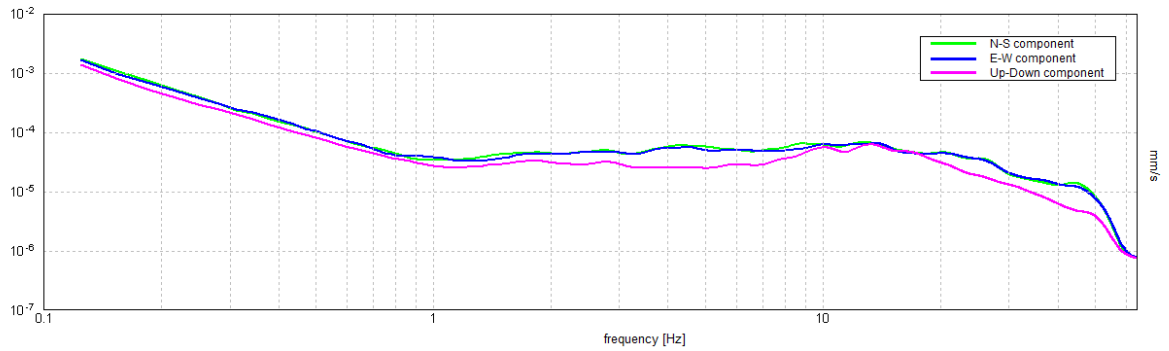
ZGN_127



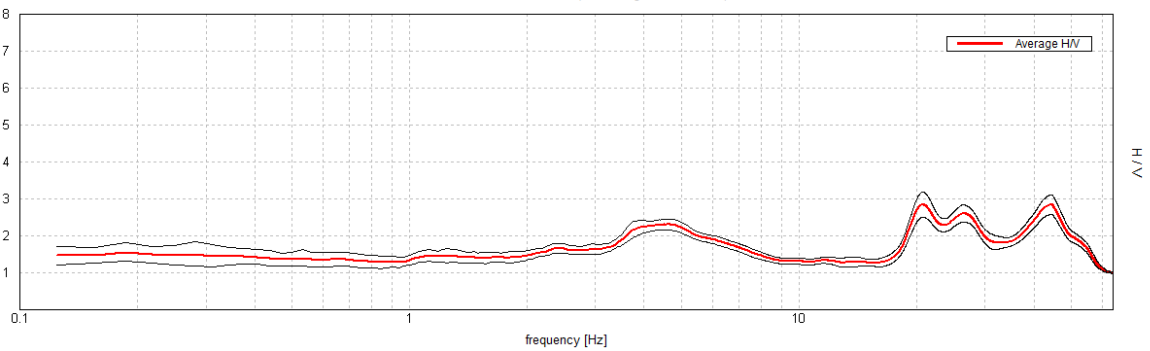
Max. H/V at 10.09 ± 1.43 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



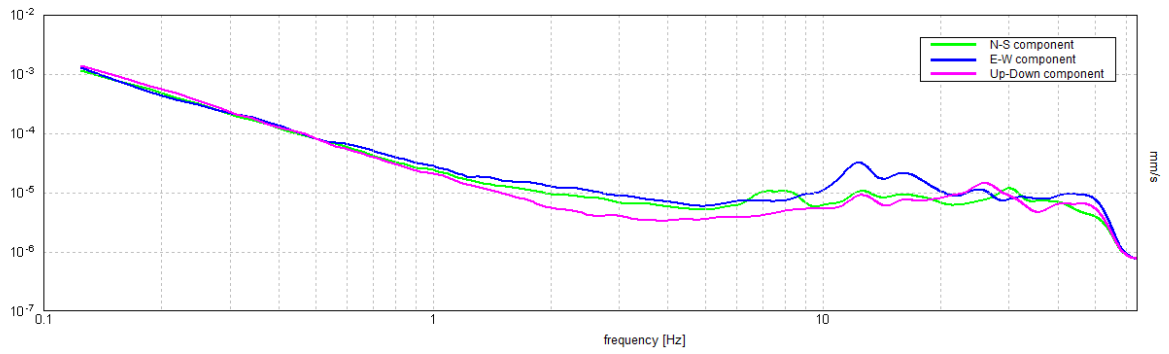
ZGN_128



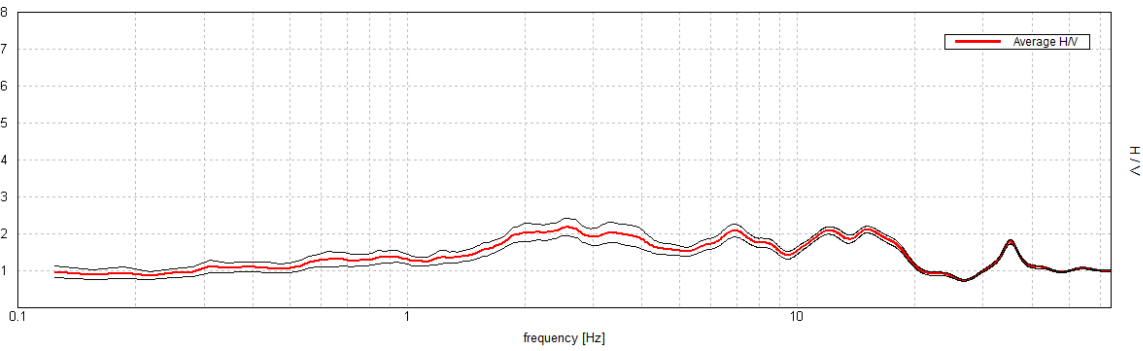
Max. H/V at 20.63 ± 15.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



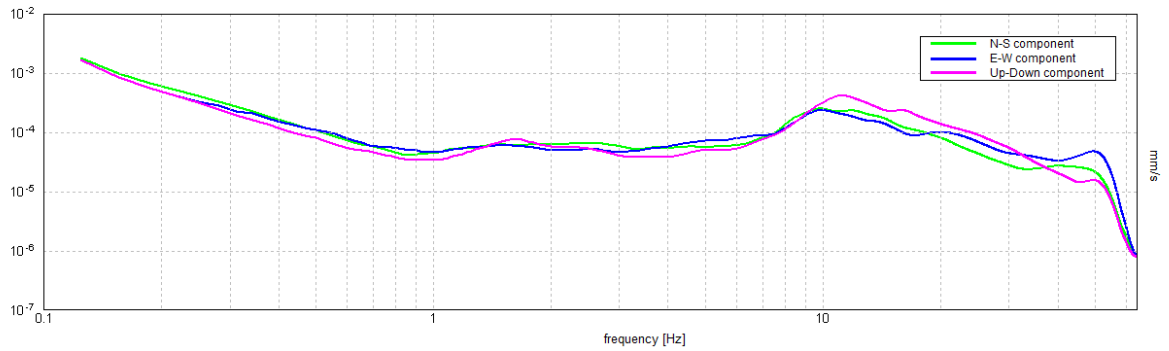
ZGN_129



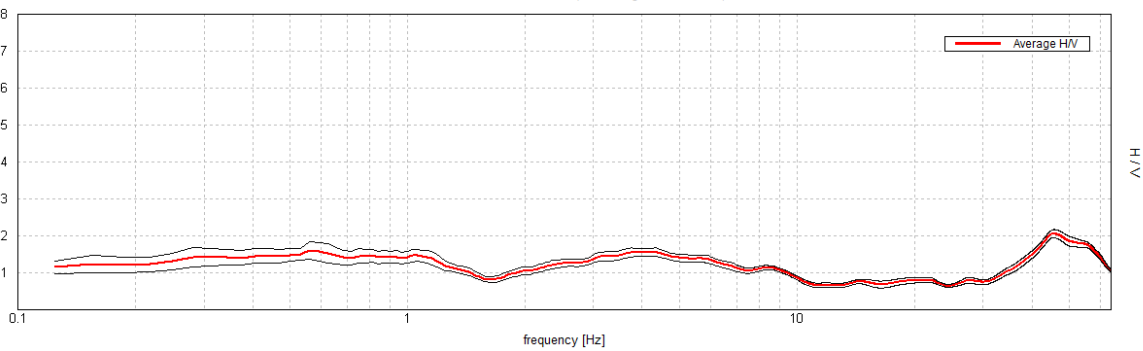
Max. HV at 2.59 ± 2.66 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



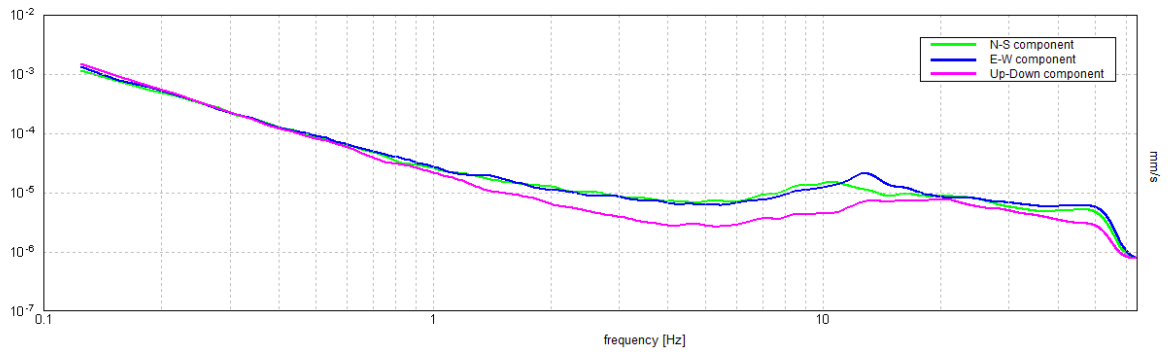
ZGN_130



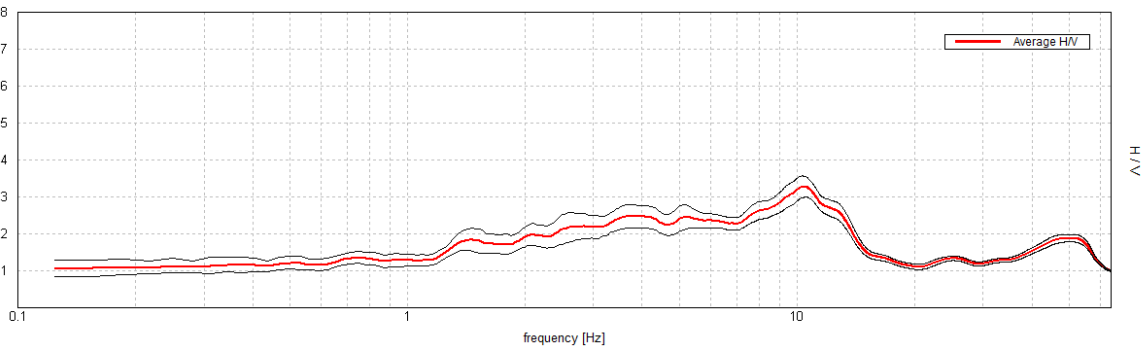
Max. HV at 45.59 ± 15.27 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



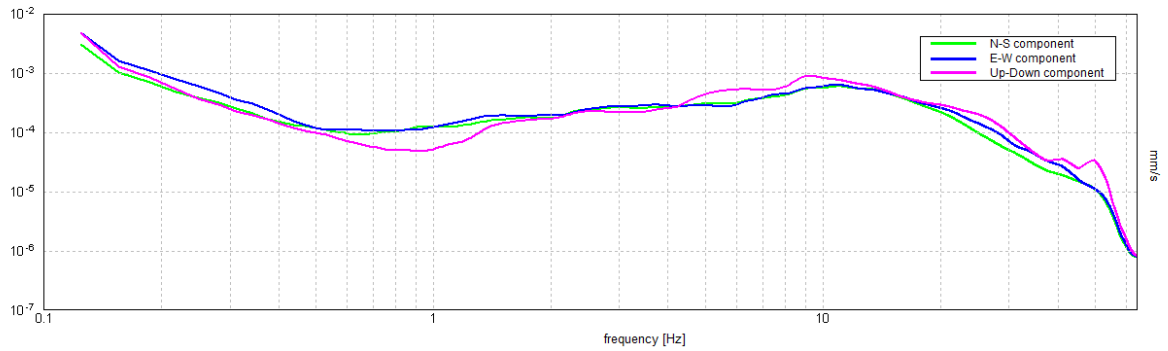
ZGN_131



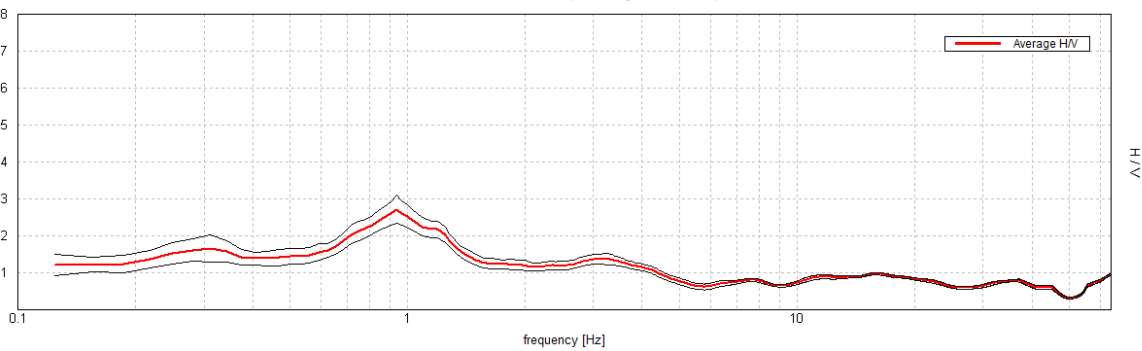
Max. H/V at 10.31 ± 1.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



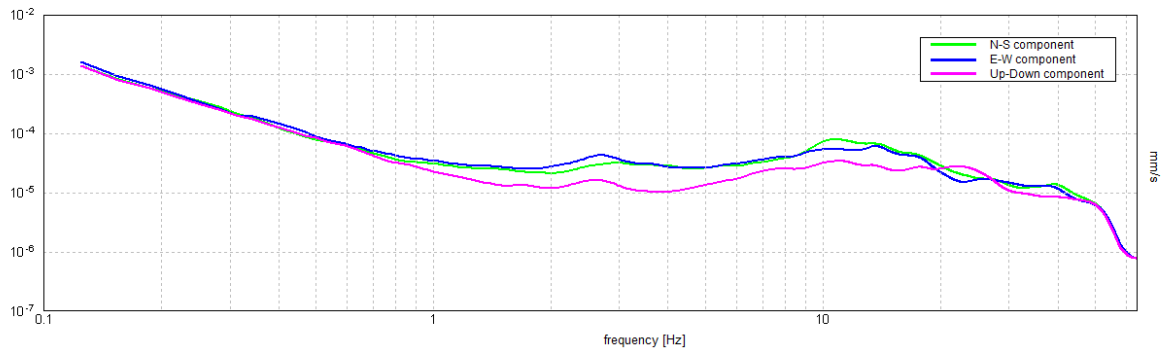
ZGN_132



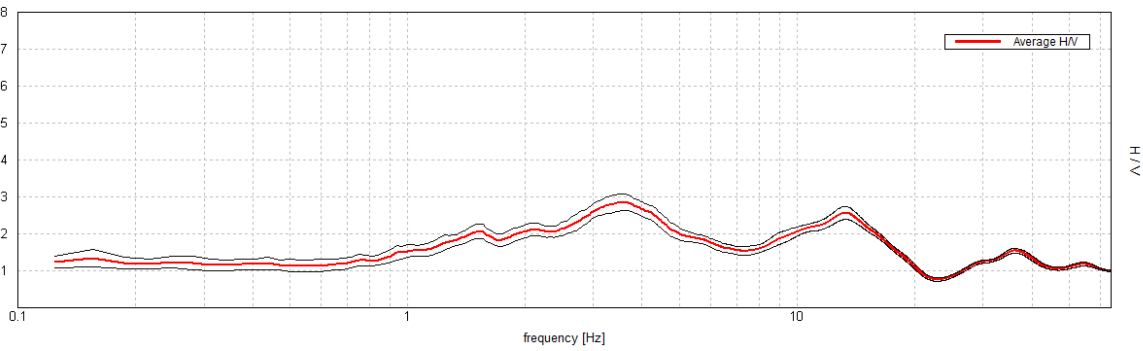
Max. H/V at 0.94 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



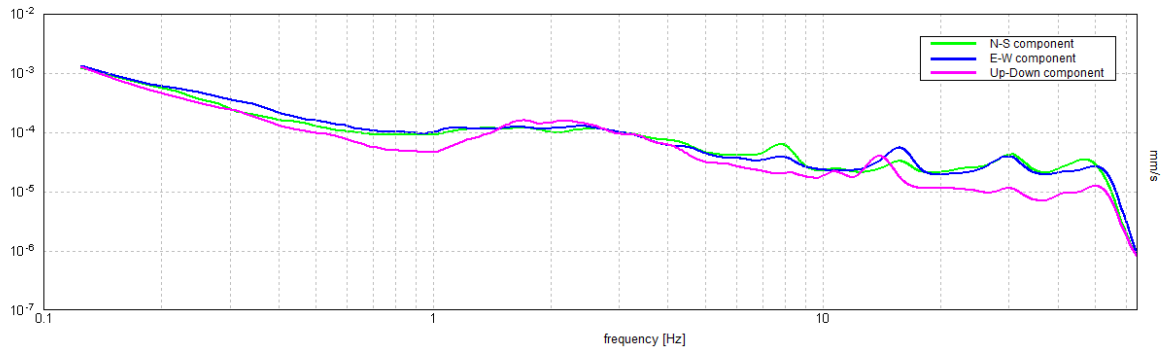
ZGN_133



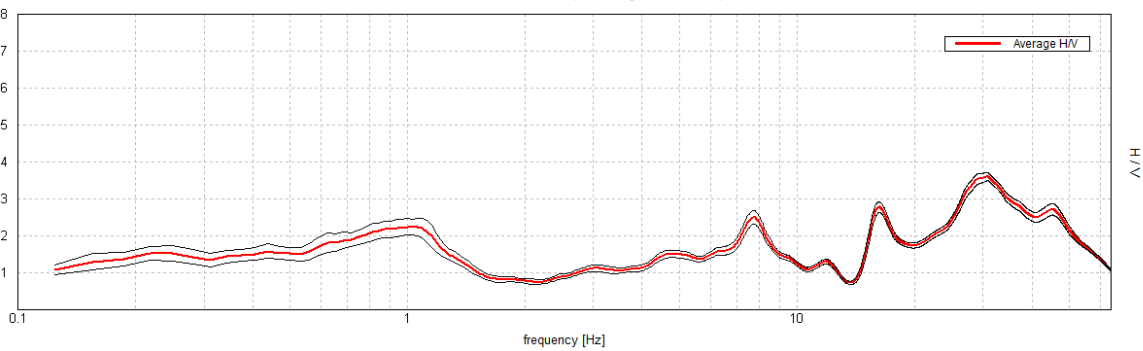
Max. H/V at 3.59 ± 3.45 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



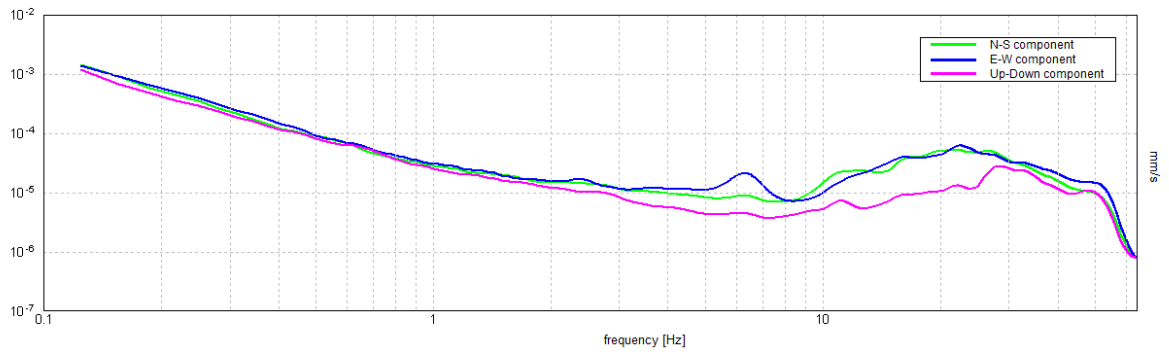
ZGN_134



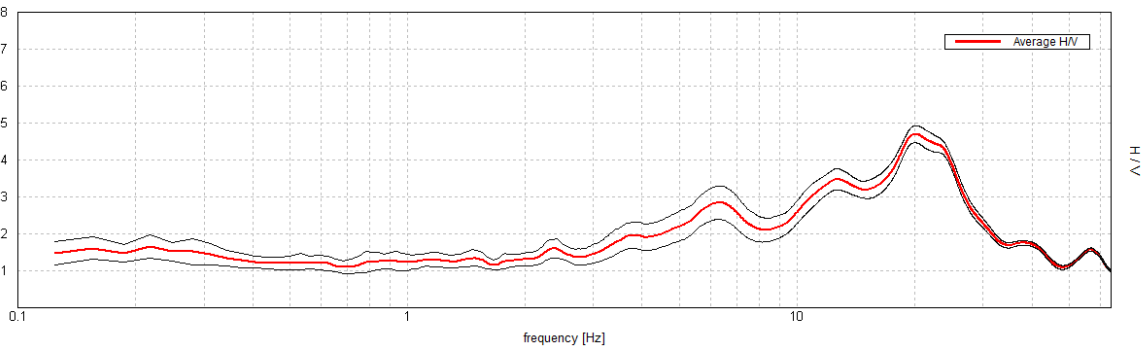
Max. H/V at 30.84 ± 0.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



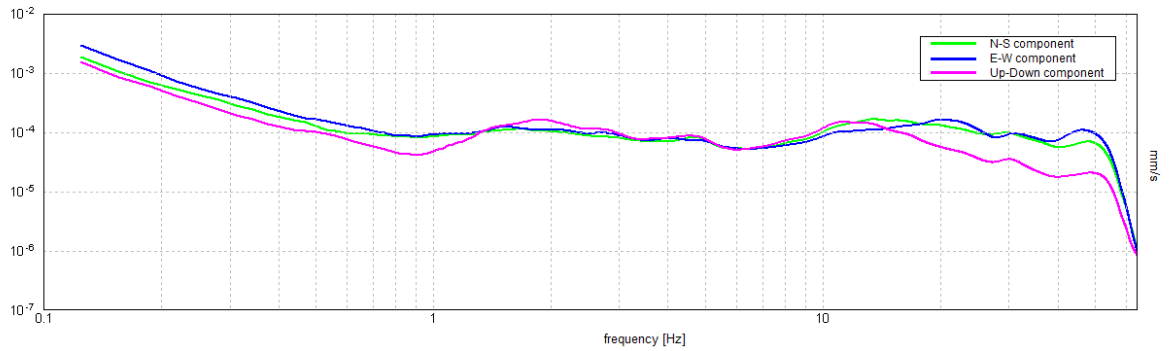
ZGN_135



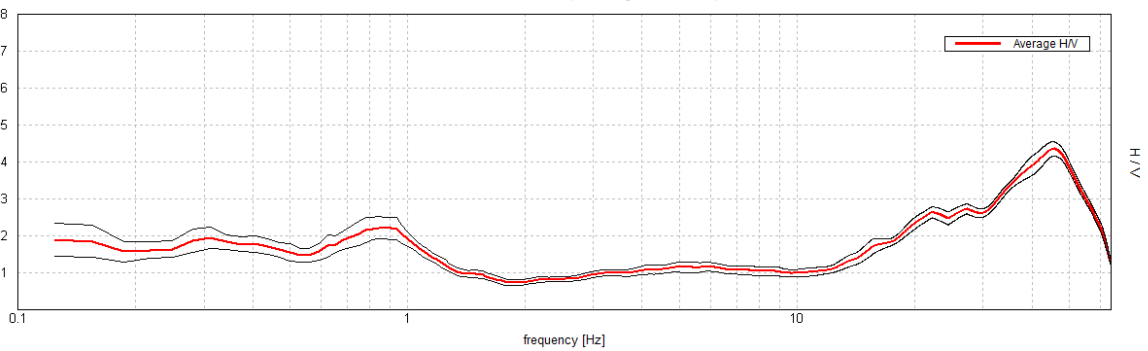
Max. H/V at 20.0 ± 0.45 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



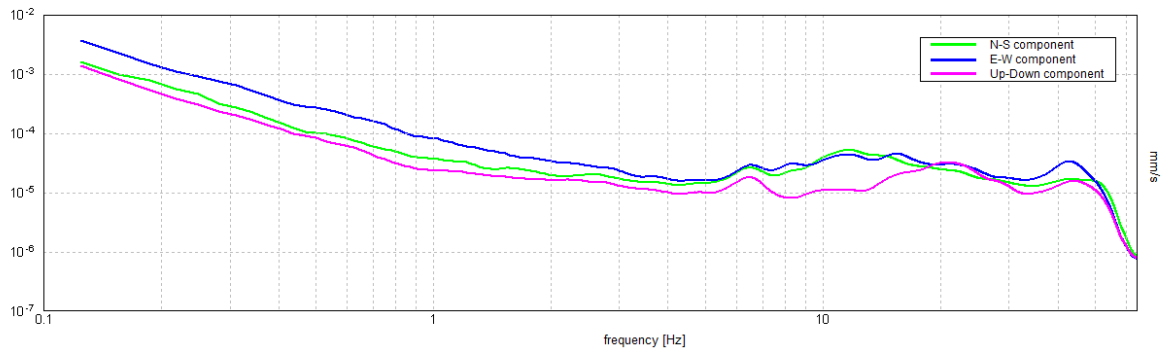
ZGN_136



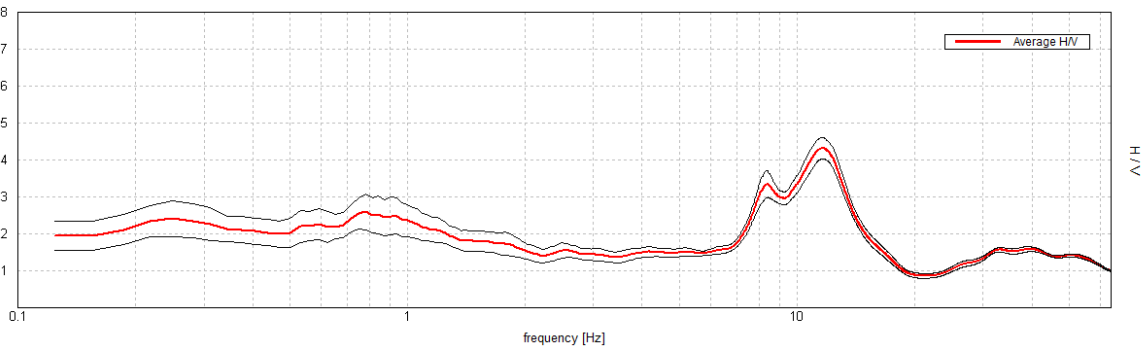
Max. H/V at 45.5 ± 2.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



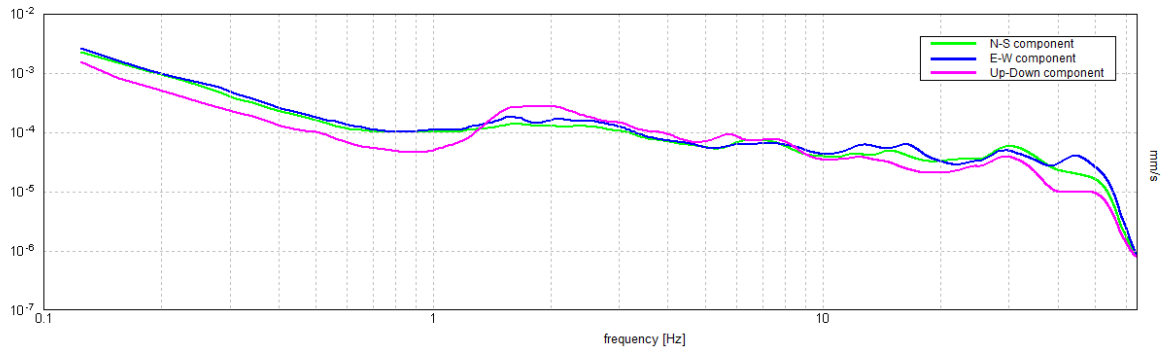
ZGN_137



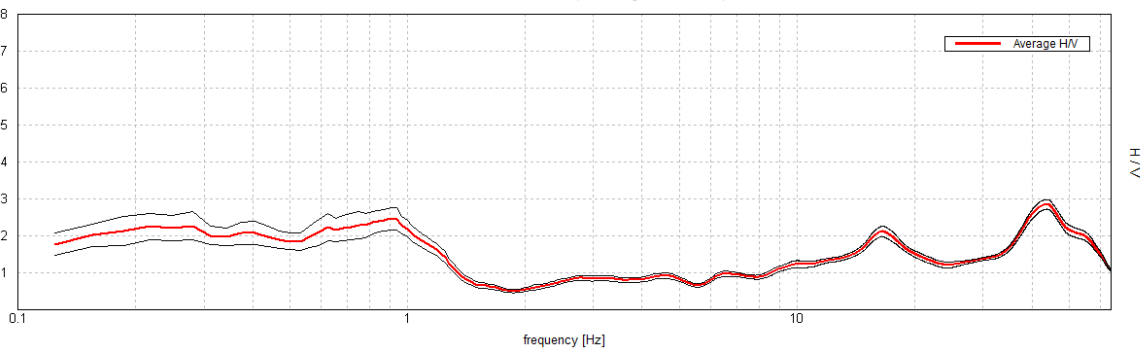
Max. H/V at 11.66 ± 2.72 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



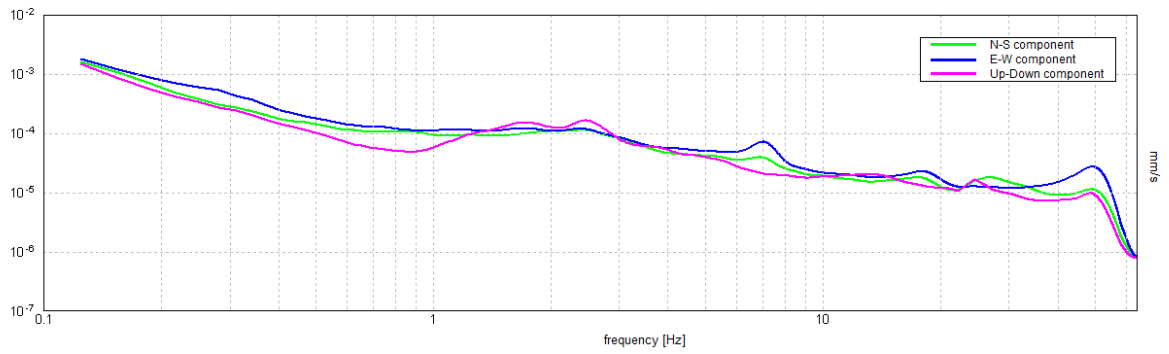
ZGN_138



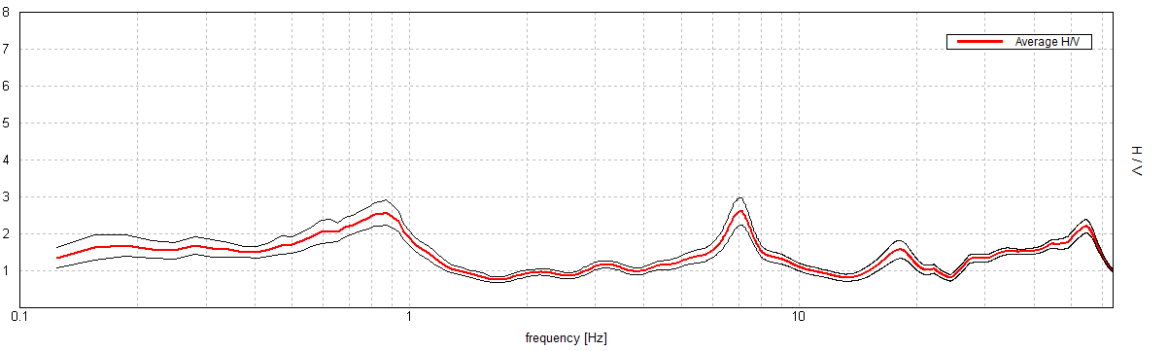
Max. H/V at 43.69 ± 25.85 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



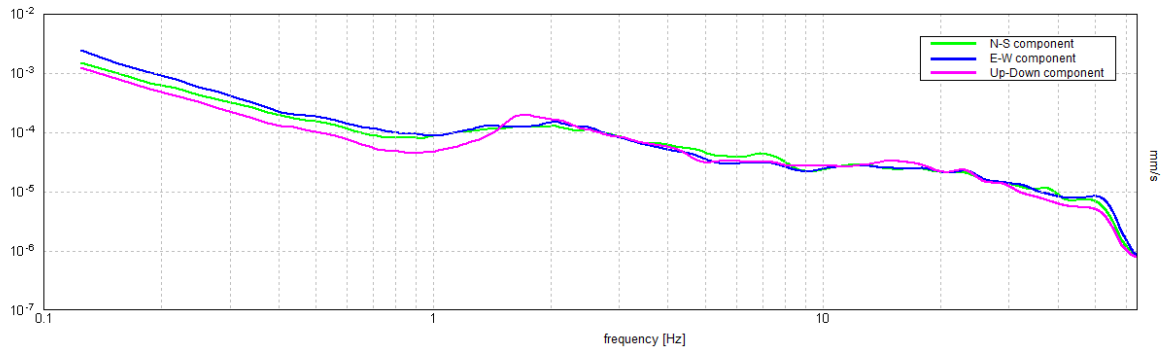
ZGN_139



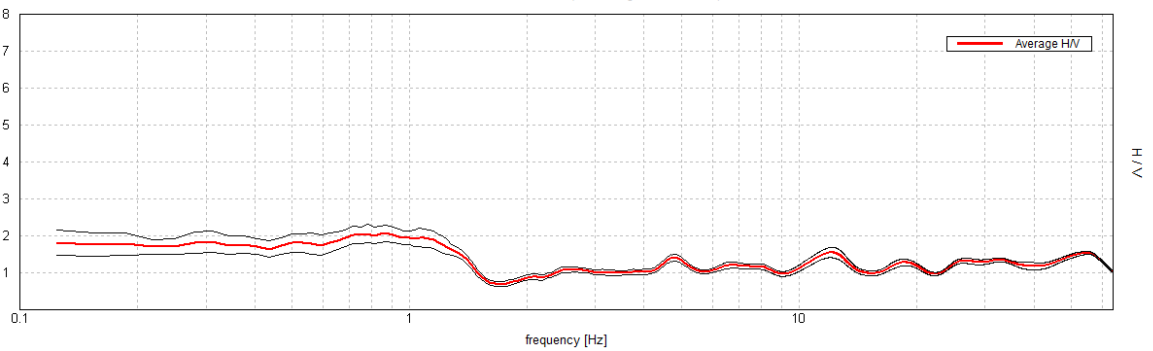
Max. H/V at 7.09 ± 4.6 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



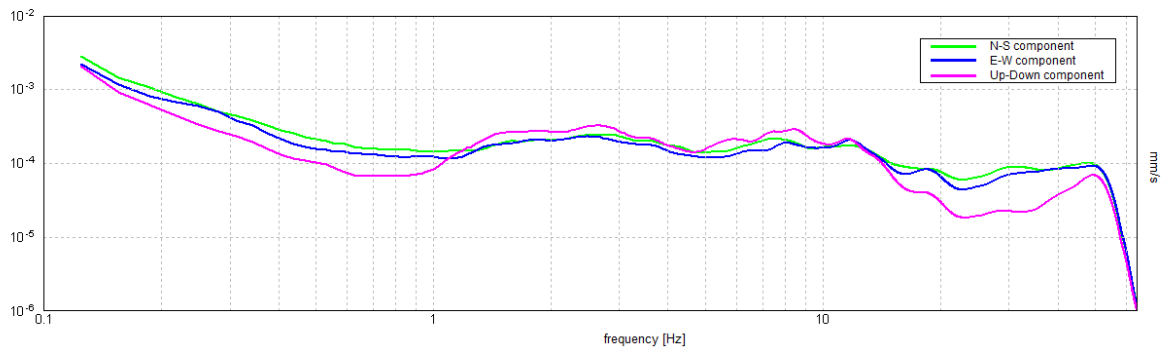
ZGN_140



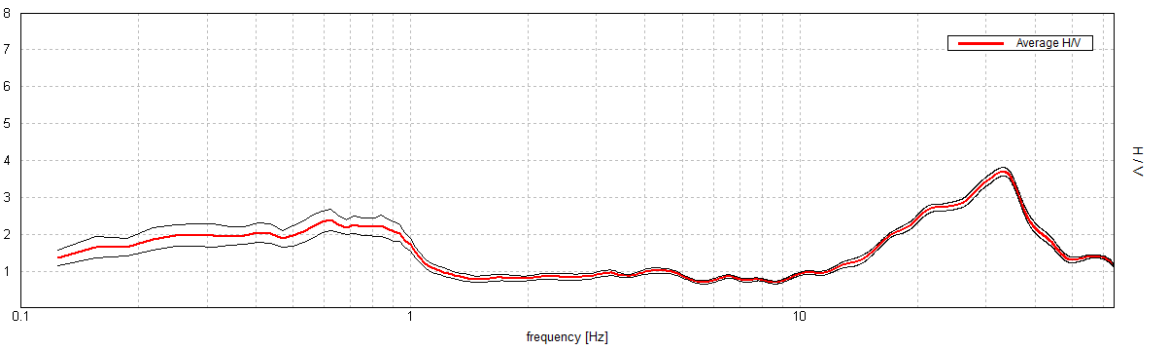
Max. H/V at 0.88 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



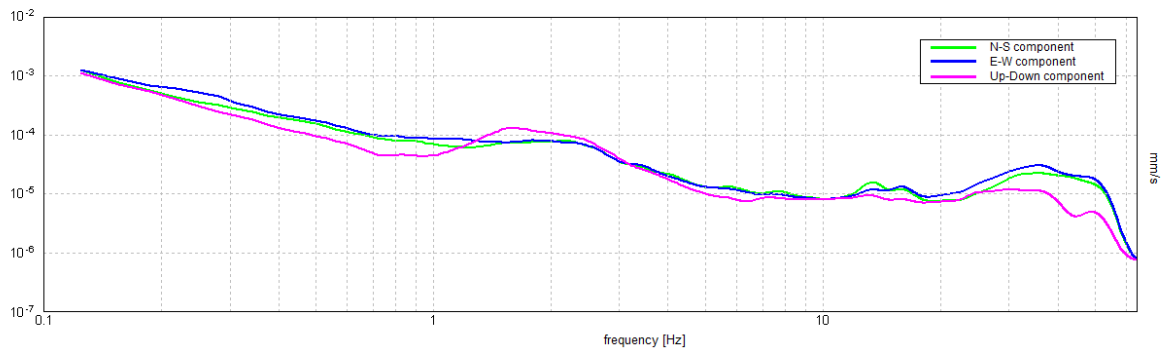
ZGN_141



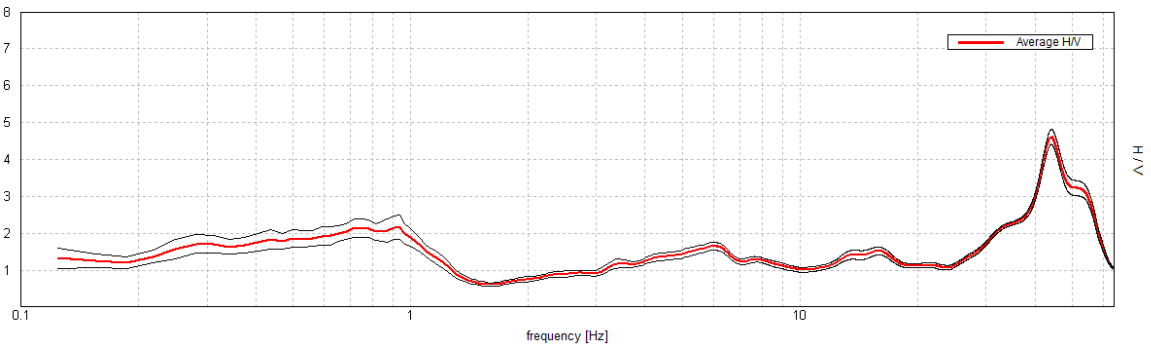
Max. H/V at 33.13 ± 1.27 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



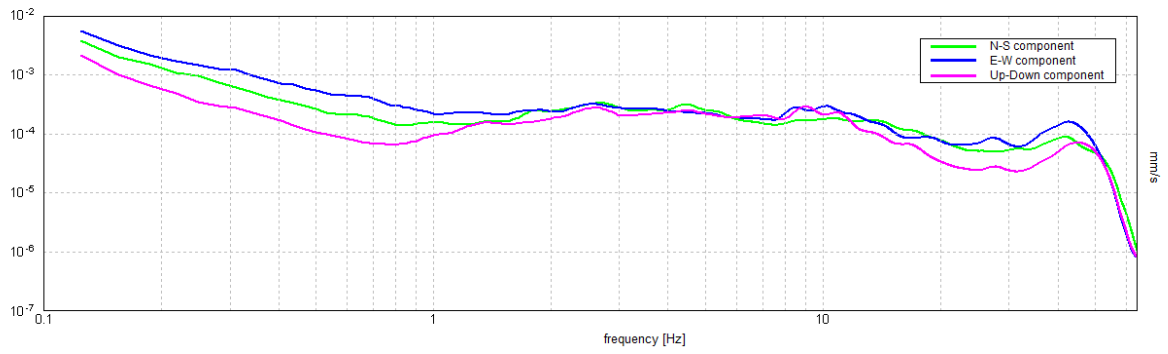
ZGN_142



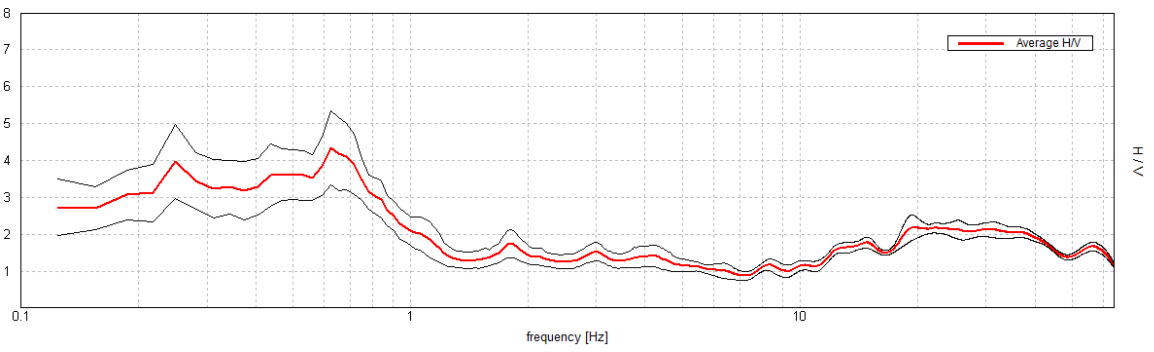
Max. H/V at 44.06 ± 8.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



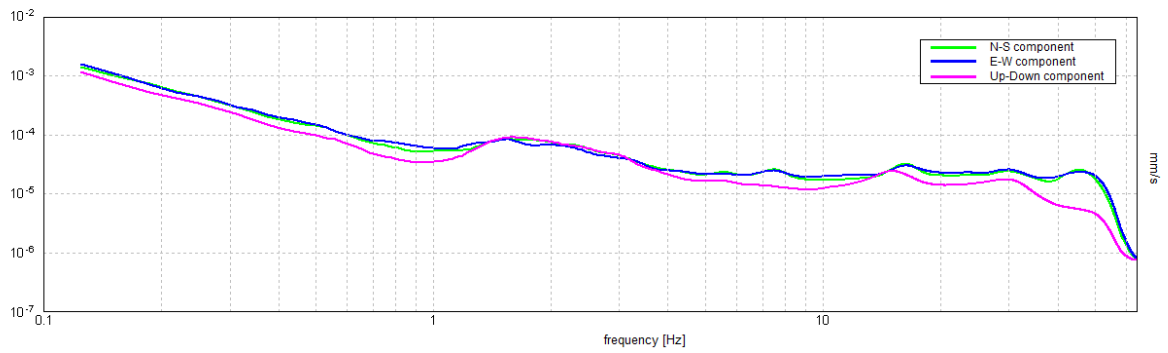
ZGN_143



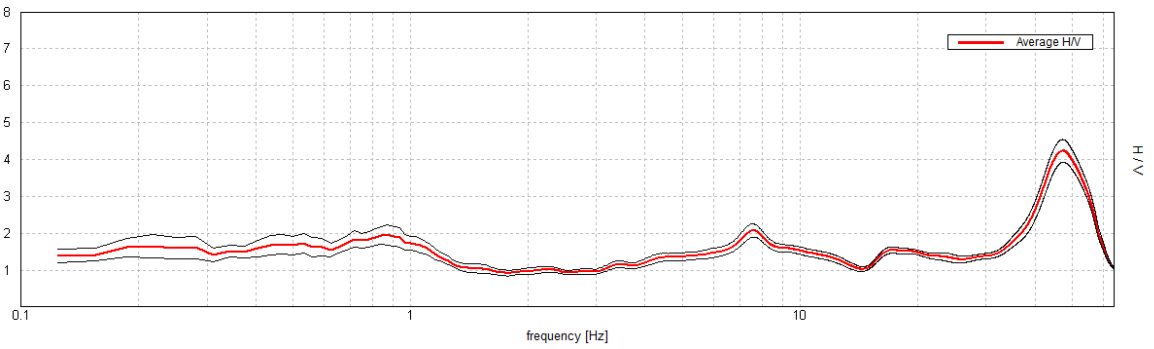
Max. H/V at 0.63 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



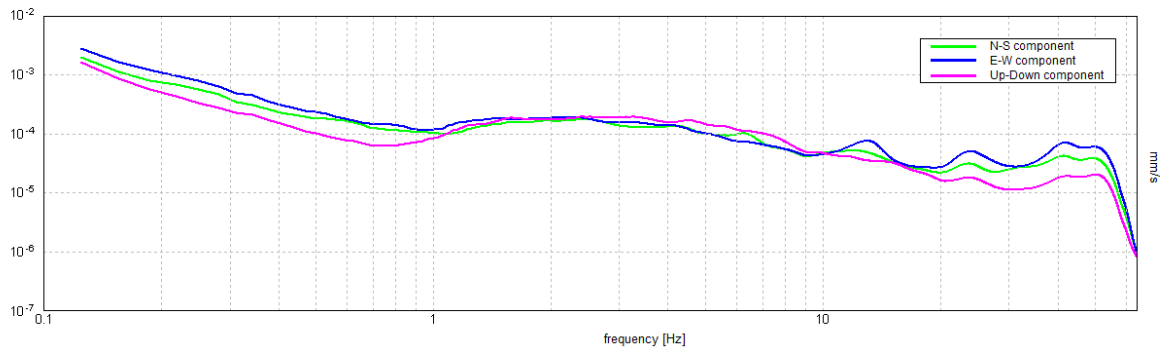
ZGN_144



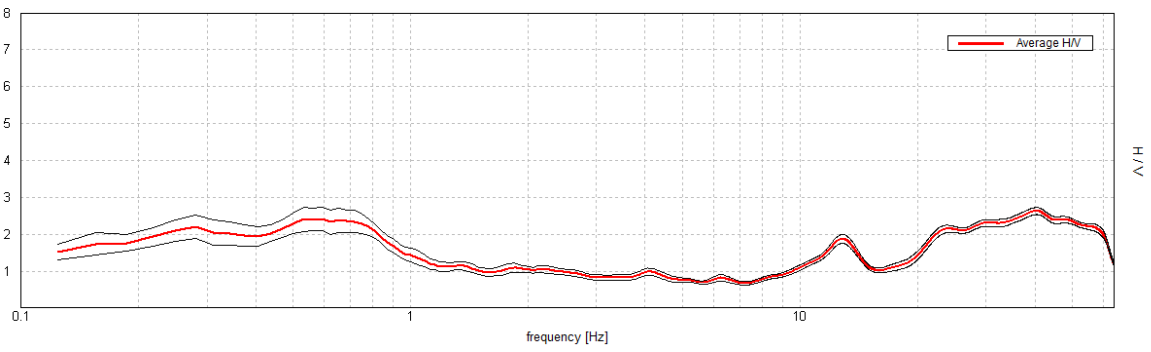
Max. H/V at 47.19 ± 0.92 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



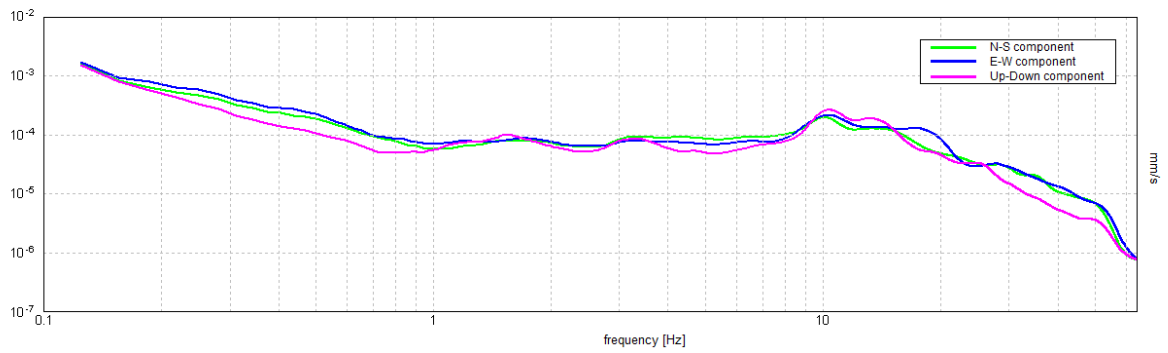
ZGN_145



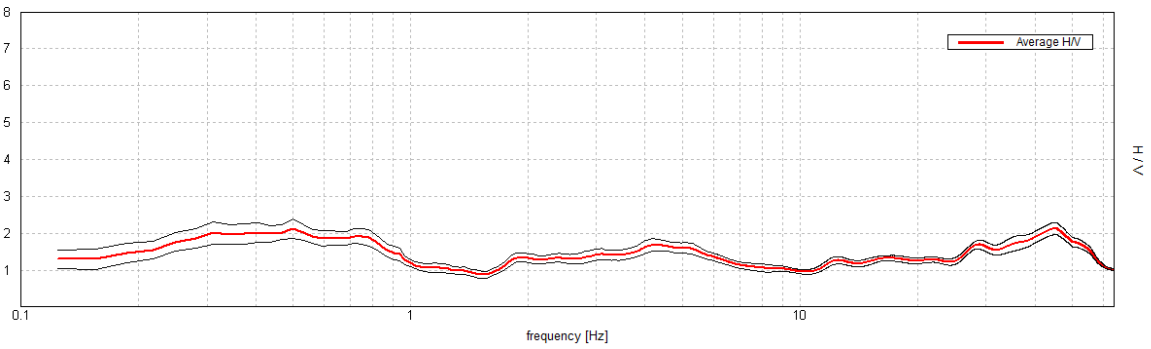
Max. H/V at 40.31 ± 17.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



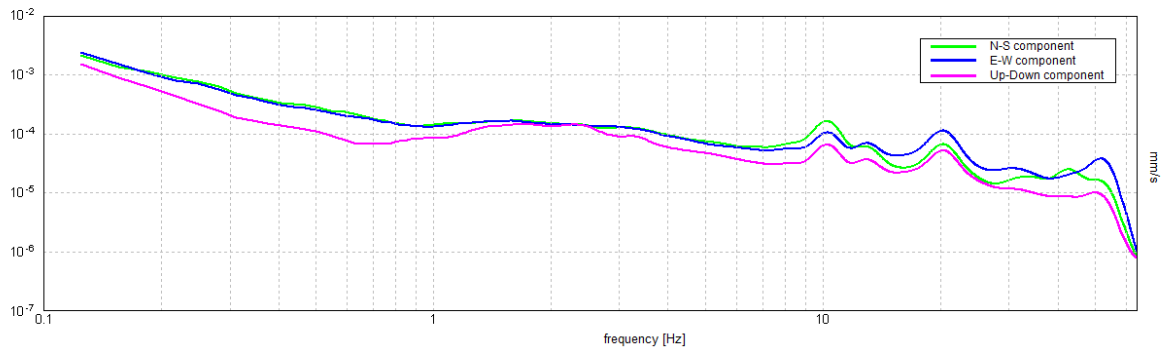
ZGN_146



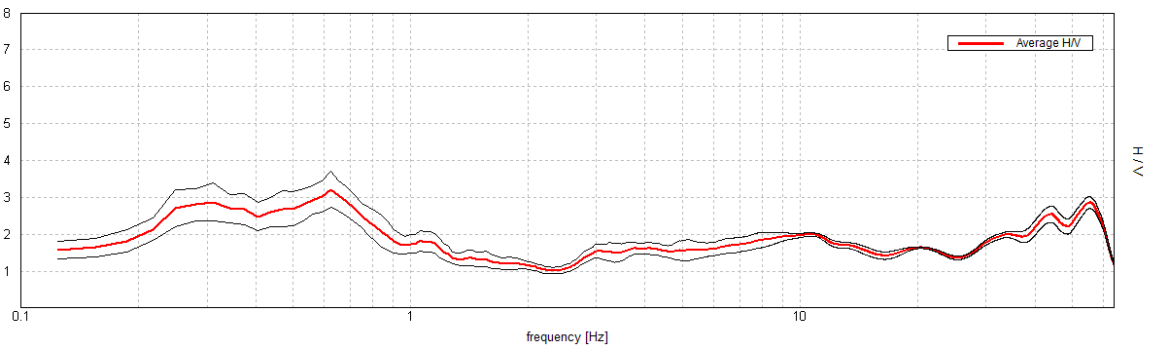
Max. H/V at 45.31 ± 34.64 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



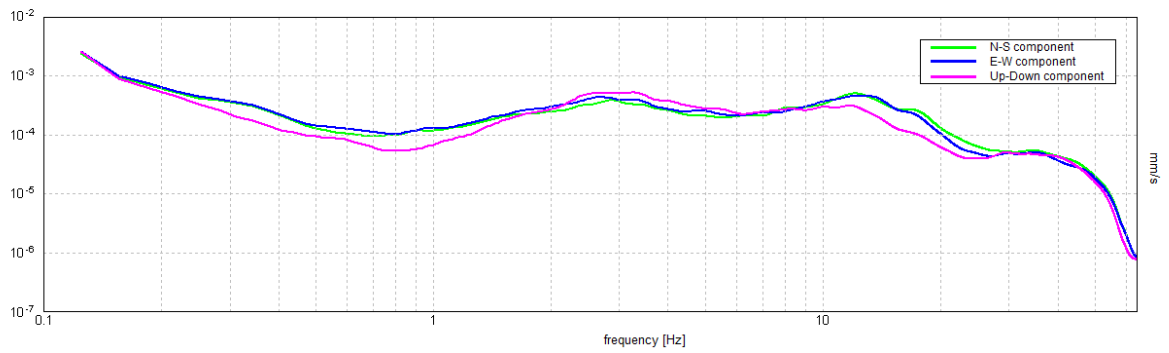
ZGN_147



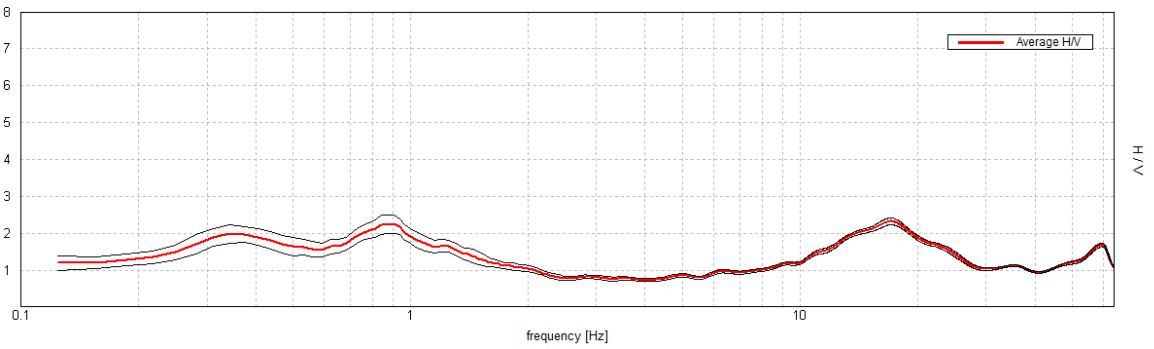
Max. H/V at 0.63 ± 12.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



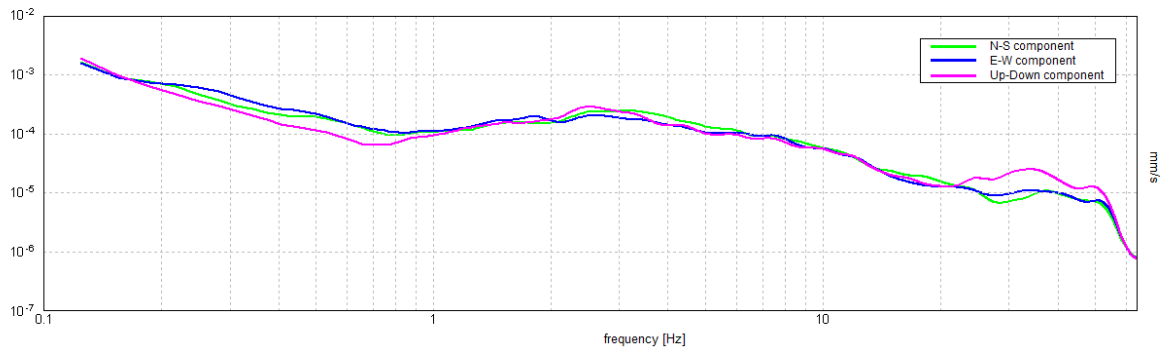
ZGN_148



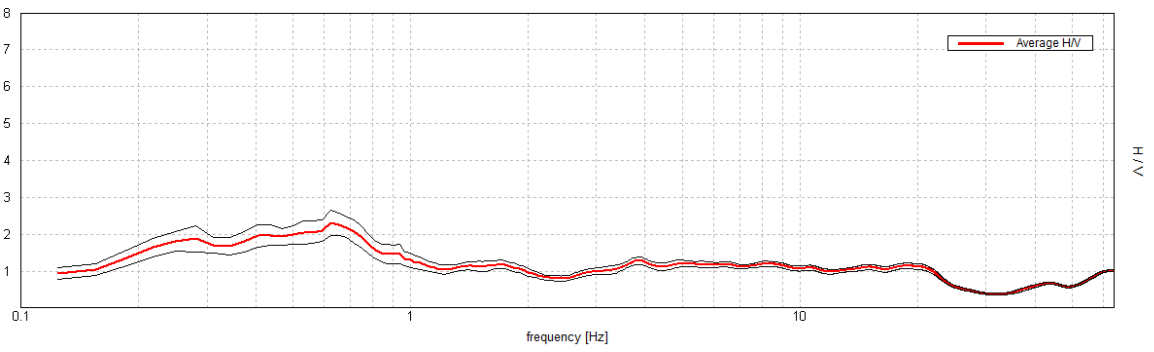
Max. H/V at 17.09 ± 9.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



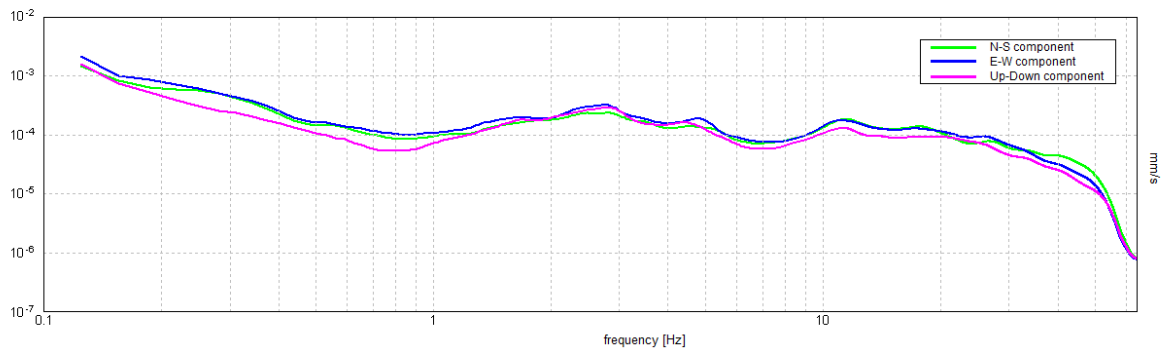
ZGN_149



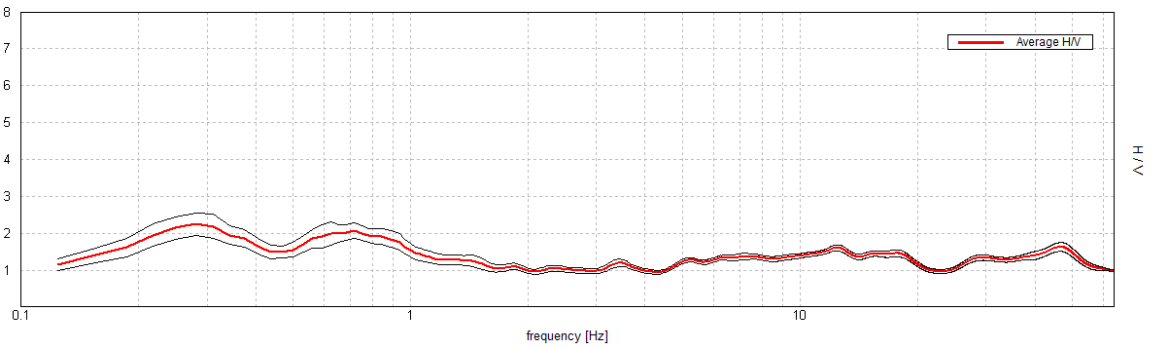
Max. H/V at 0.63 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



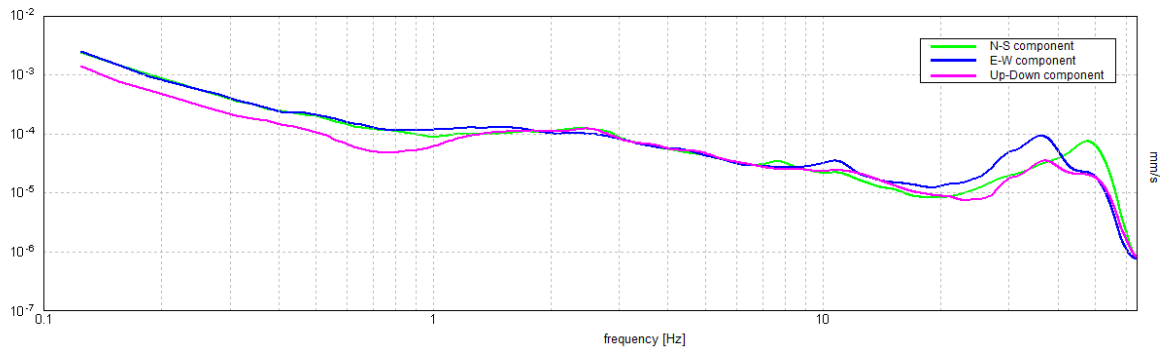
ZGN_150



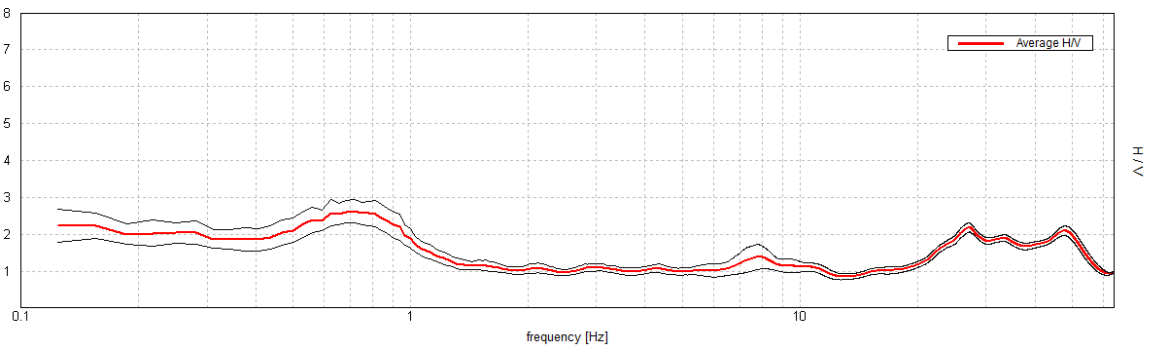
Max. H/V at 0.28 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



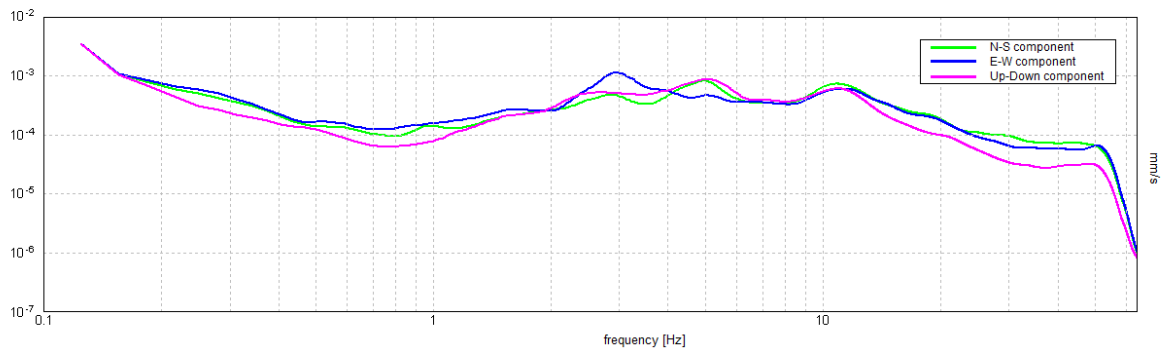
ZGN_151



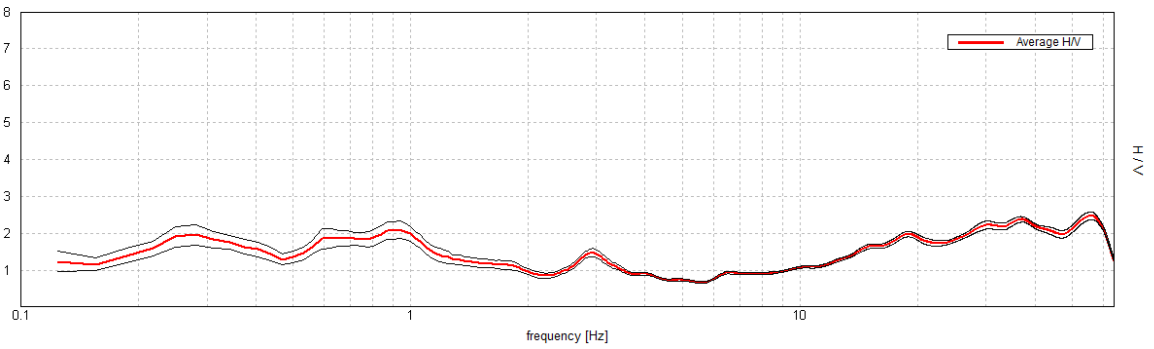
Max. H/V at 0.72 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



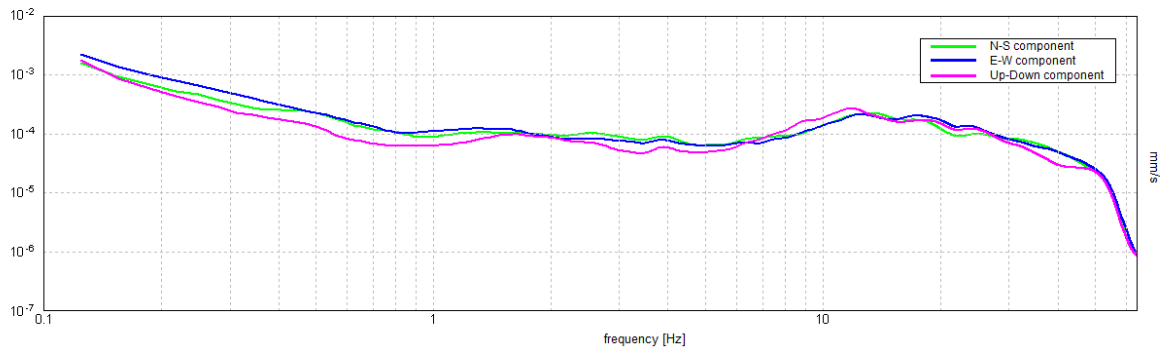
ZGN_152



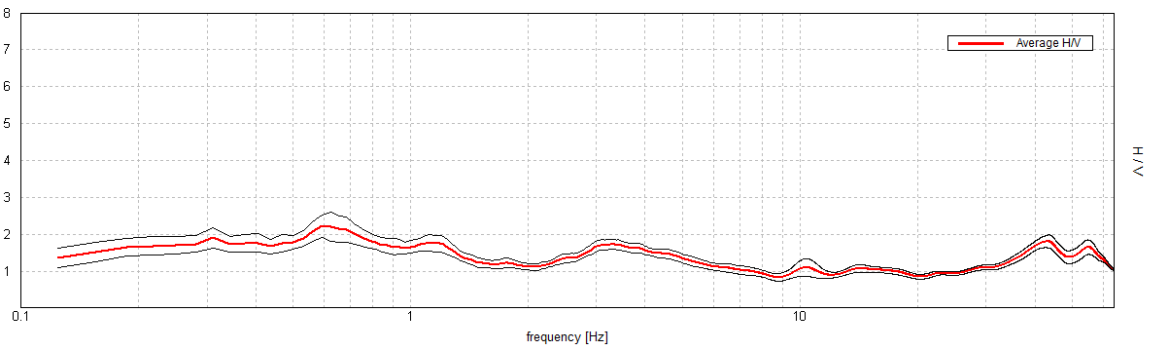
Max. H/V at 55.91 ± 21.6 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



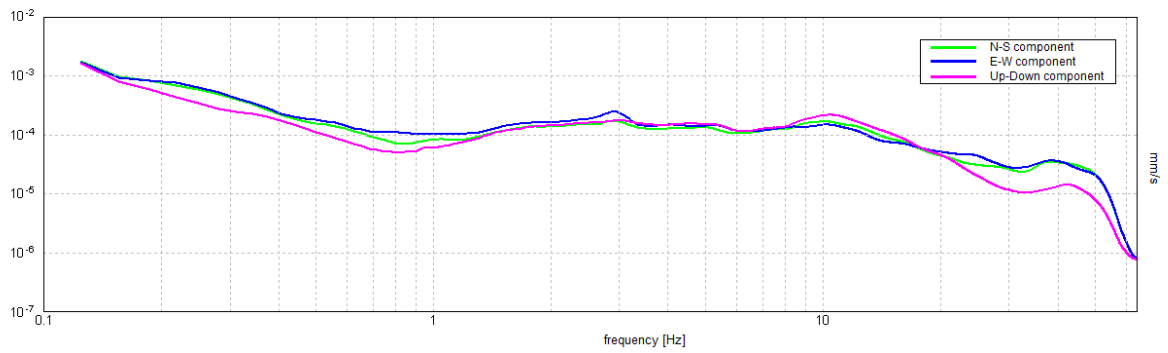
ZGN_153



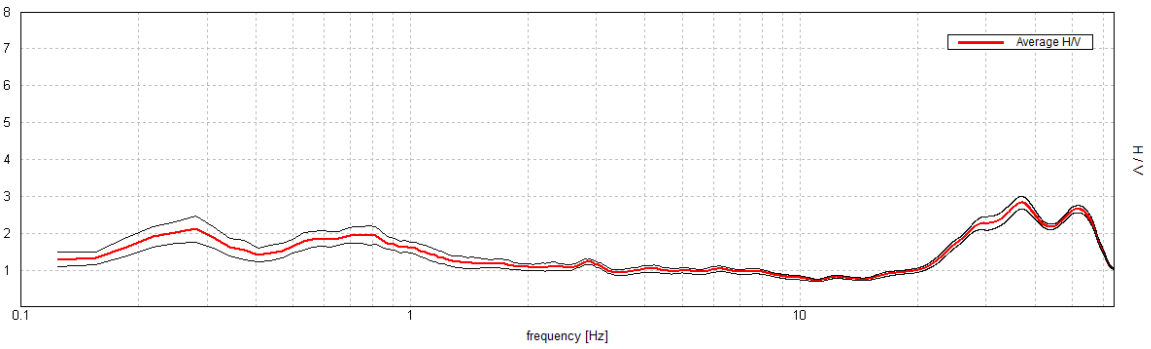
Max. H/V at 0.59 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



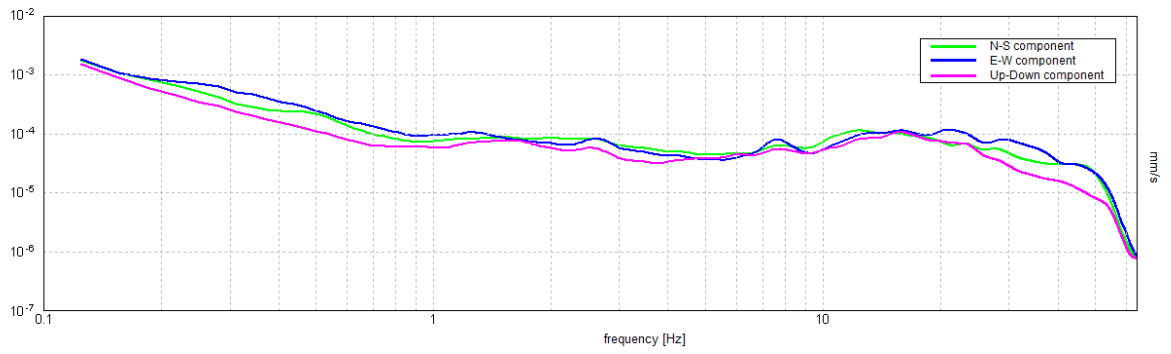
ZGN_154



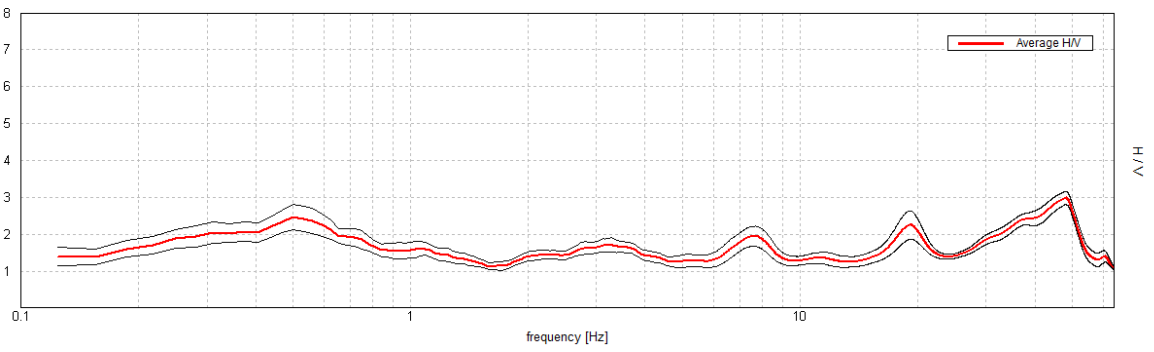
Max. H/V at 36.88 ± 2.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



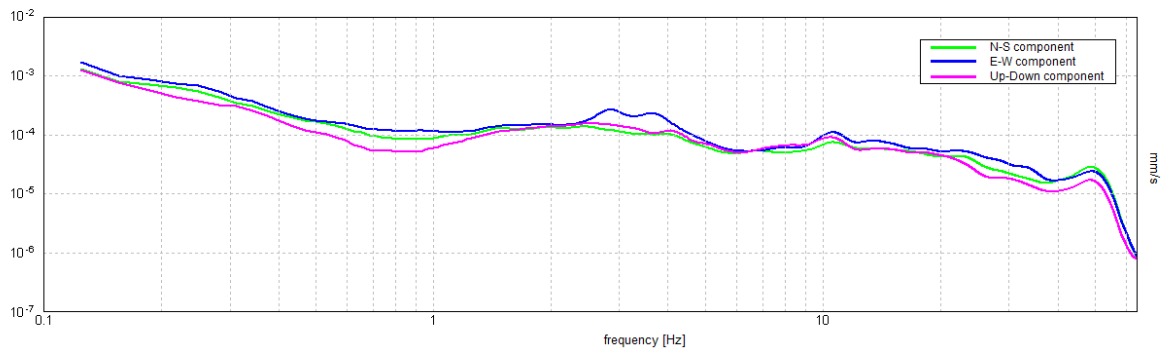
ZGN_155



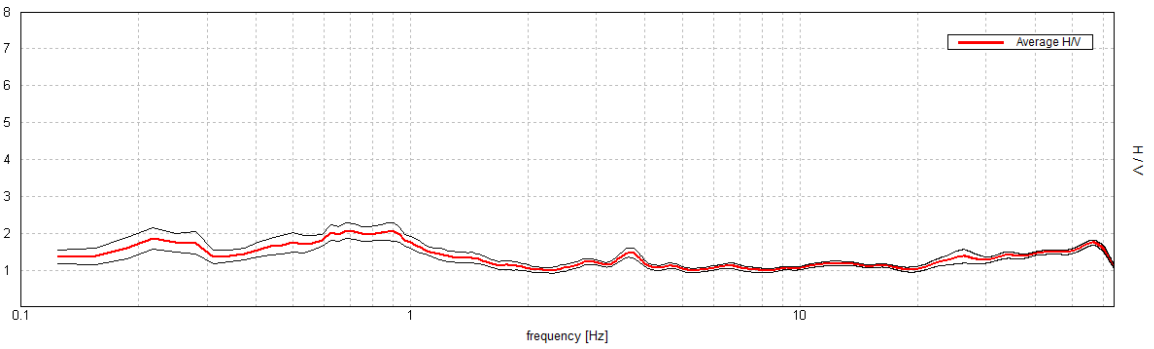
Max. H/V at 48.03 ± 15.72 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



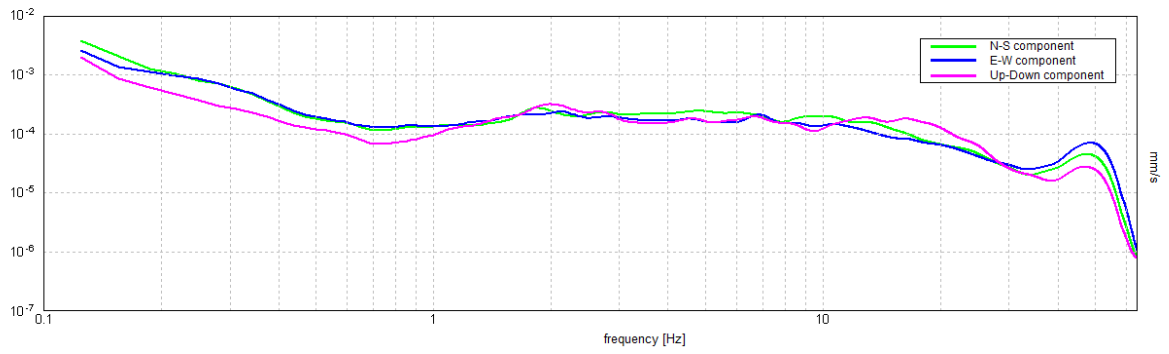
ZGN_156



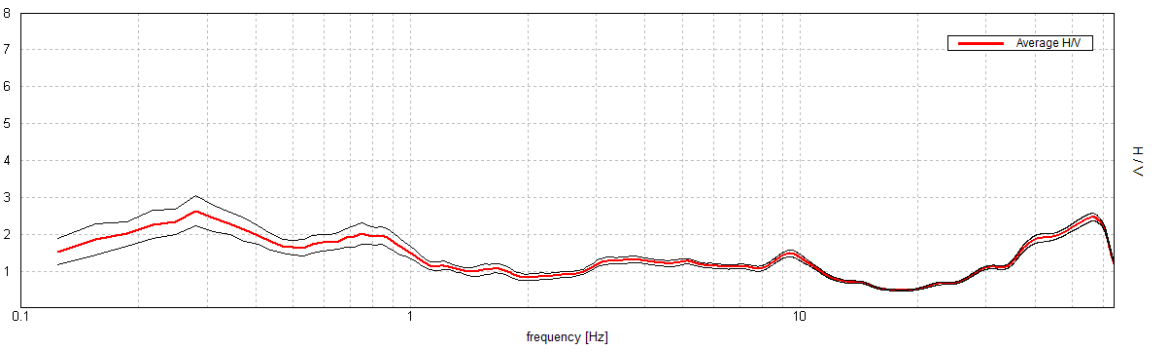
Max. H/V at 0.69 ± 0.22 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



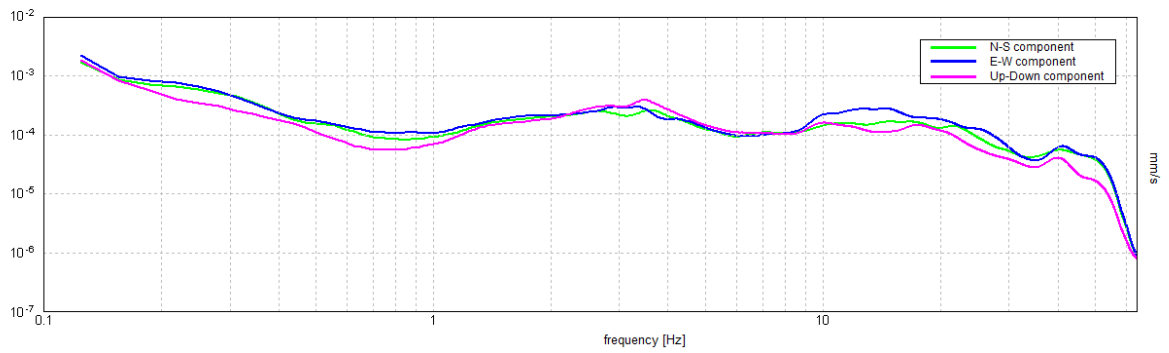
ZGN_157



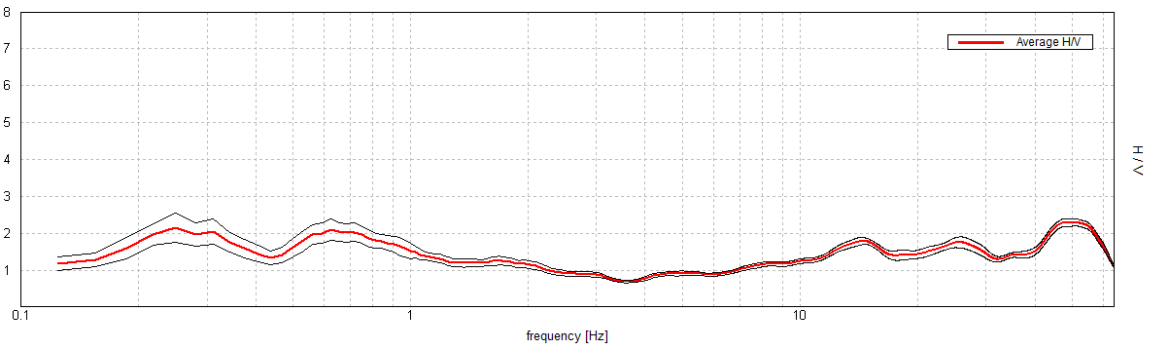
Max. H/V at 0.28 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



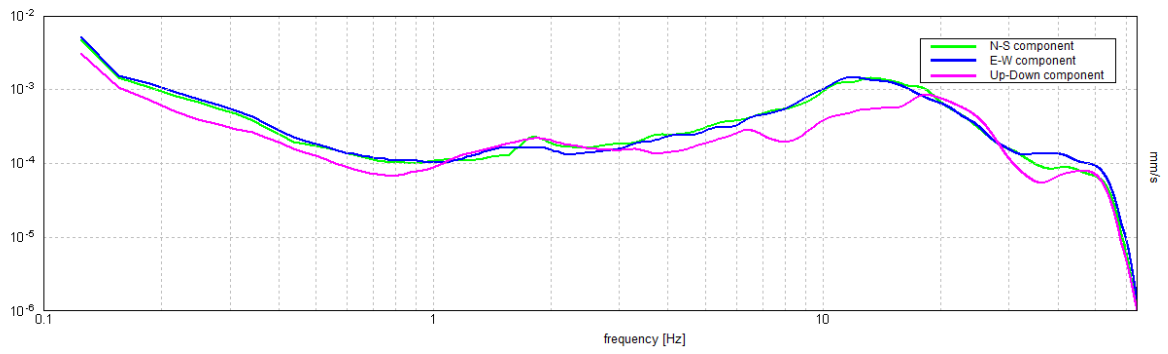
ZGN_158



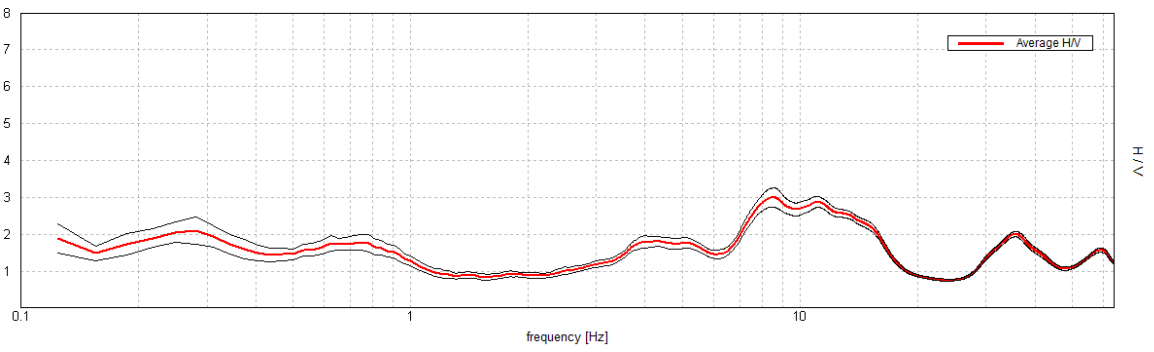
Max. H/V at 50.81 ± 29.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



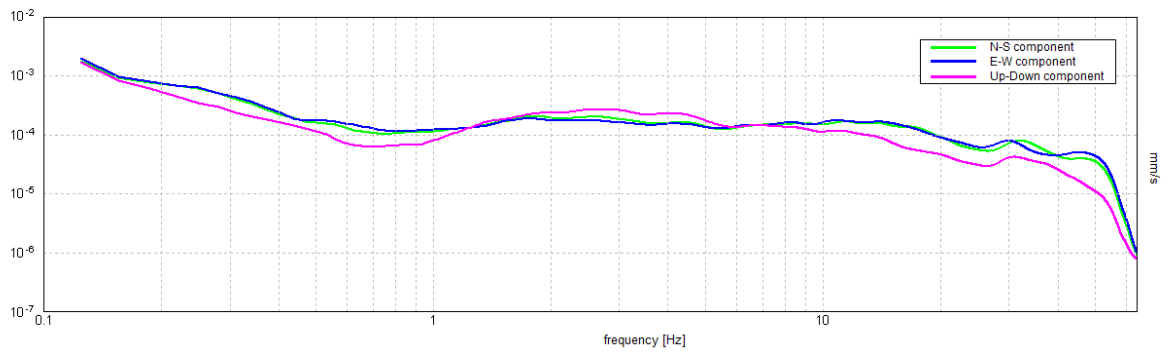
ZGN_159



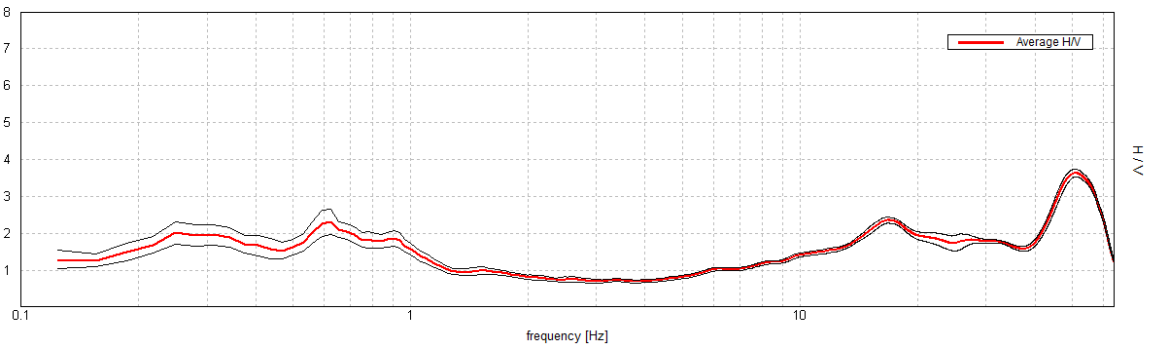
Max. H/V at 8.56 ± 2.55 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



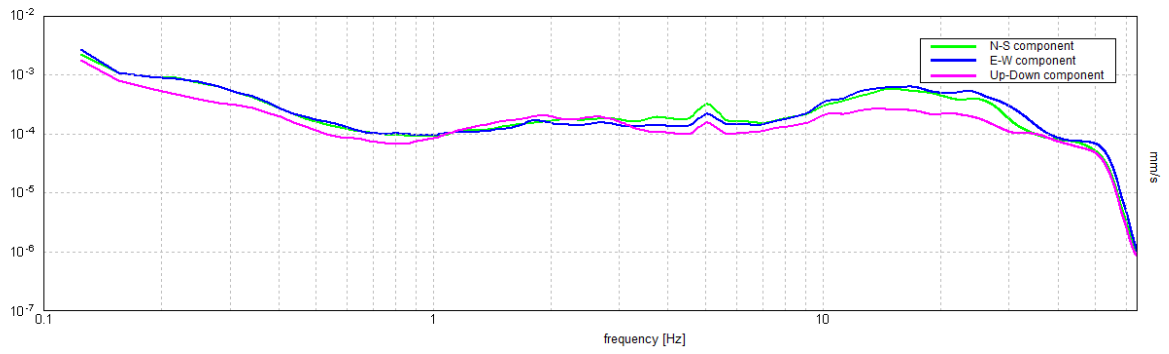
ZGN_160



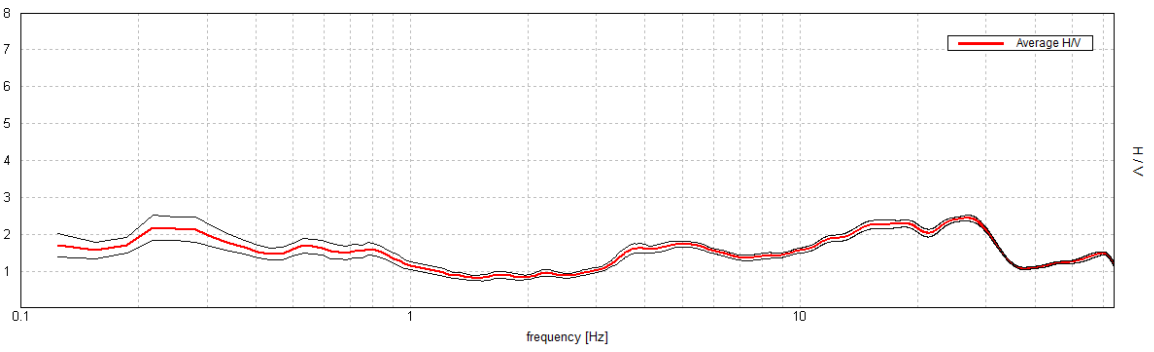
Max. H/V at 50.63 ± 12.51 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



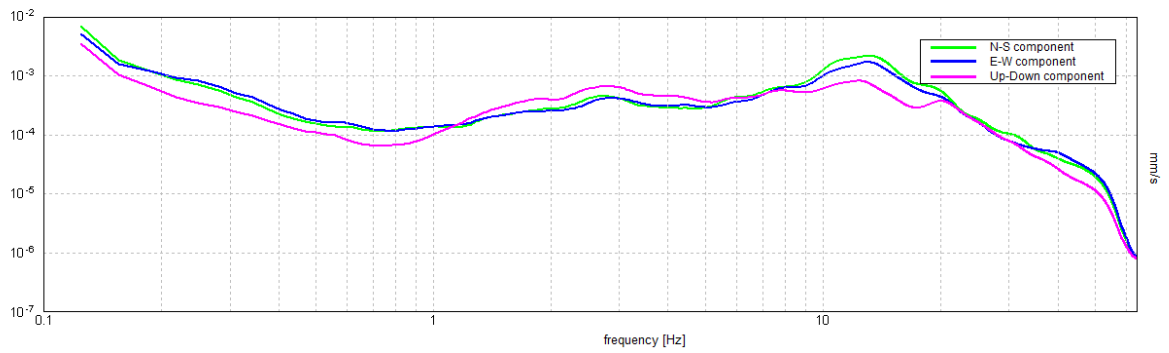
ZGN_161



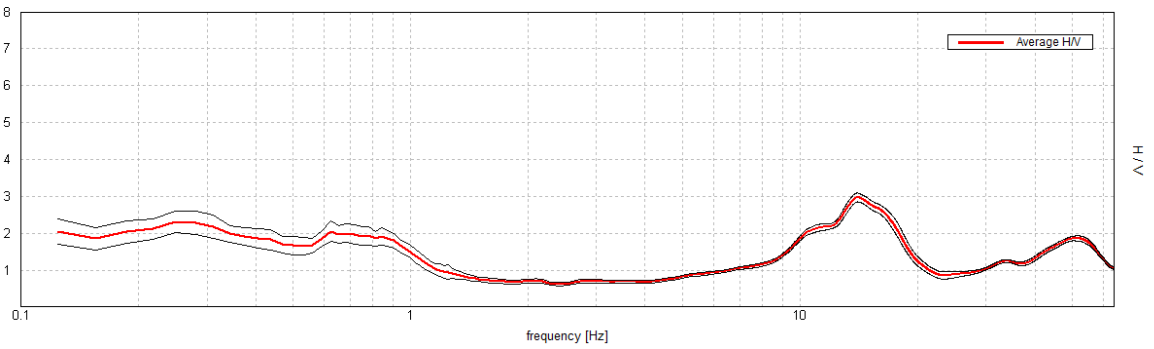
Max. H/V at 26.88 ± 13.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



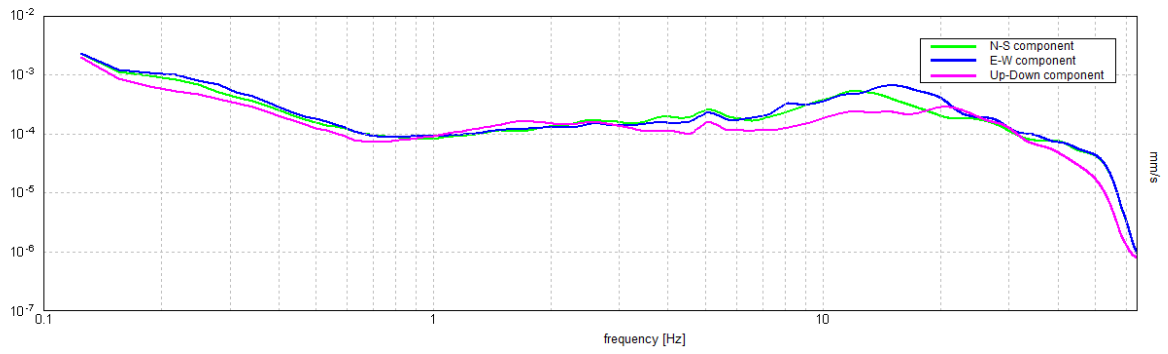
ZGN_162



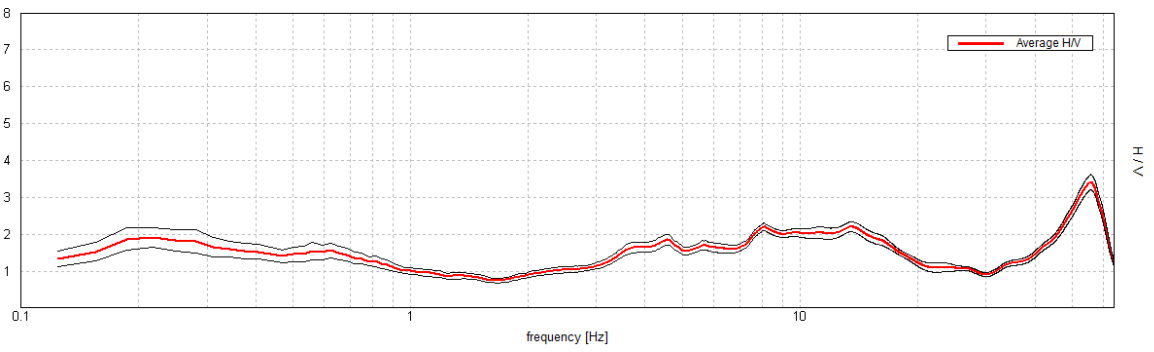
Max. H/V at 14.06 ± 4.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



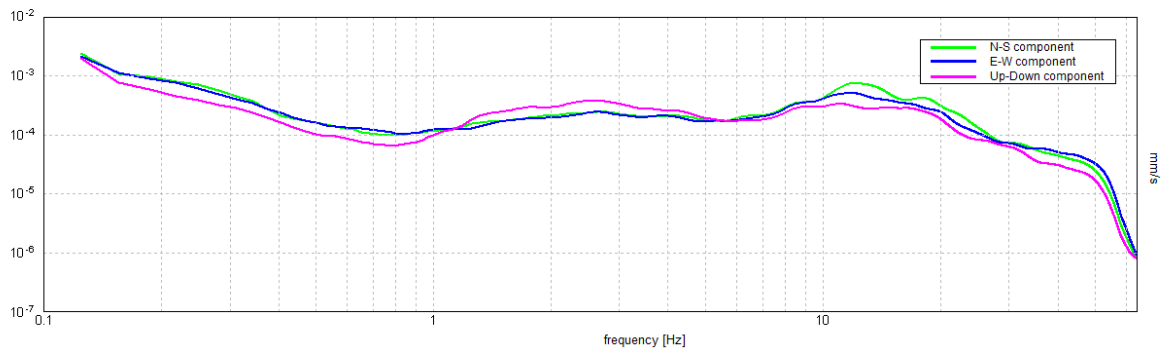
ZGN_163



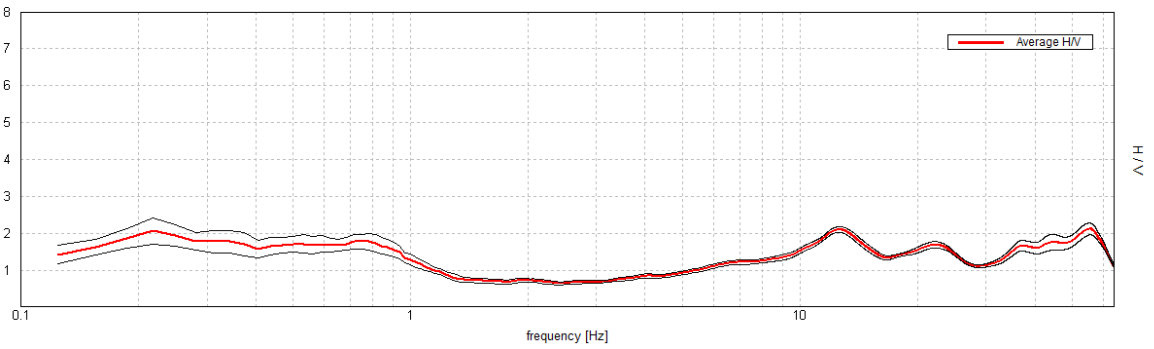
Max. H/V at 55.63 ± 0.19 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



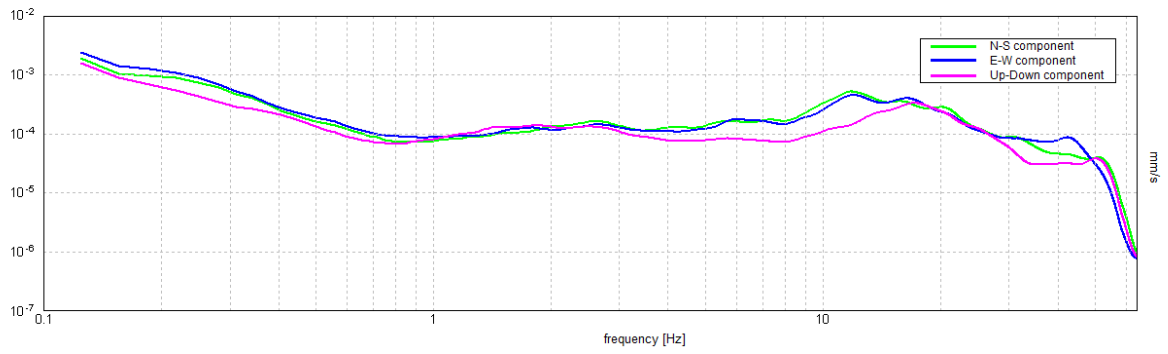
ZGN_164



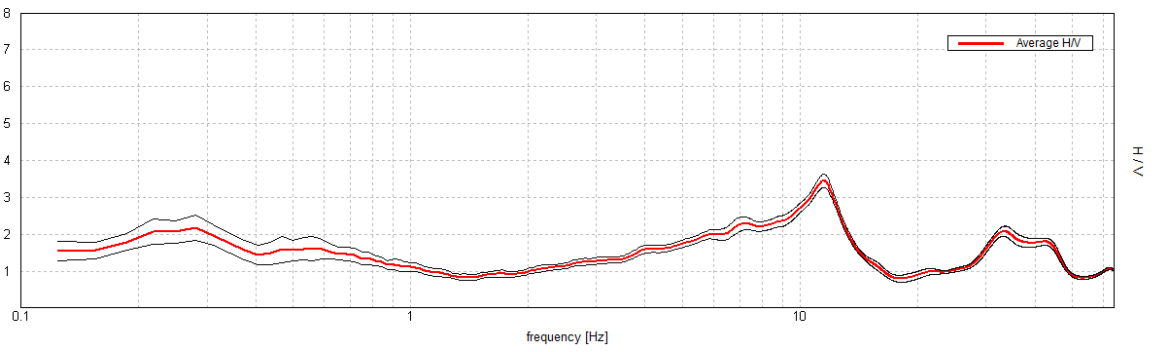
Max. H/V at 55.31 ± 47.77 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



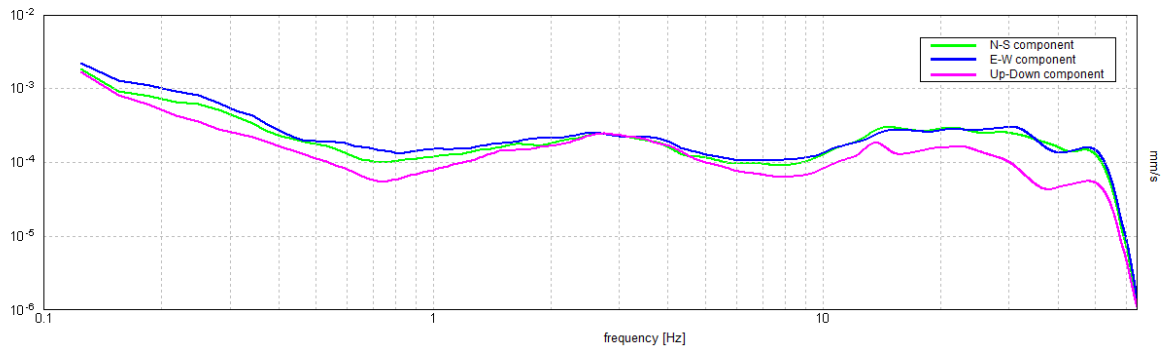
ZGN_165



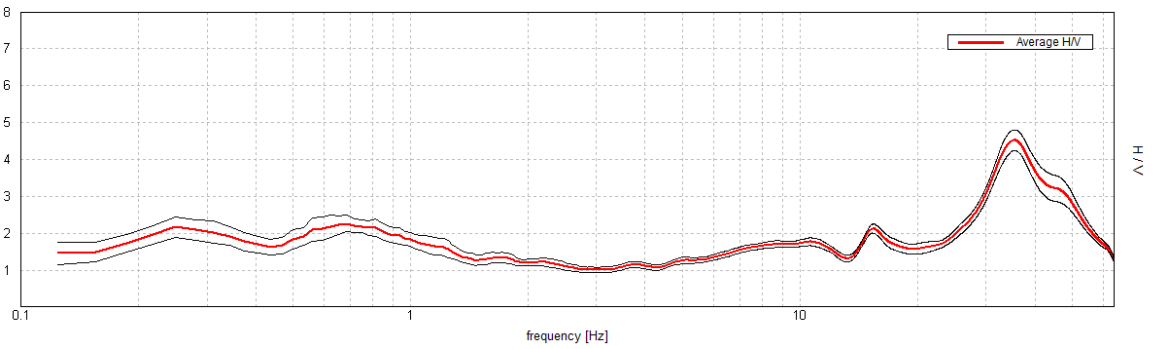
Max. H/V at 11.5 ± 2.95 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



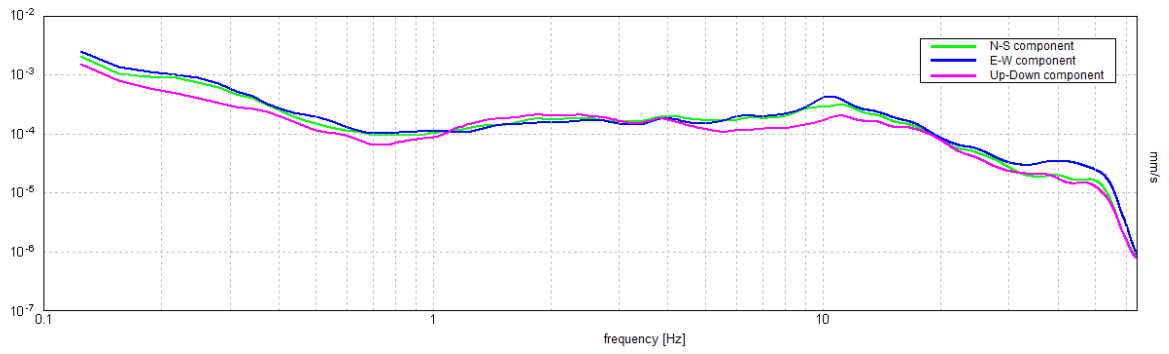
ZGN_166



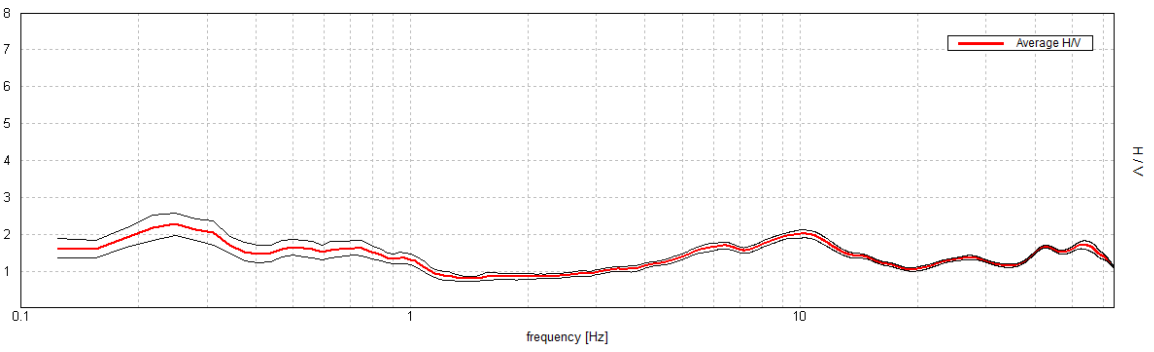
Max. H/V at 35.5 ± 4.92 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



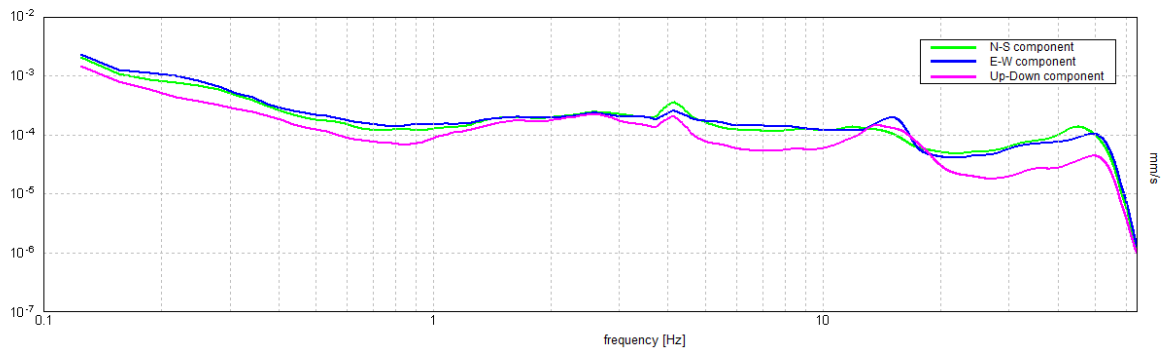
ZGN_167



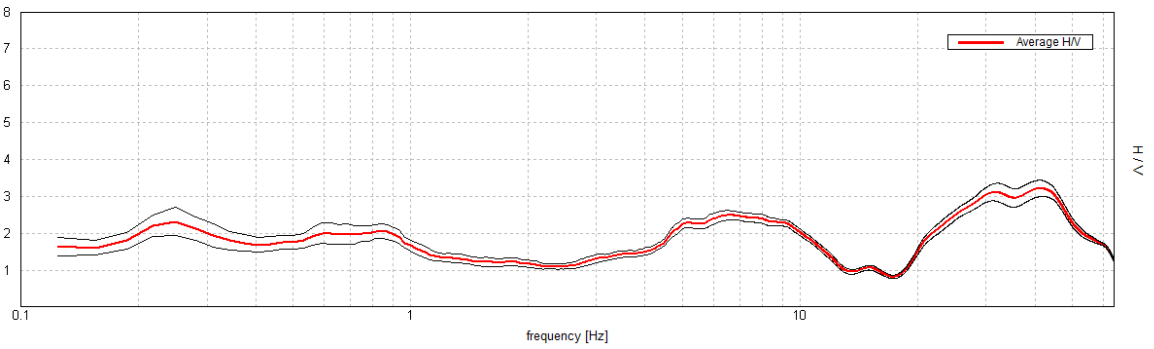
Max. H/V at 0.25 ± 7.23 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



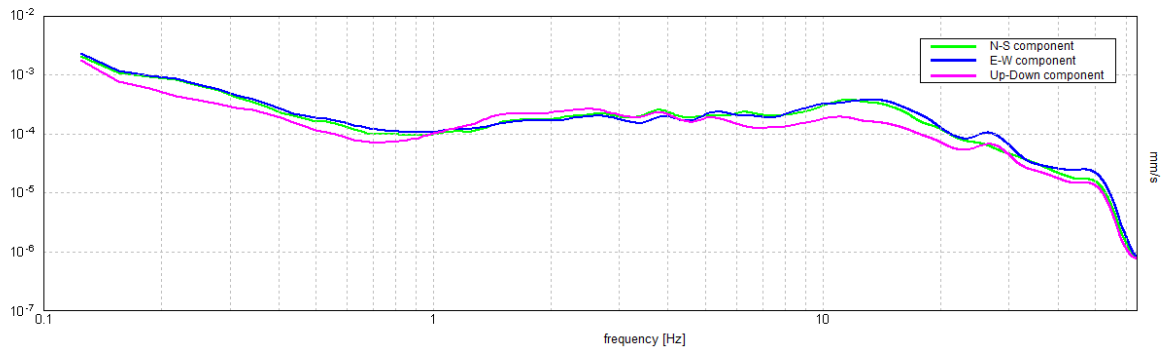
ZGN_168



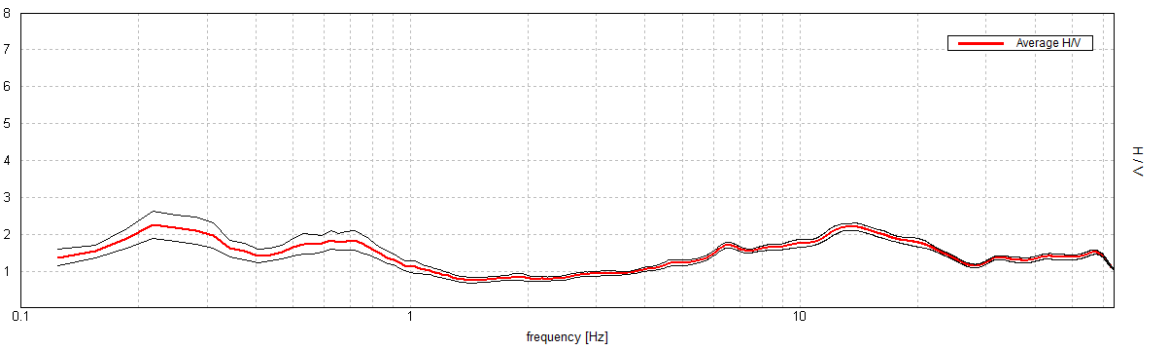
Max. H/V at 41.5 ± 16.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



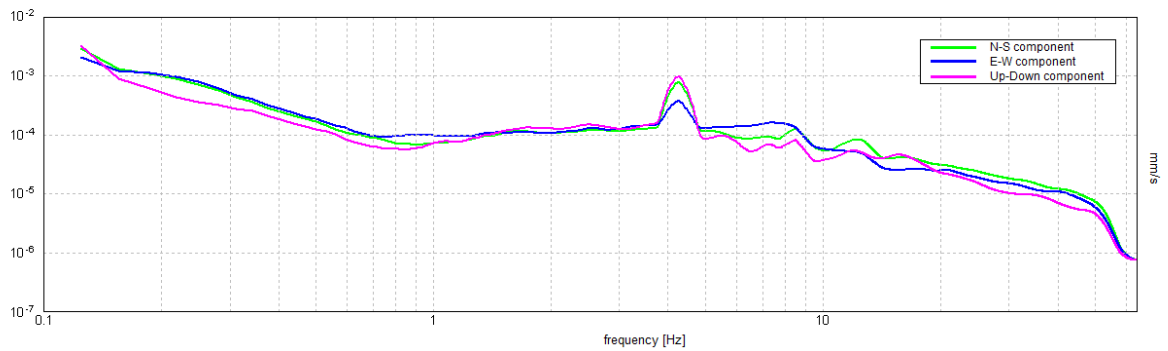
ZGN_169



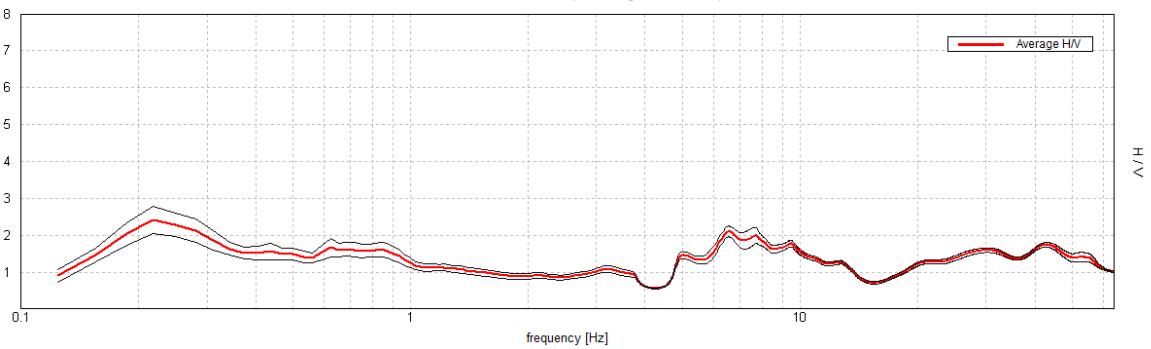
Max. H/V at 0.22 ± 3.83 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



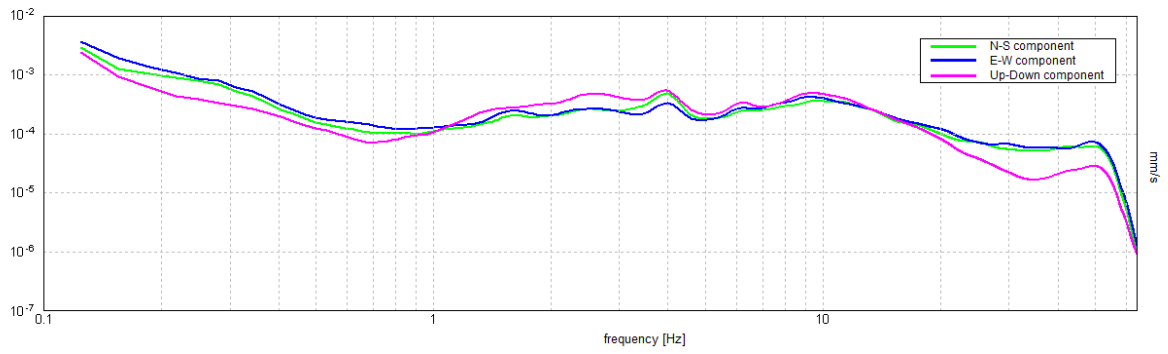
ZGN_170



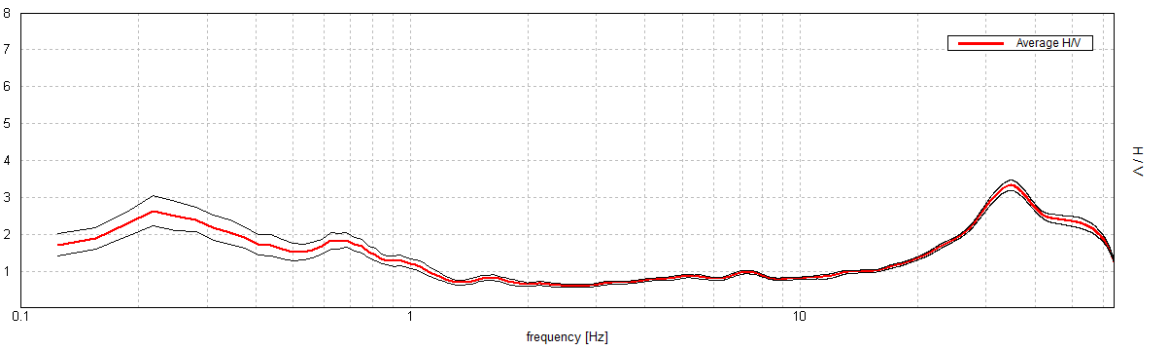
Max. H/V at 0.22 ± 1.89 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



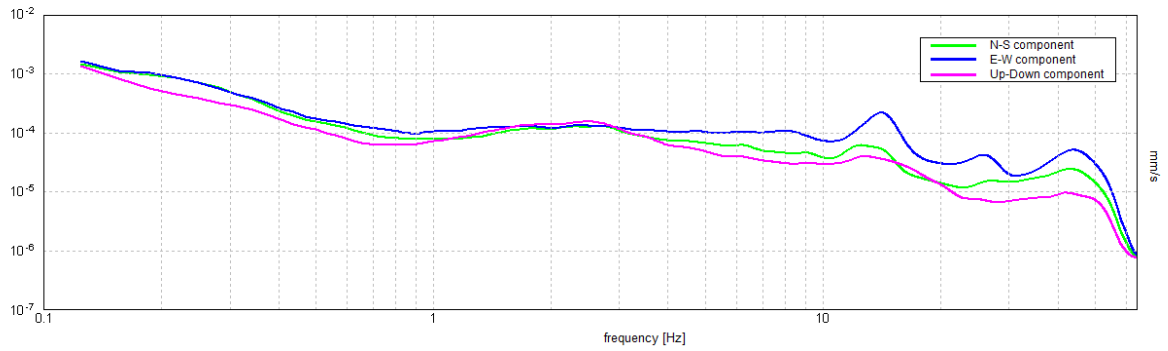
ZGN_171



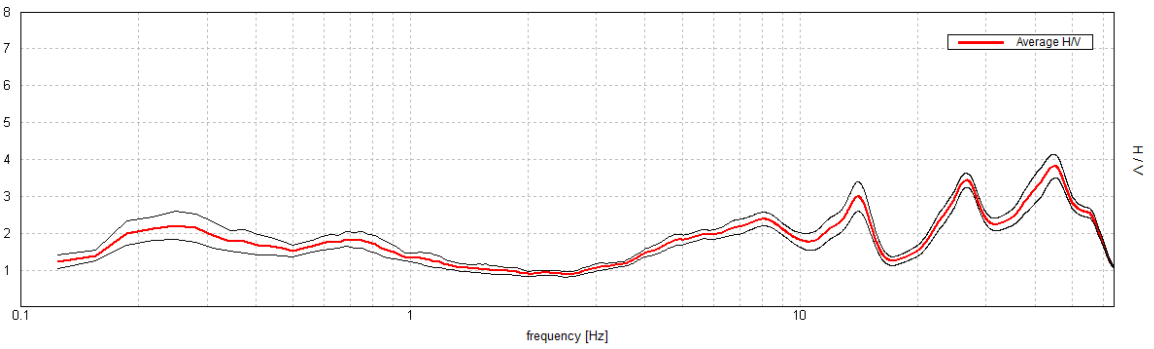
Max. H/V at 34.69 ± 9.4 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



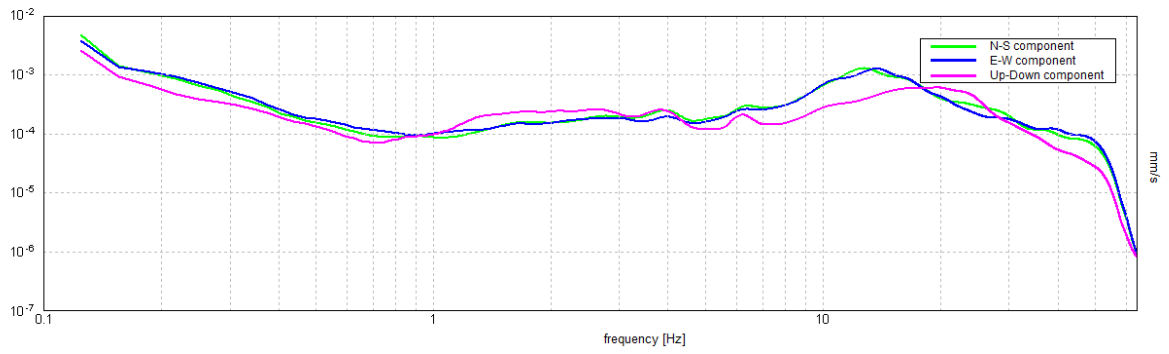
ZGN_172



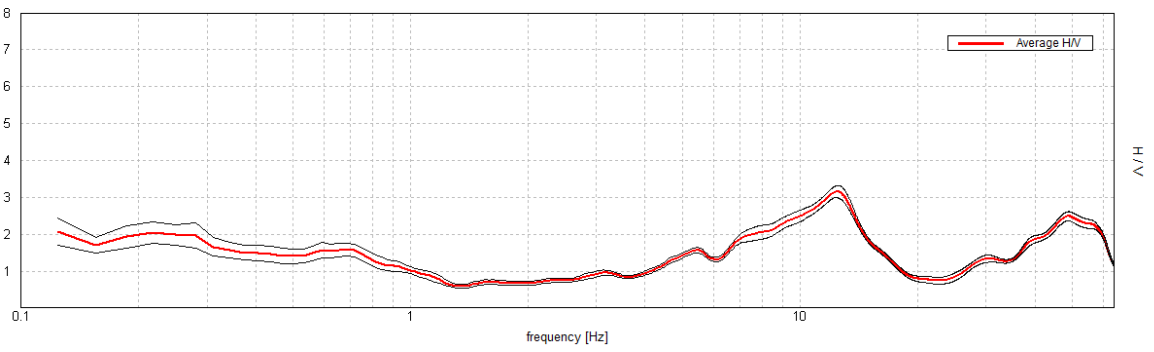
Max. H/V at 45.0 ± 2.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



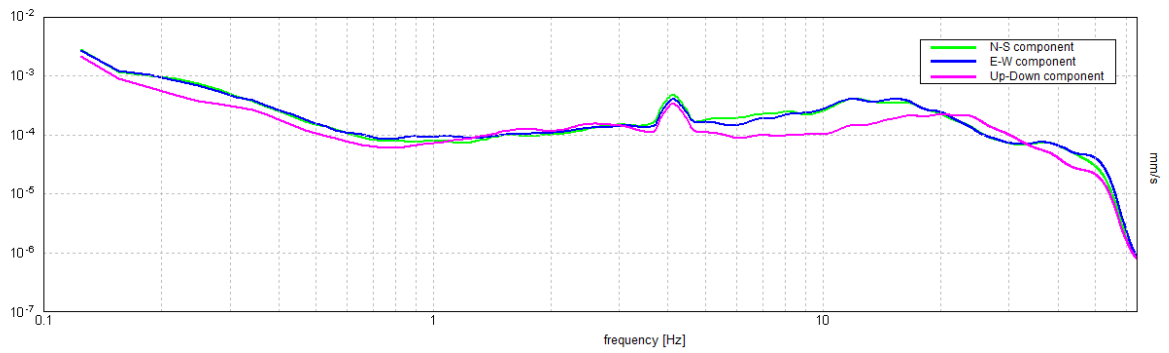
ZGN_173



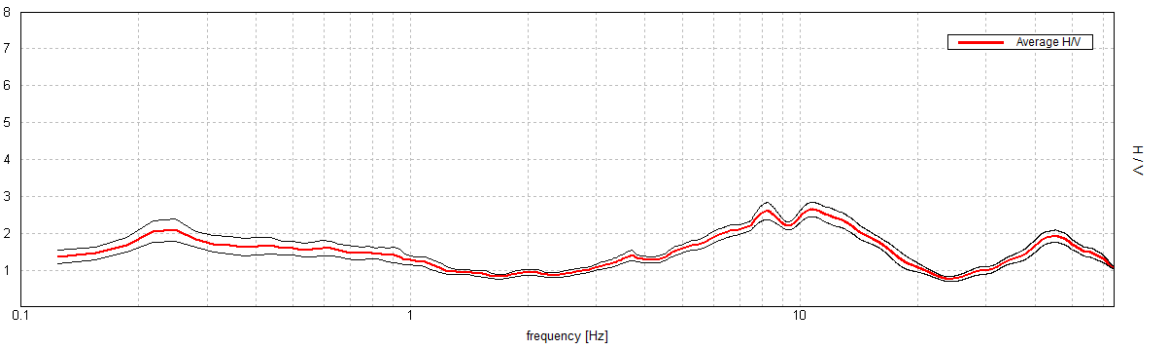
Max. H/V at 12.44 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



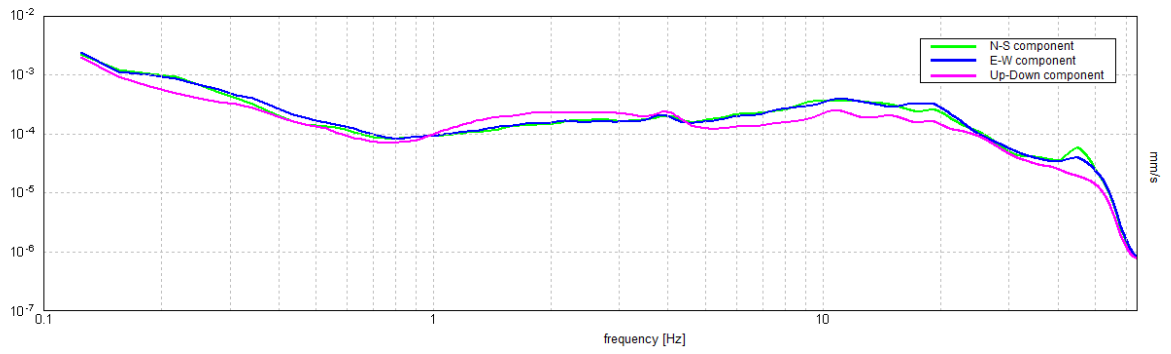
ZGN_174



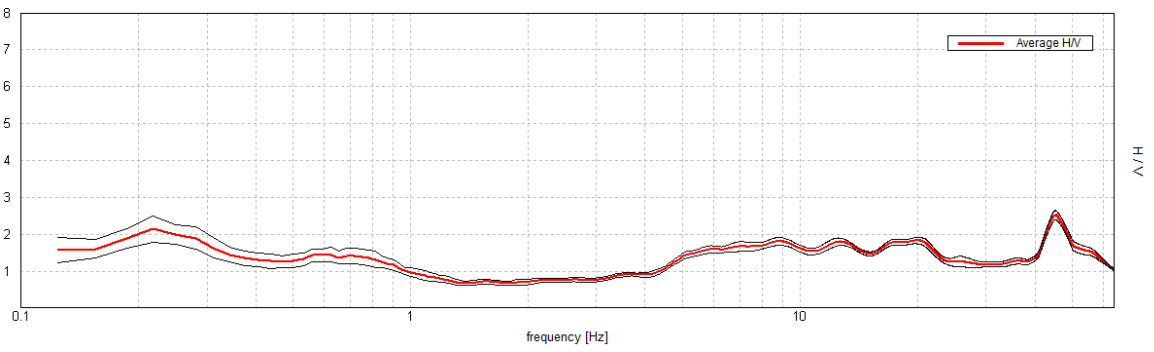
Max. H/V at 10.63 ± 1.39 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



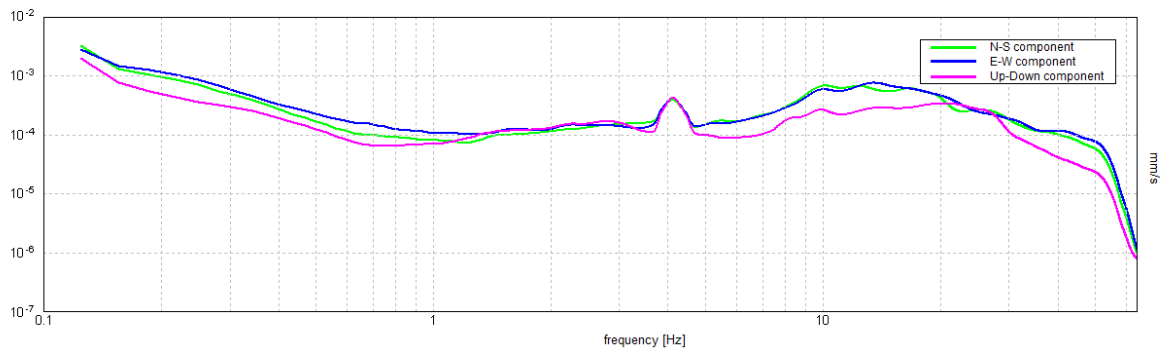
ZGN_175



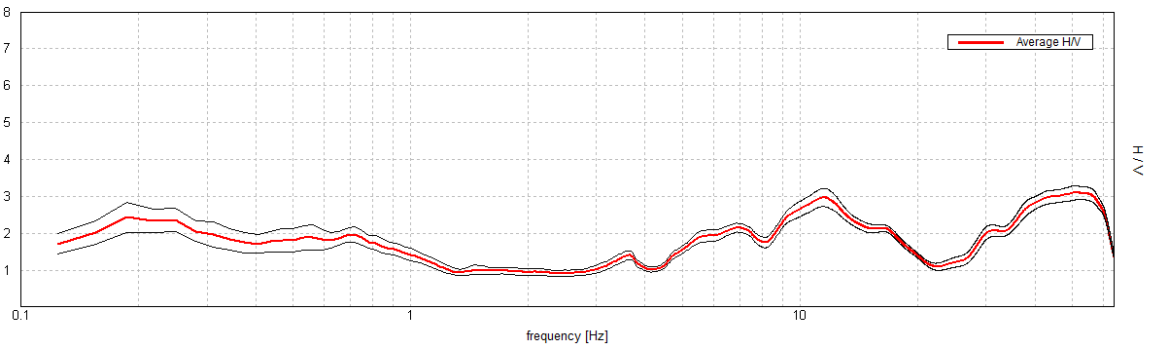
Max. H/V at 45.0 ± 5.92 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



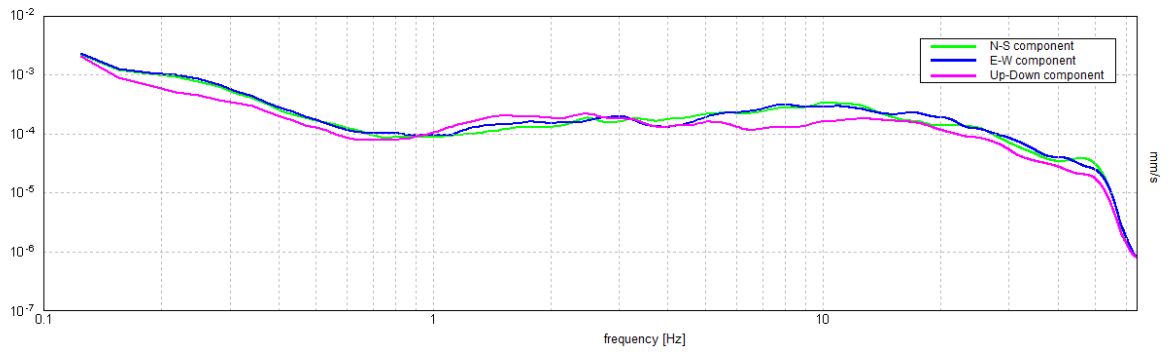
ZGN_176



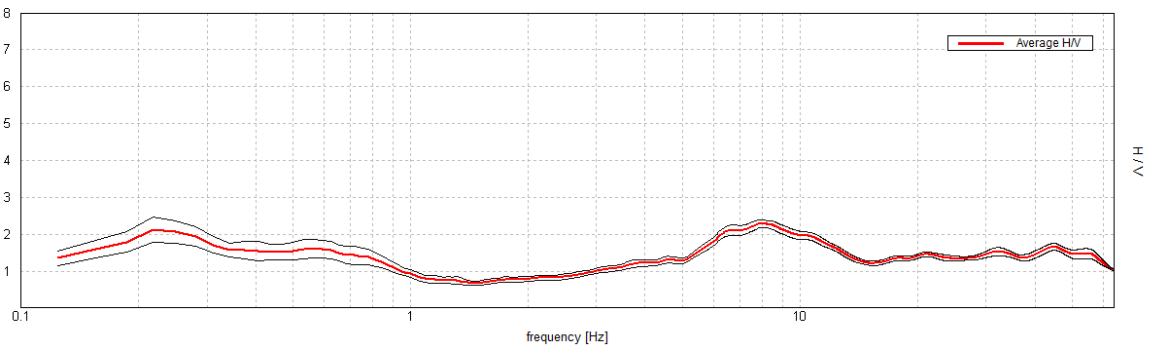
Max. H/V at 50.88 ± 31.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



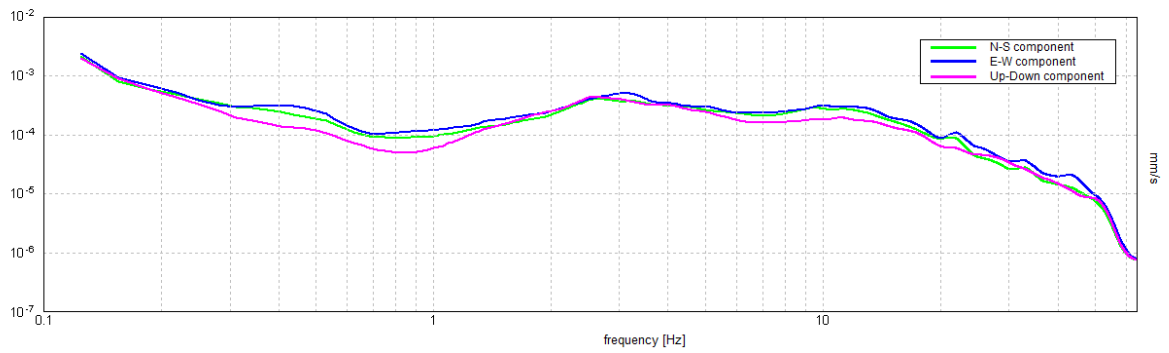
ZGN_177



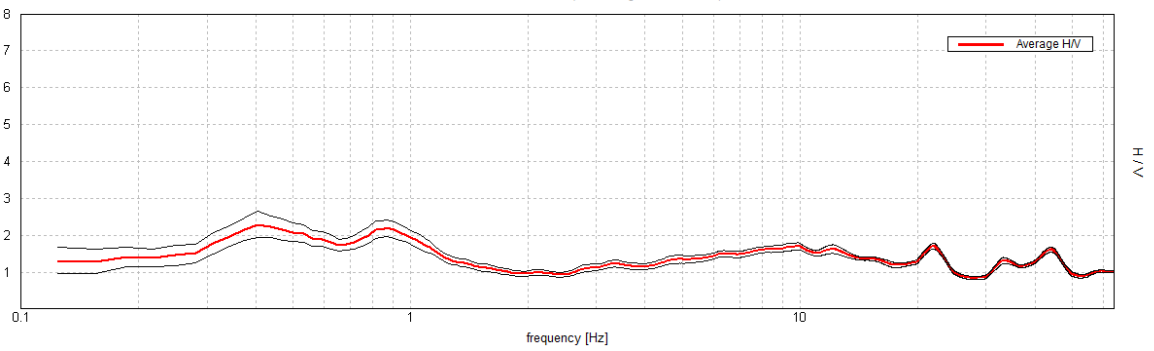
Max. H/V at 7.97 ± 1.48 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



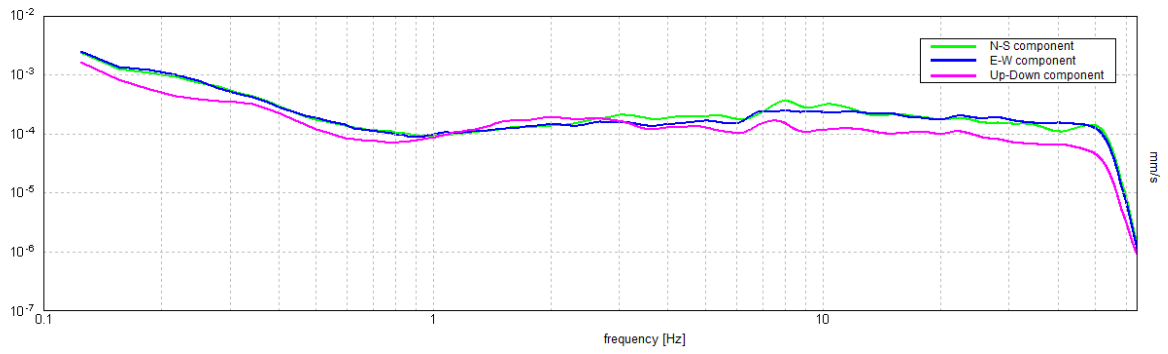
ZGN_178



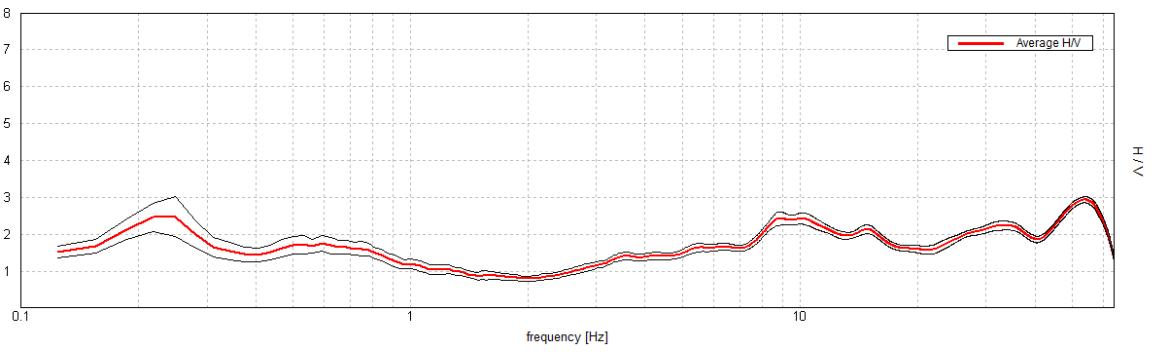
Max. H/V at 0.41 ± 0.17 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



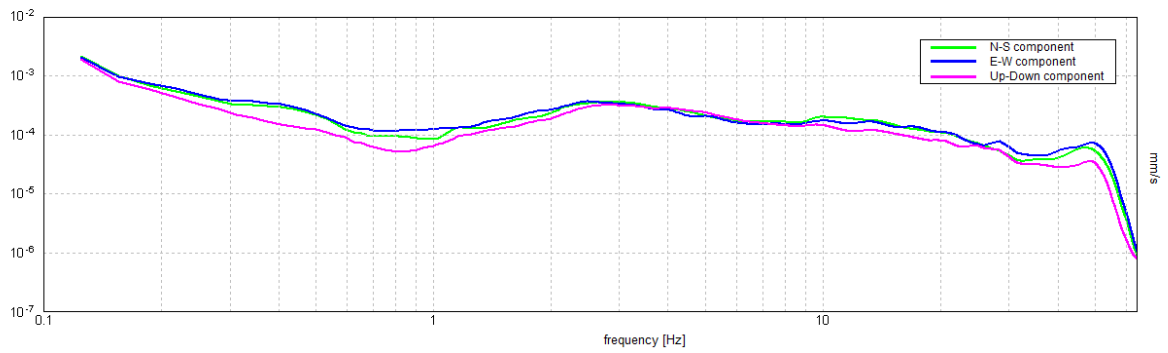
ZGN_179



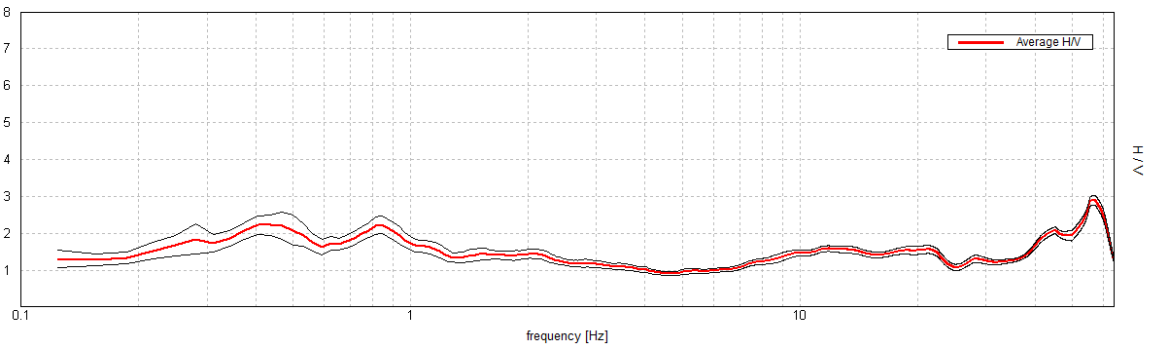
Max. H/V at 53.75 ± 9.73 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



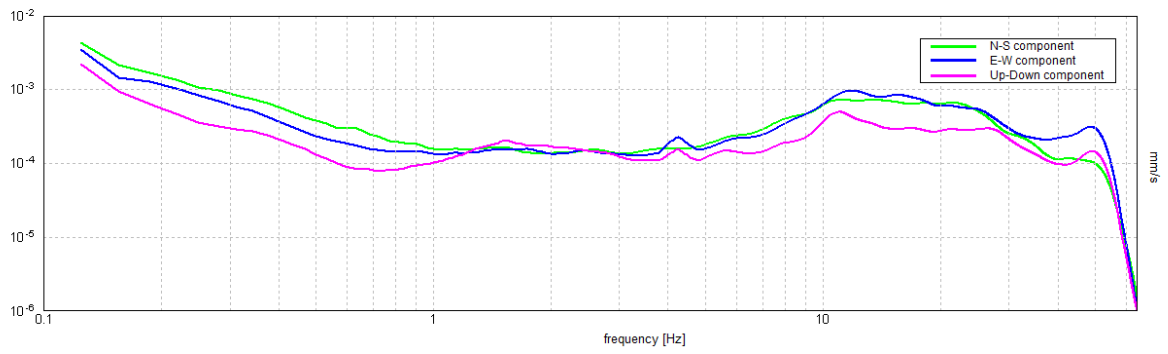
ZGN_180



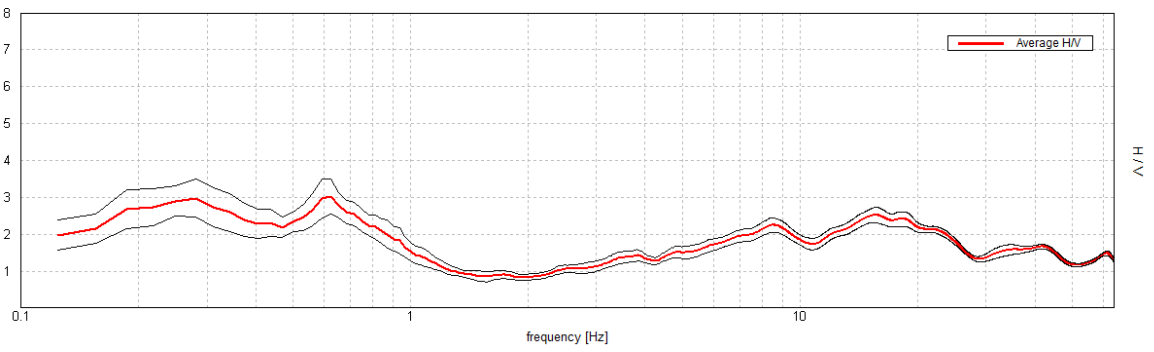
Max. H/V at 56.56 ± 16.2 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



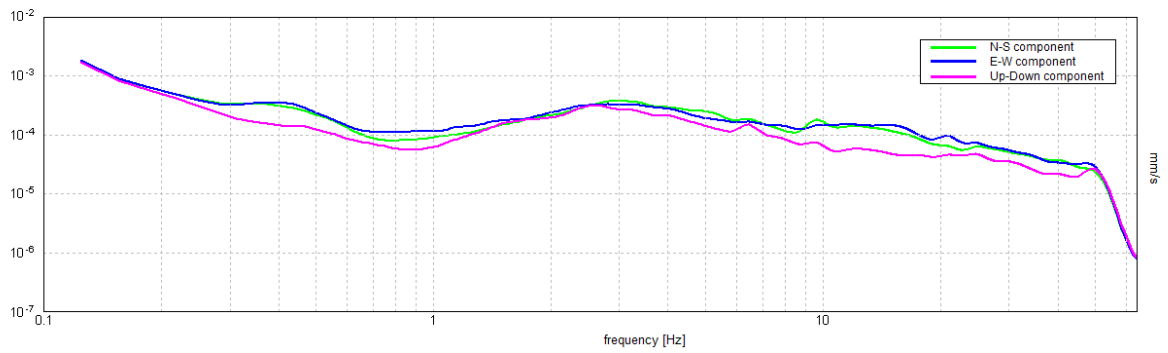
ZGN_181



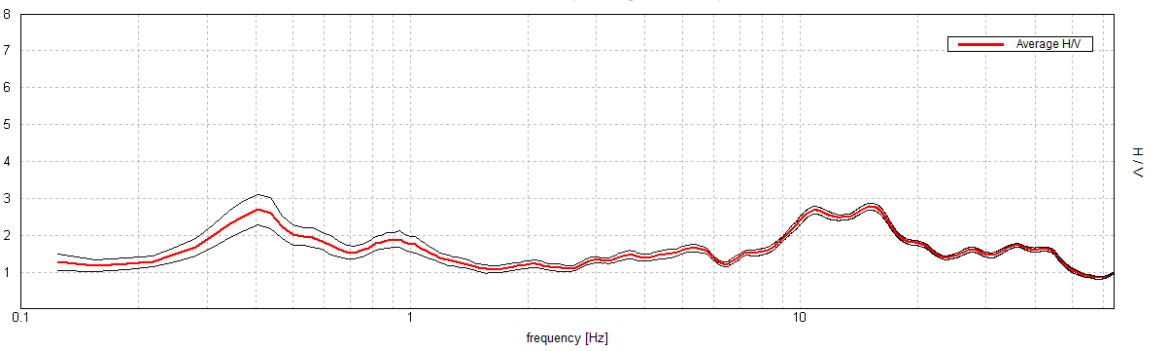
Max. H/V at 0.63 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



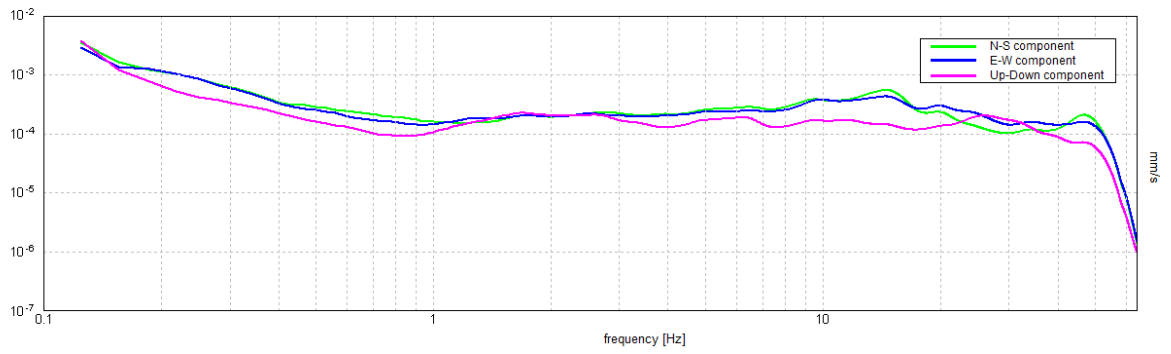
ZGN_182



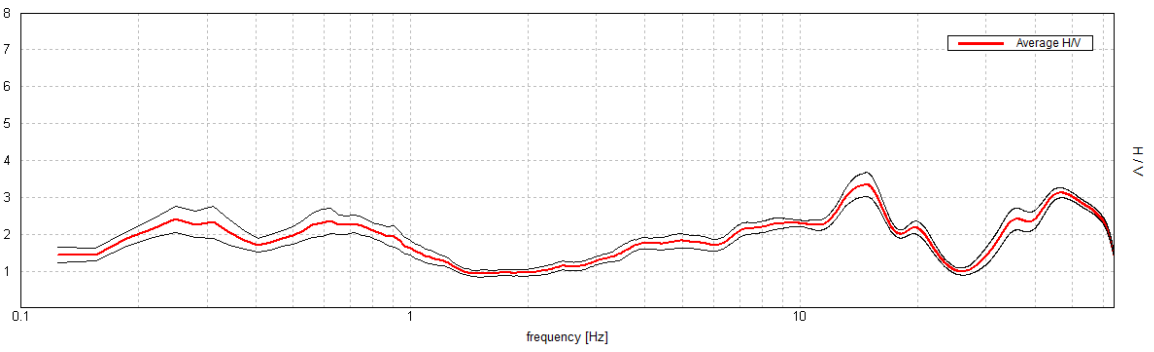
Max. H/V at 15.0 ± 8.82 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



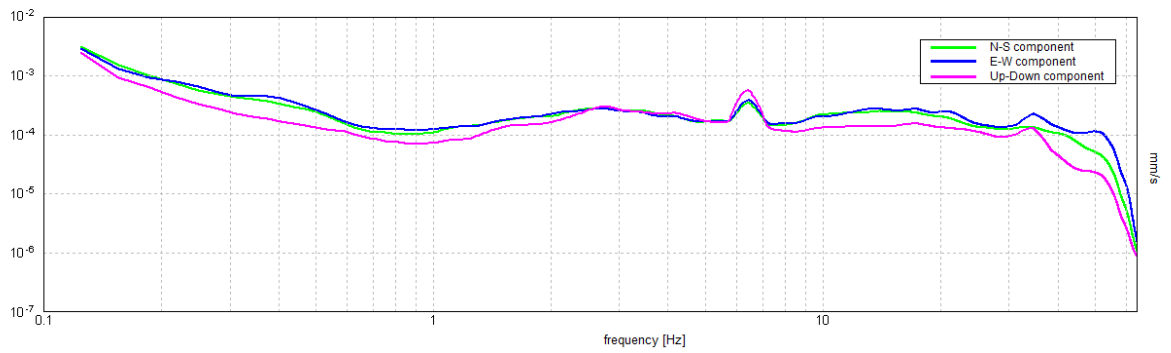
ZGN_183



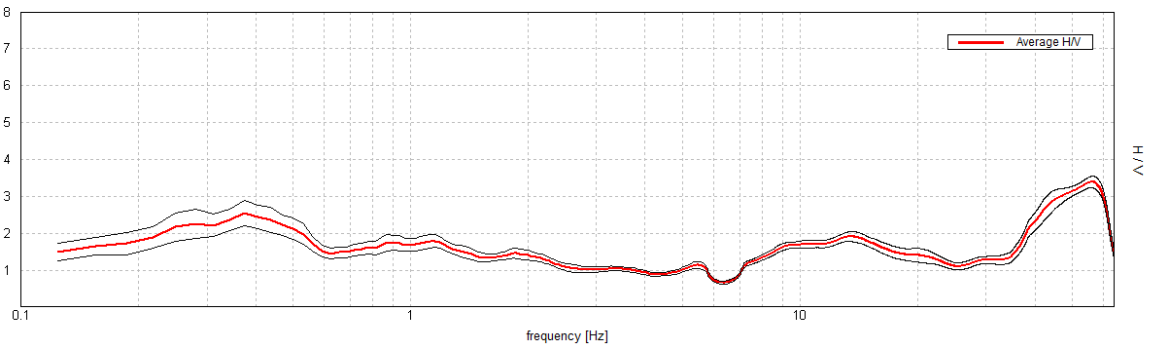
Max. H/V at 14.78 ± 9.79 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



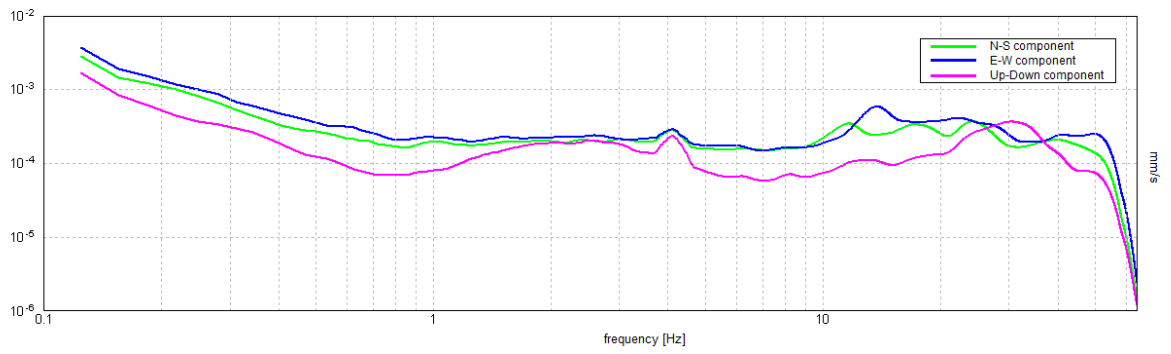
ZGN_184



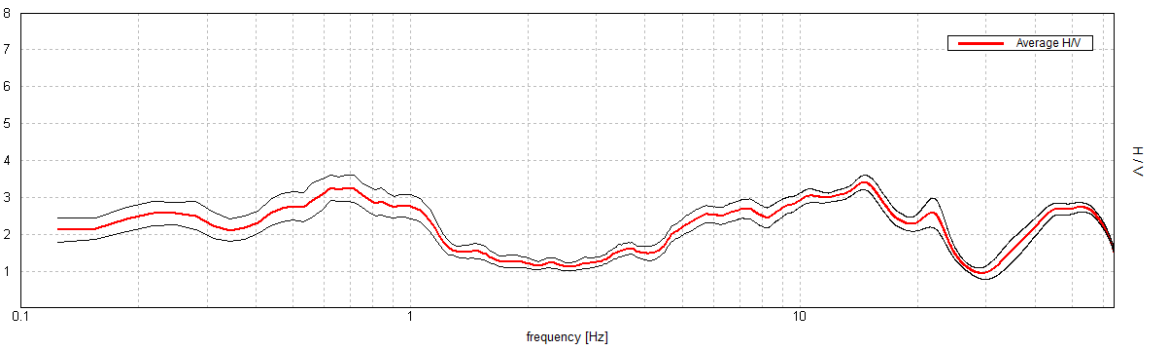
Max. H/V at 56.25 ± 15.29 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



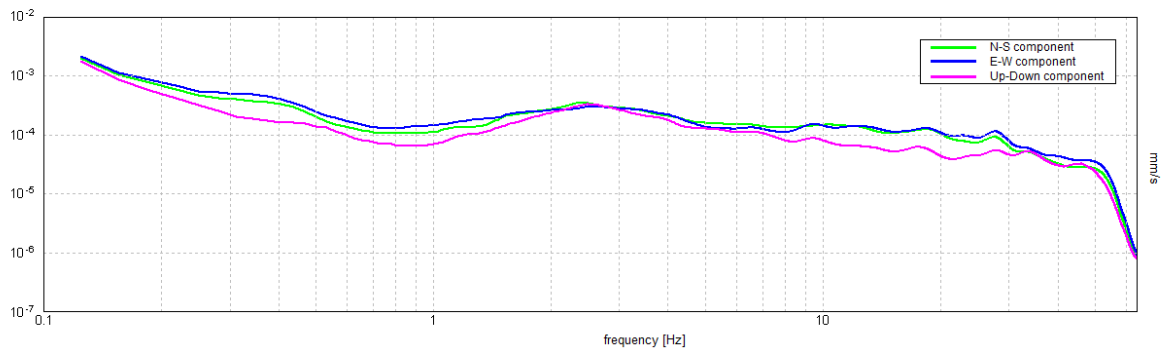
ZGN_185



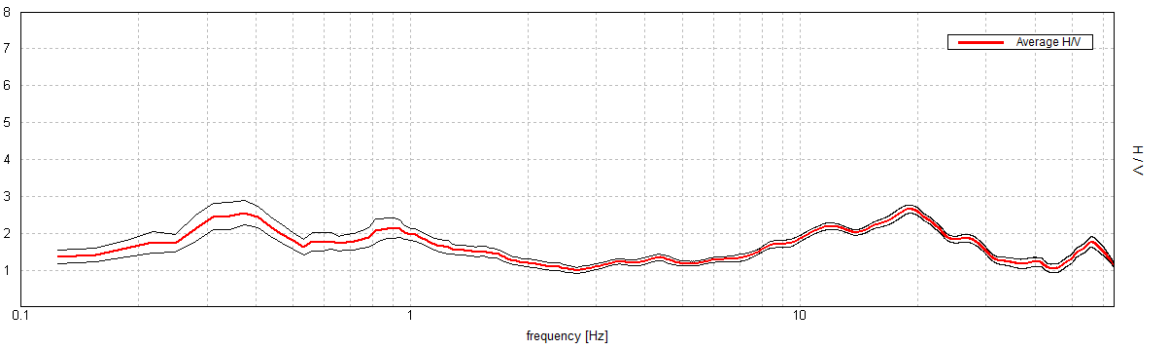
Max. H/V at 14.66 ± 13.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



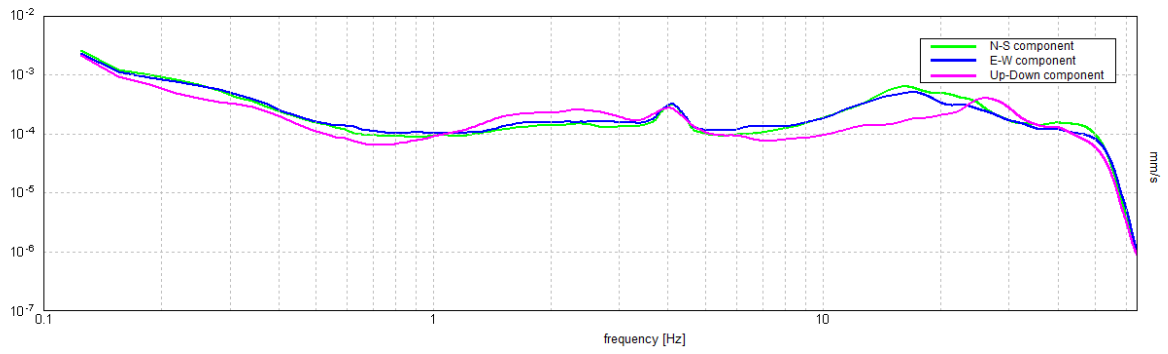
ZGN_186



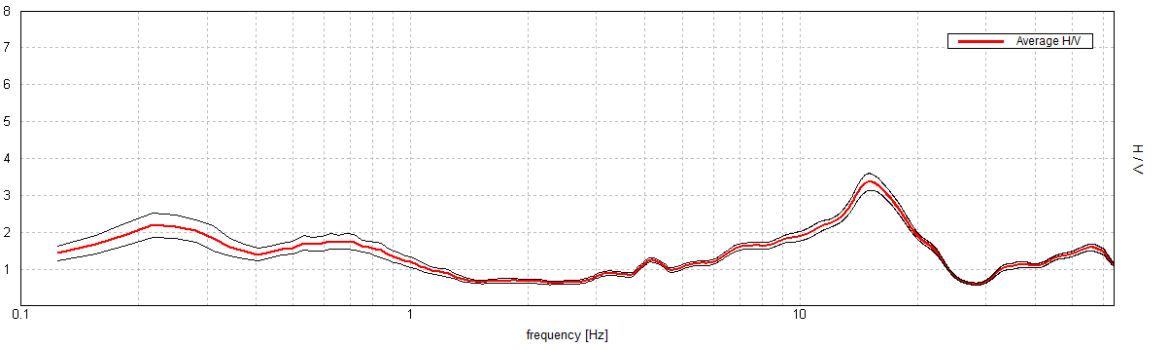
Max. H/V at 19.06 ± 5.41 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



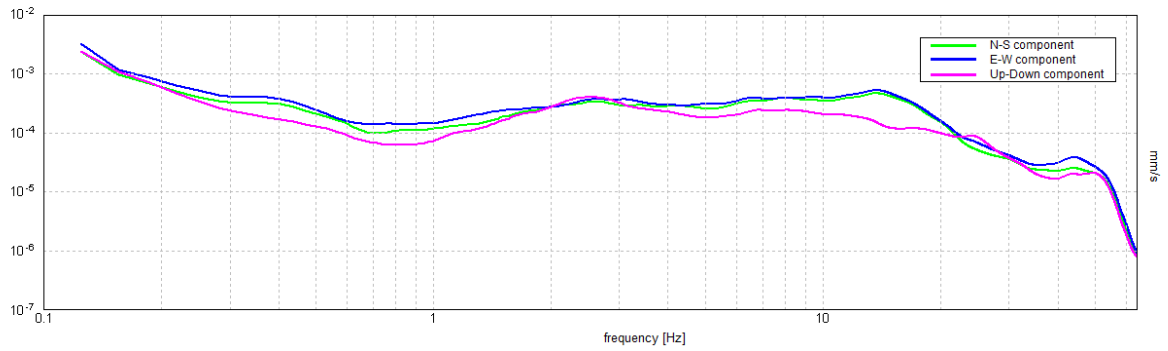
ZGN_187



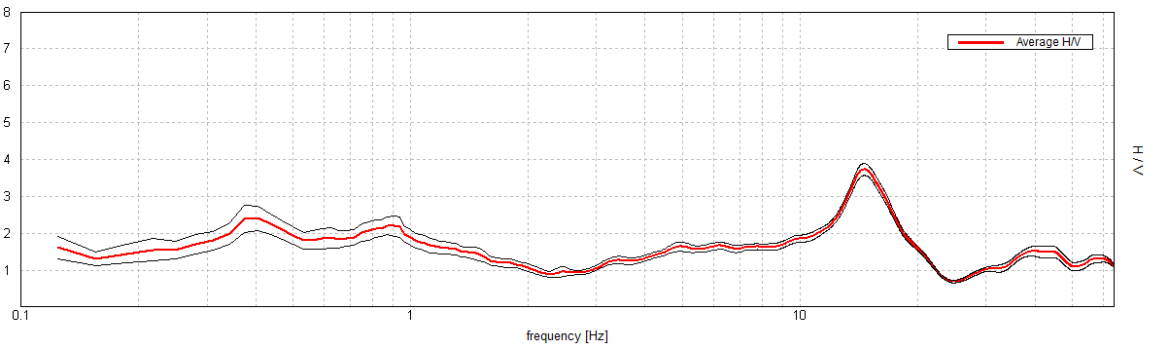
Max. H/V at 15.0 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



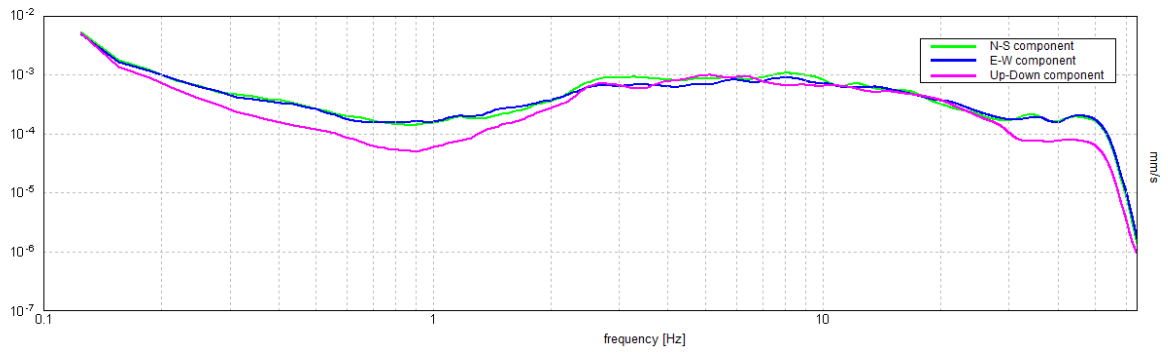
ZGN_188



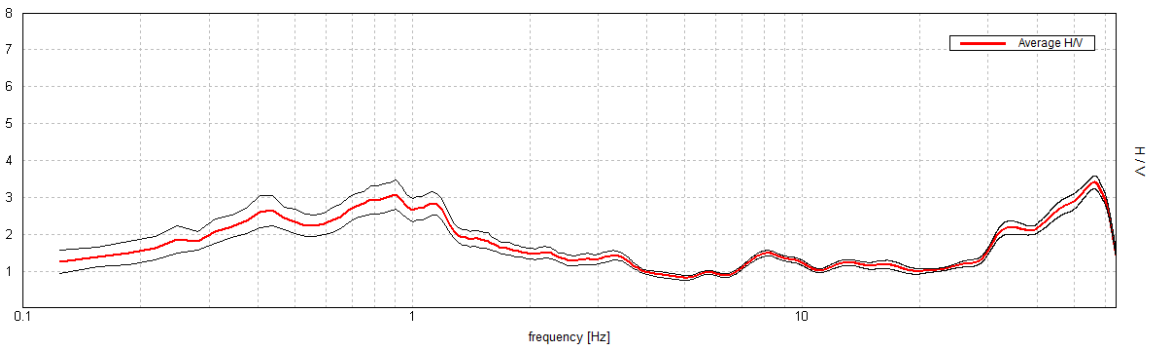
Max. H/V at 14.66 ± 2.61 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



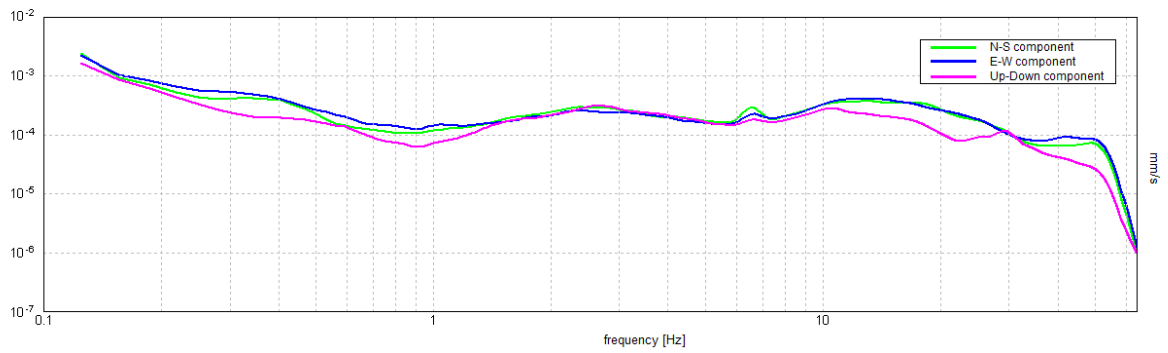
ZGN_189



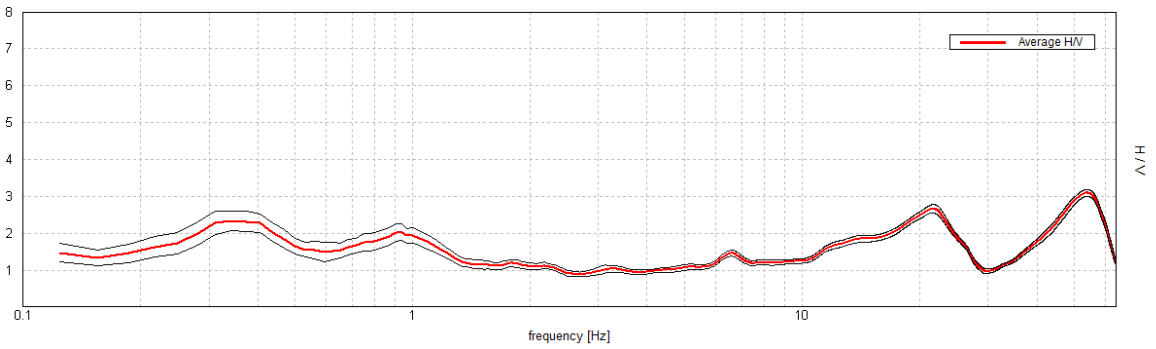
Max. H/V at 55.94 ± 0.43 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



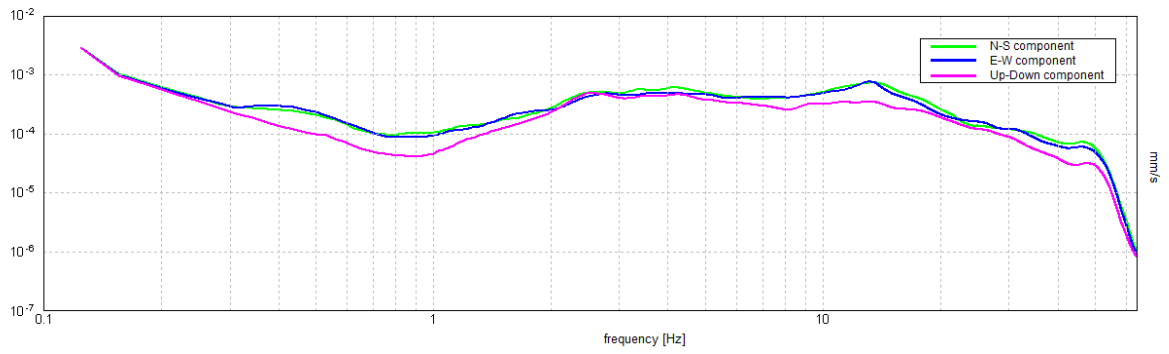
ZGN_190



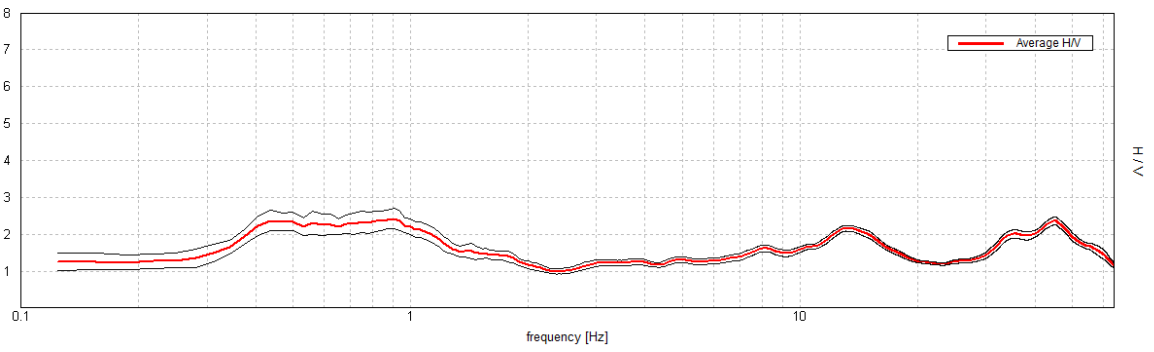
Max. H/V at 53.44 ± 12.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



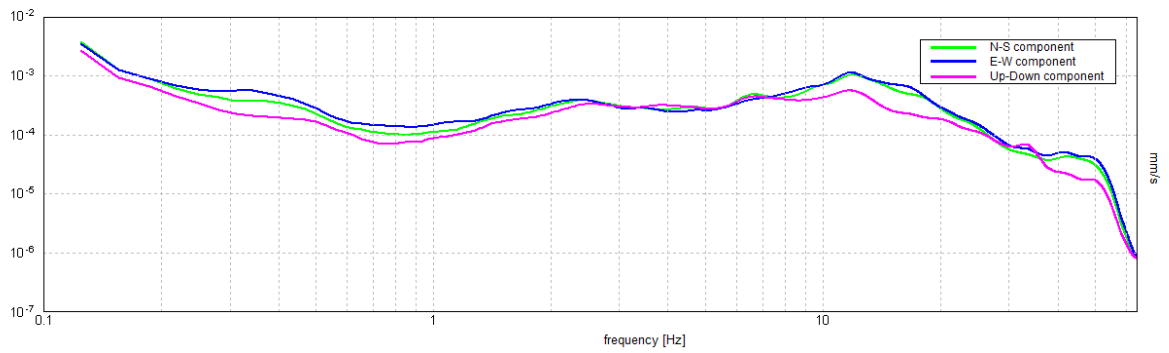
ZGN_191



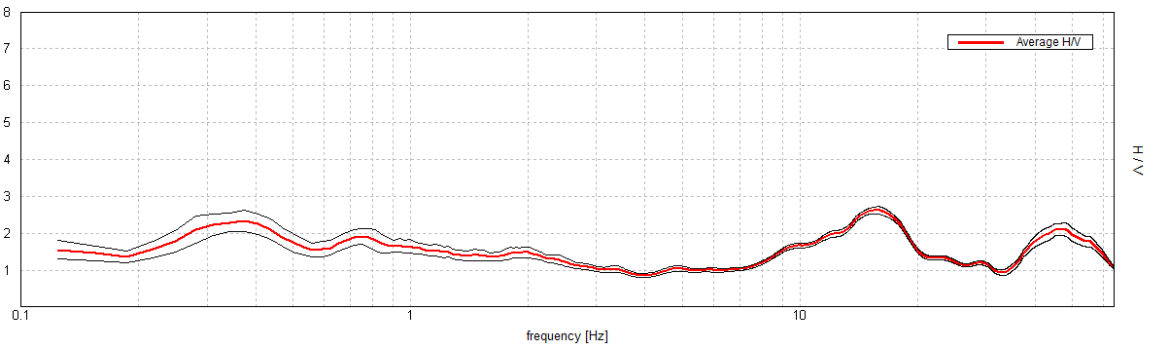
Max. H/V at 0.91 ± 6.36 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



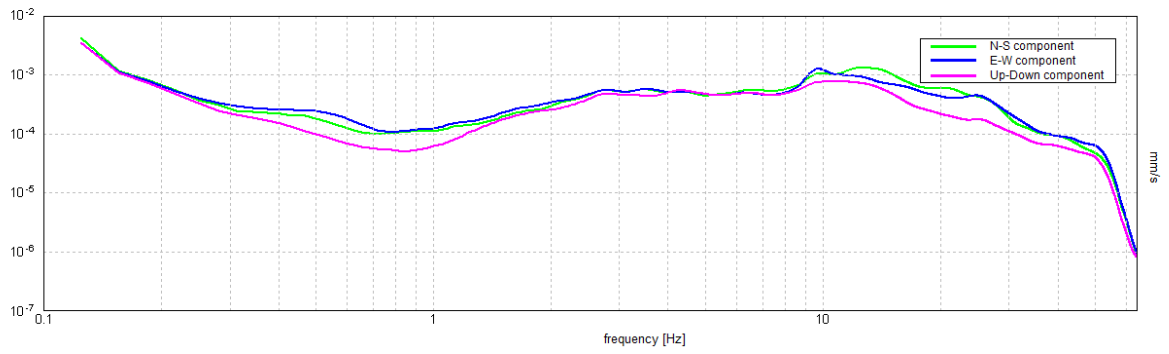
ZGN_192



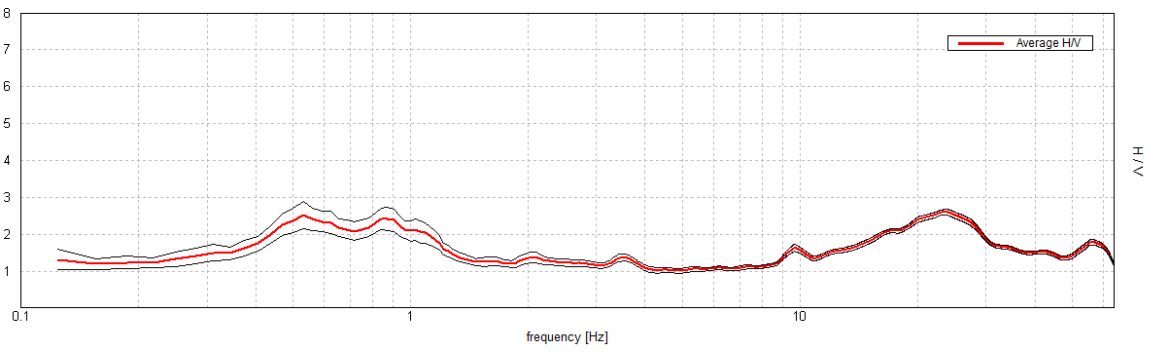
Max. H/V at 15.78 ± 5.99 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



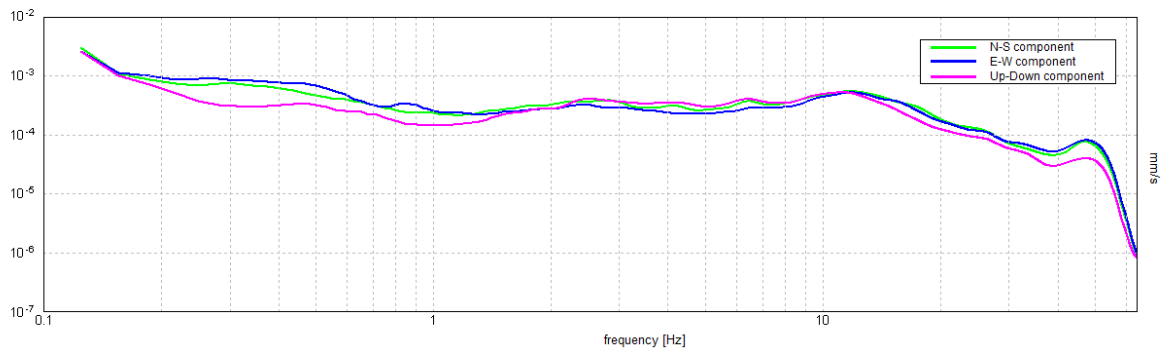
ZGN_193



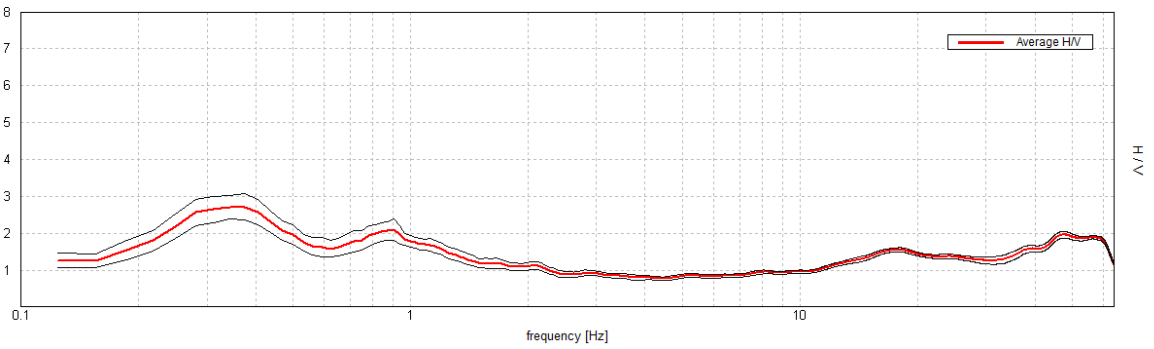
Max. H/V at 23.44 ± 15.64 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



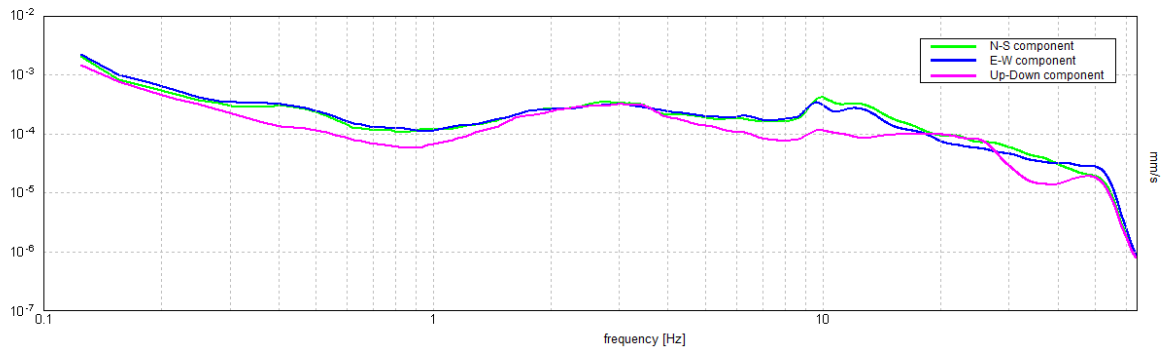
ZGN_194



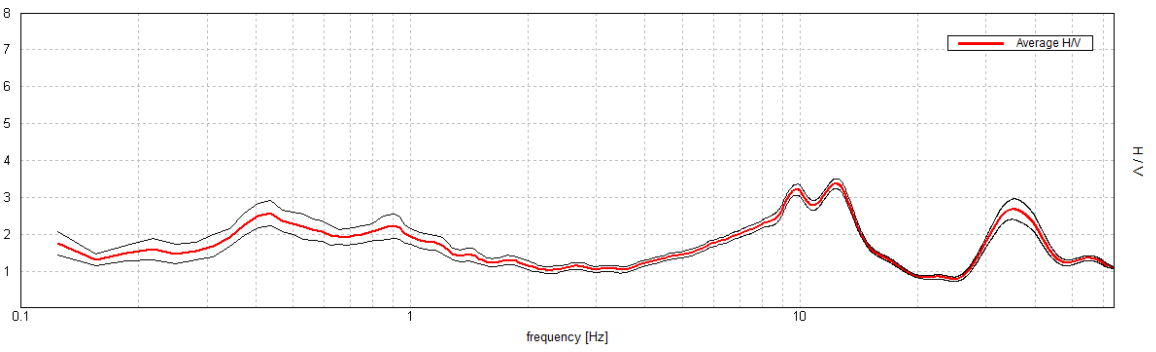
Max. H/V at 0.38 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



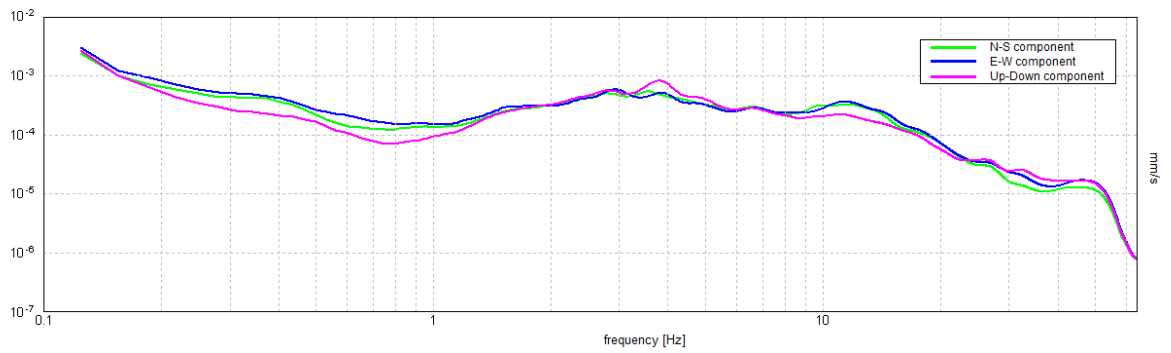
ZGN_195



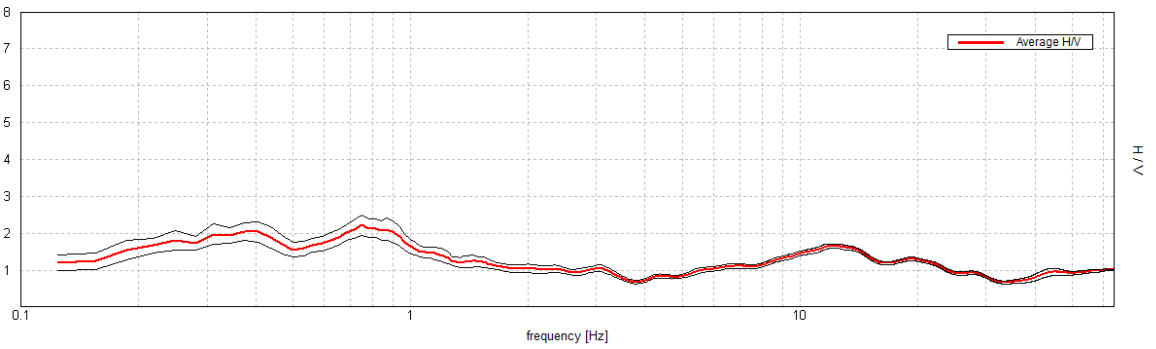
Max. H/V at 12.44 ± 4.65 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



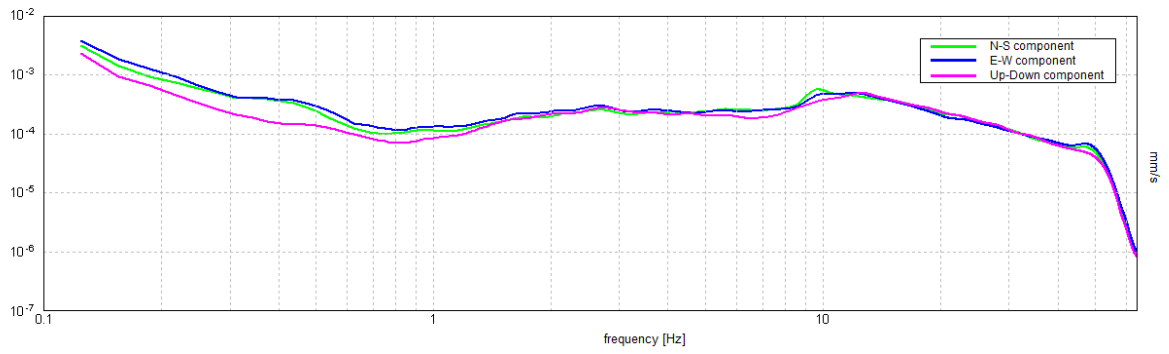
ZGN_196



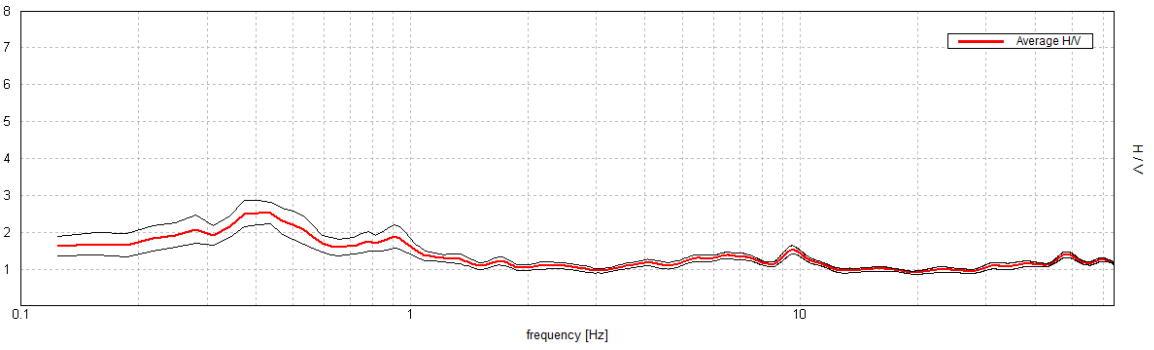
Max. H/V at 0.75 ± 0.19 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



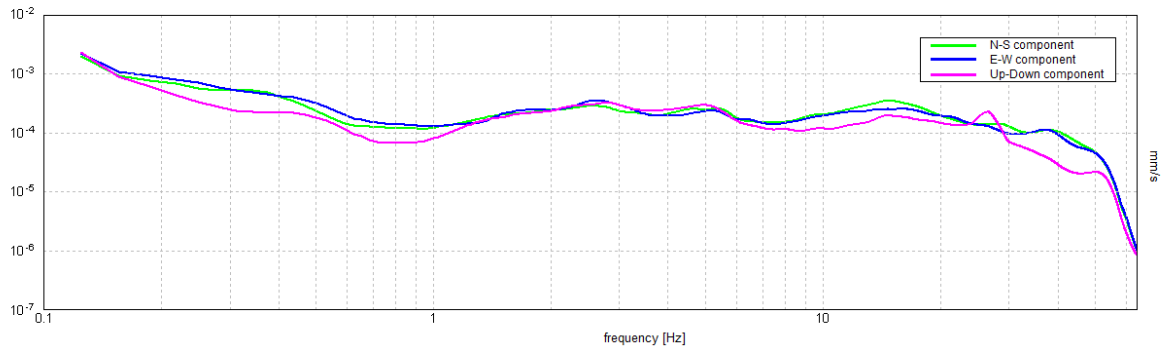
ZGN_197



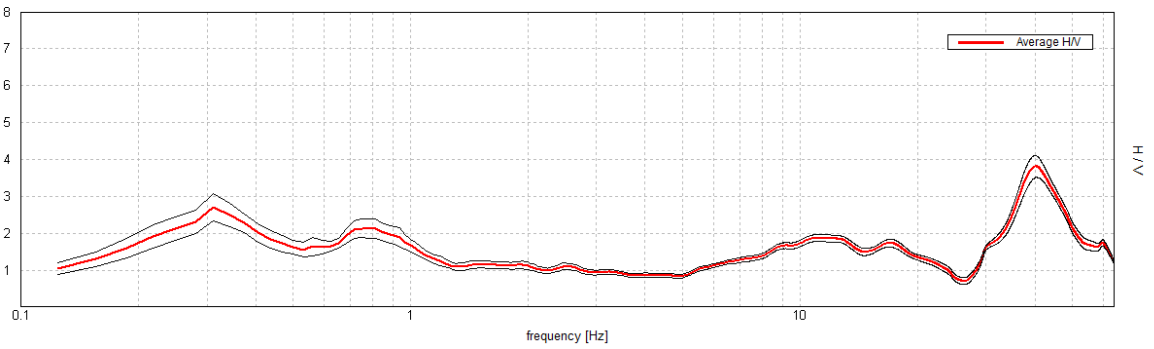
Max. H/V at 0.41 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



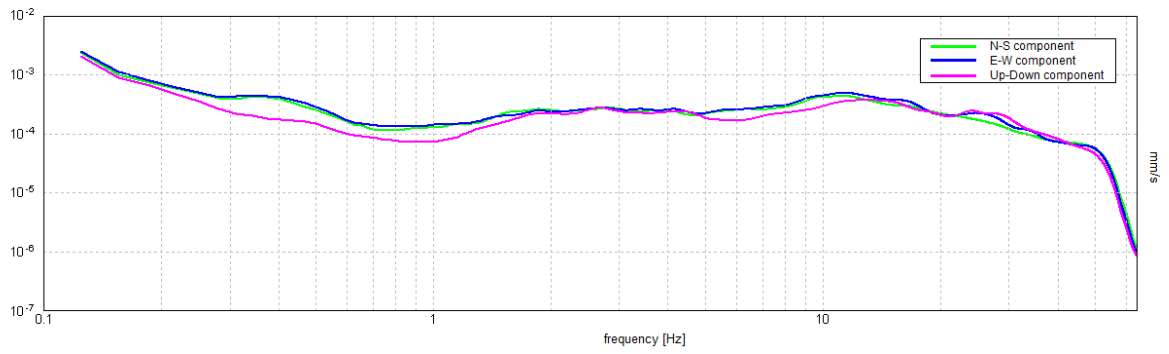
ZGN_198



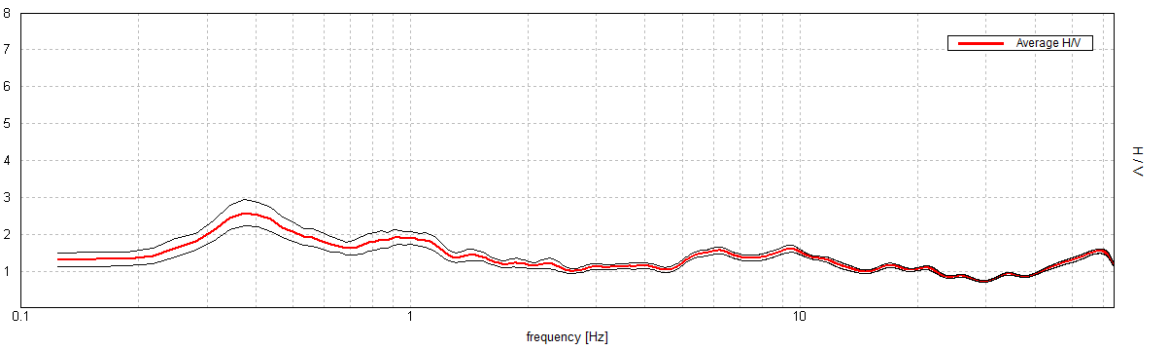
Max. H/V at 40.22 ± 7.43 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



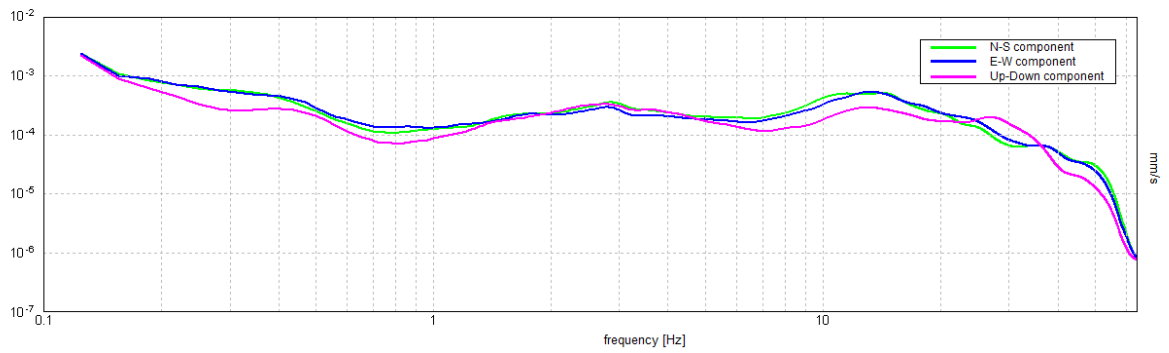
ZGN_199



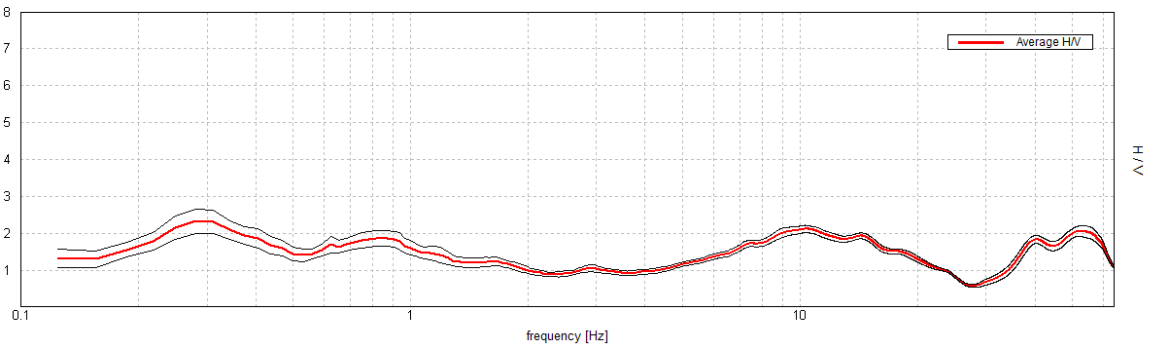
Max. H/V at 0.38 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



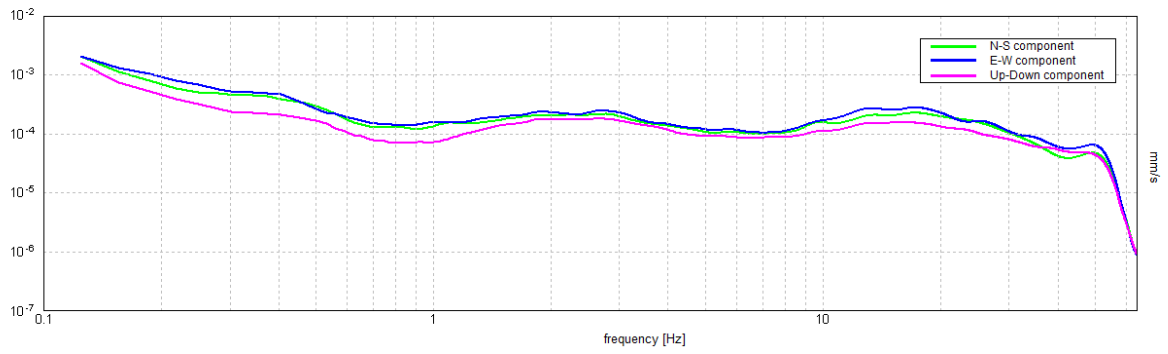
ZGN_200



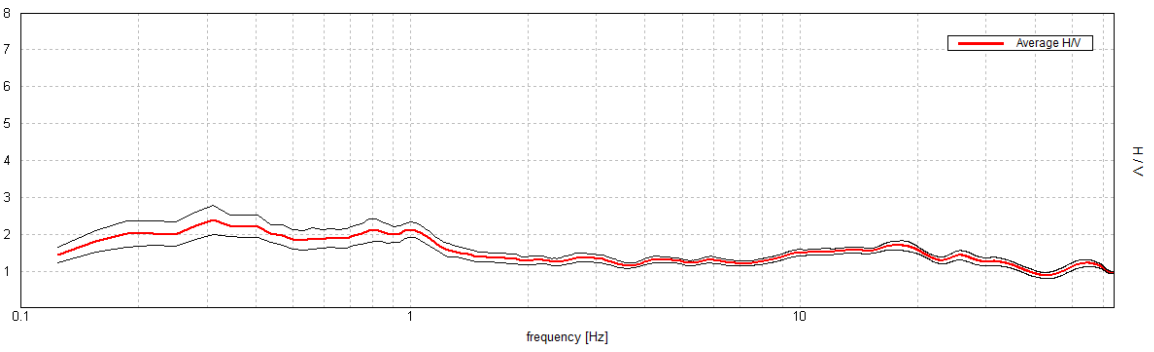
Max. H/V at 0.28 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



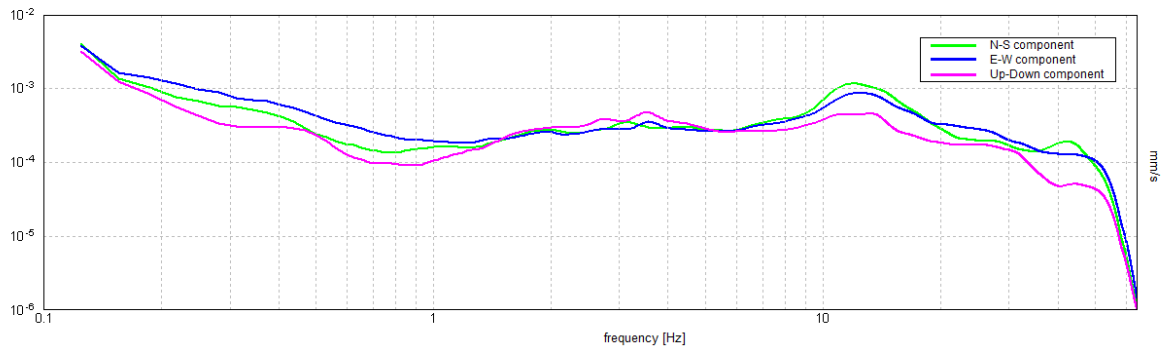
ZGN_201



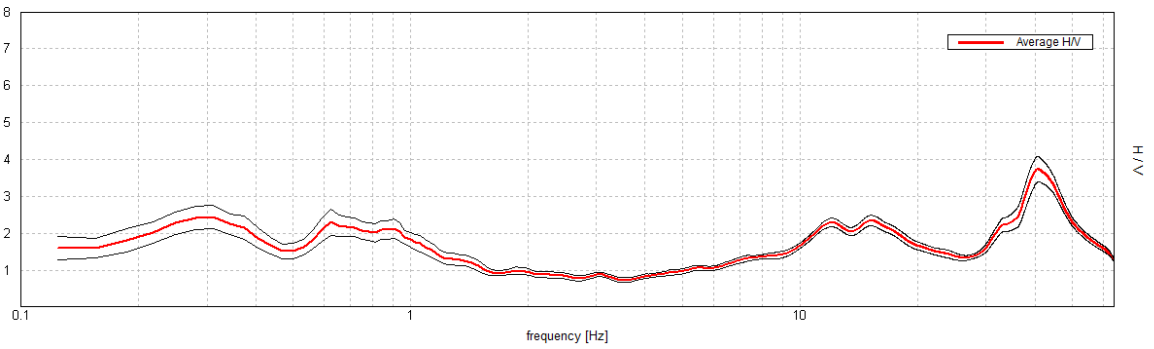
Max. H/V at 0.31 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



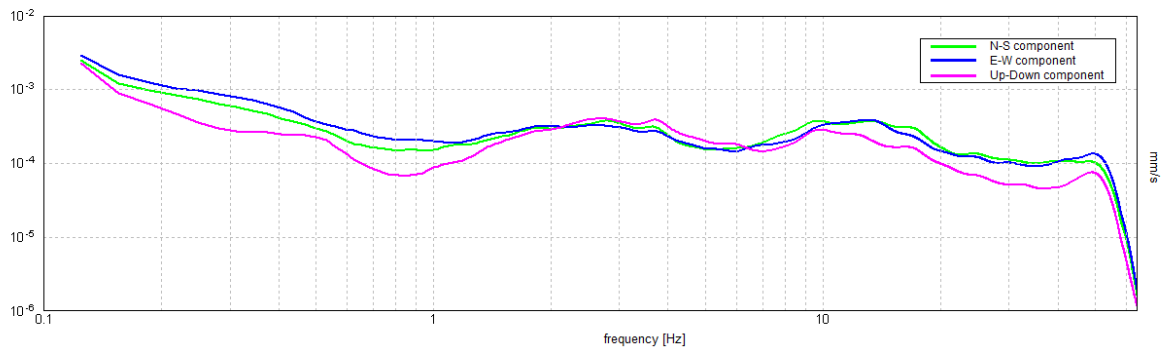
ZGN_202



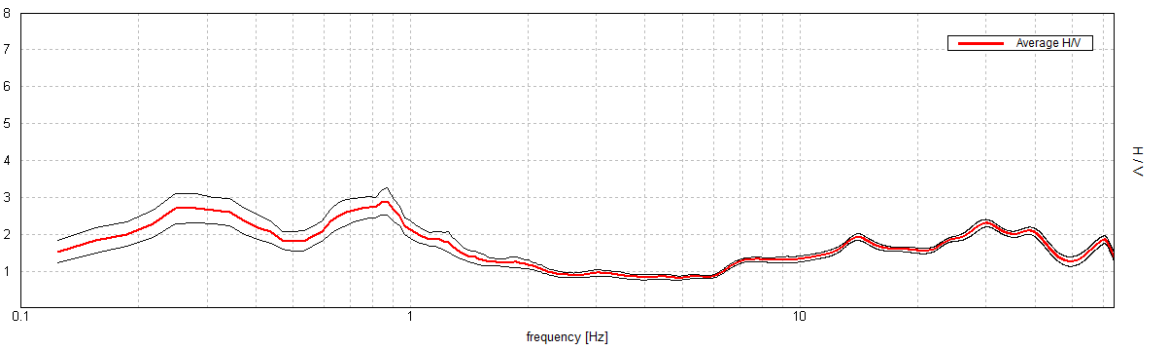
Max. H/V at 40.63 ± 5.54 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



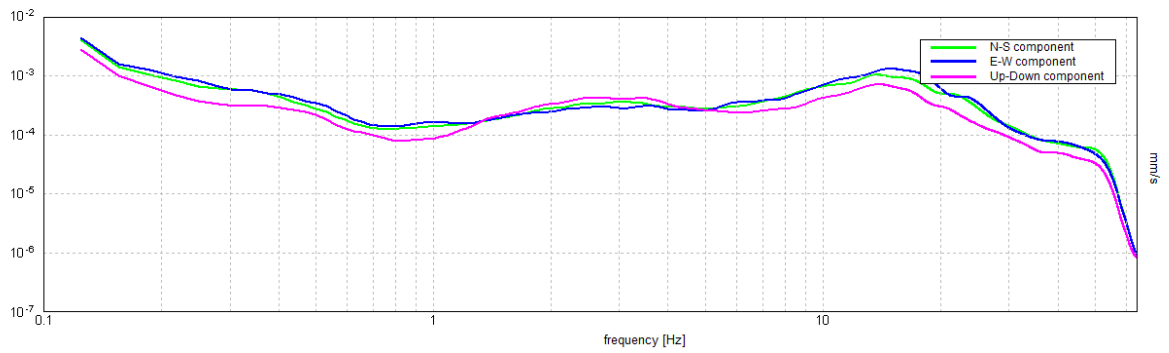
ZGN_203



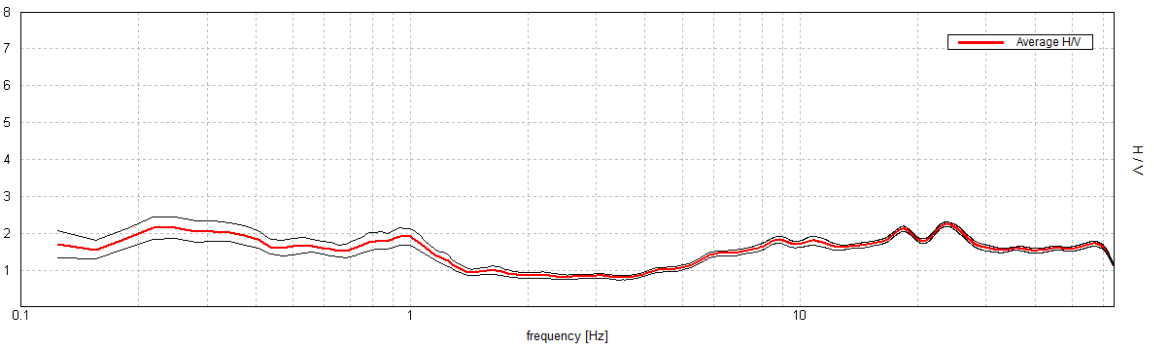
Max. H/V at 0.88 ± 0.39 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



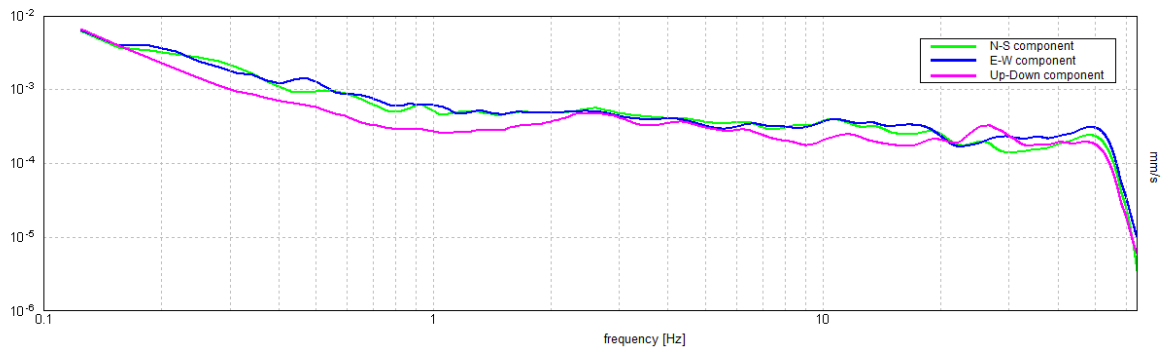
ZGN_204



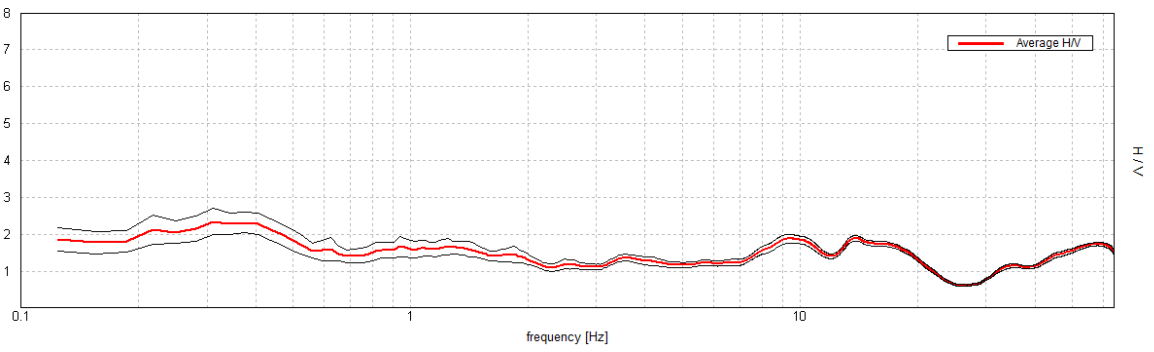
Max. H/V at 23.75 ± 10.59 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



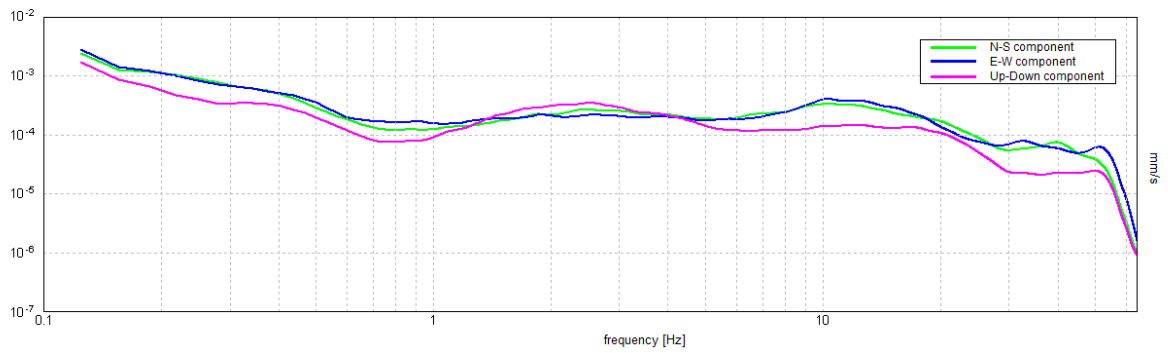
ZGN_205



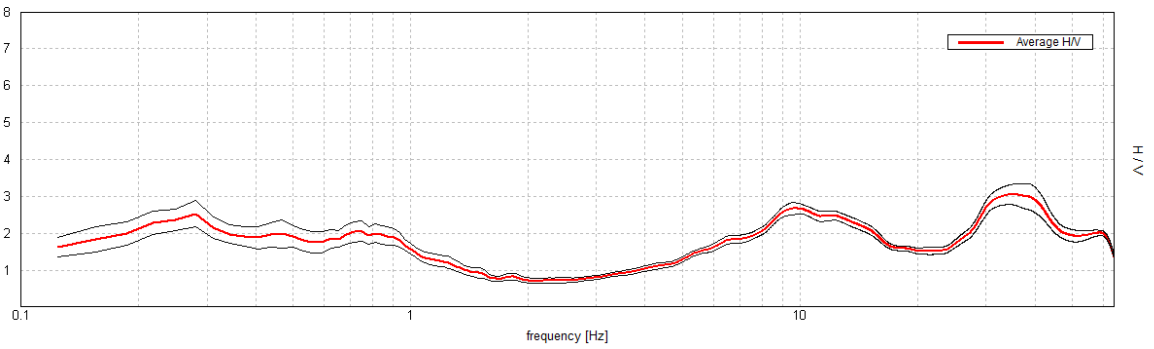
Max. H/V at 0.31 ± 0.54 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



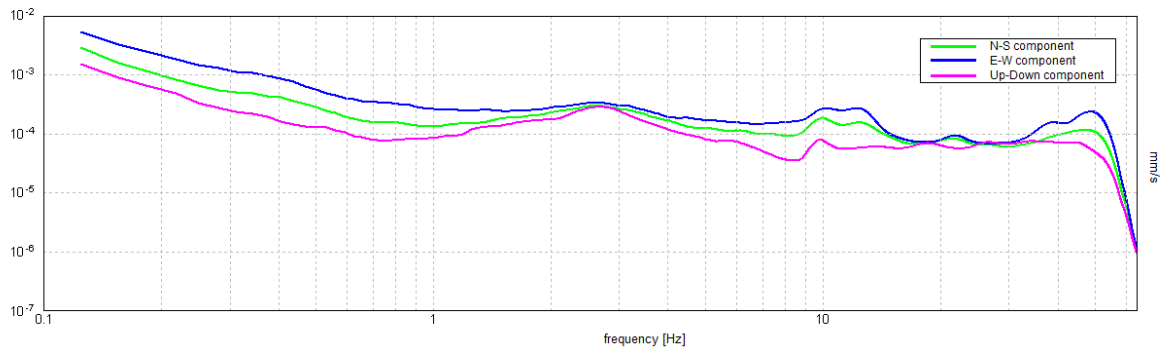
ZGN_206



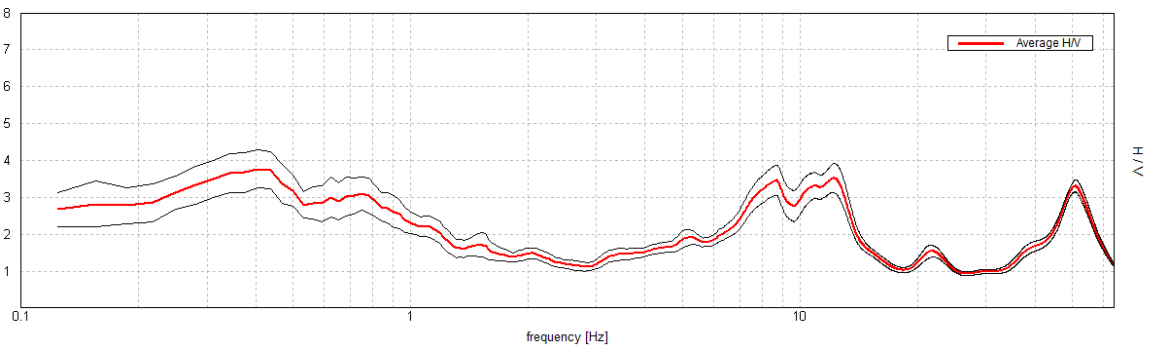
Max. H/V at 35.0 ± 8.64 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



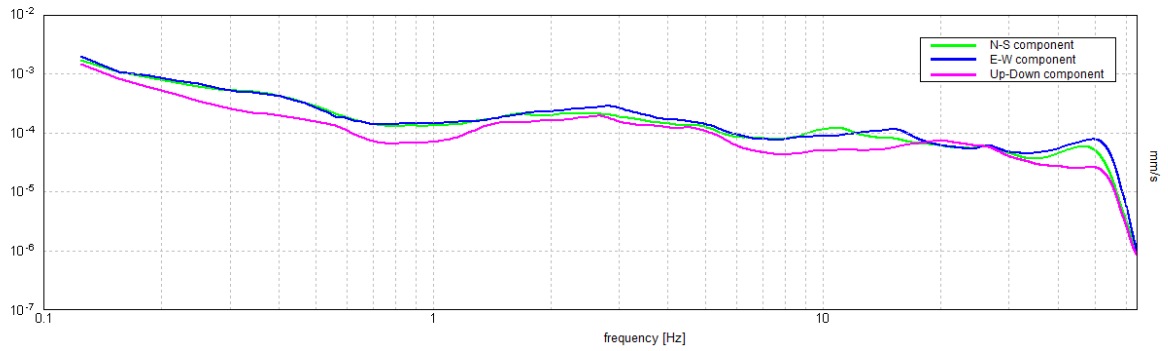
ZGN_207



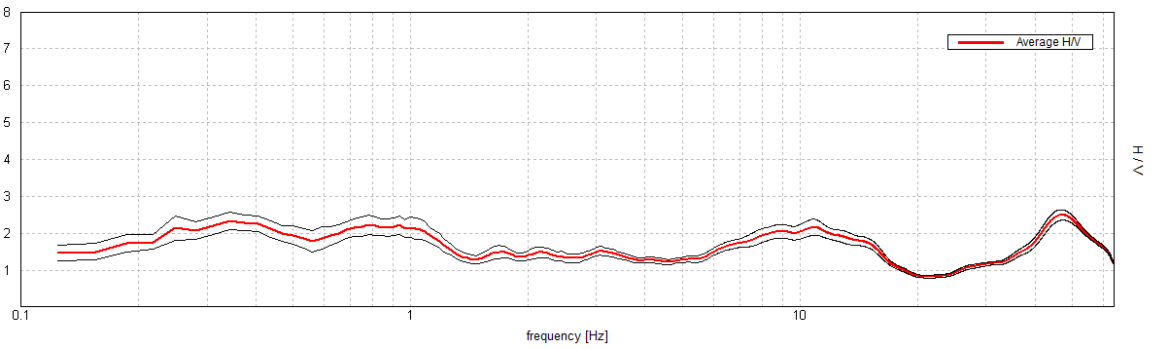
Max. H/V at 0.41 ± 1.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



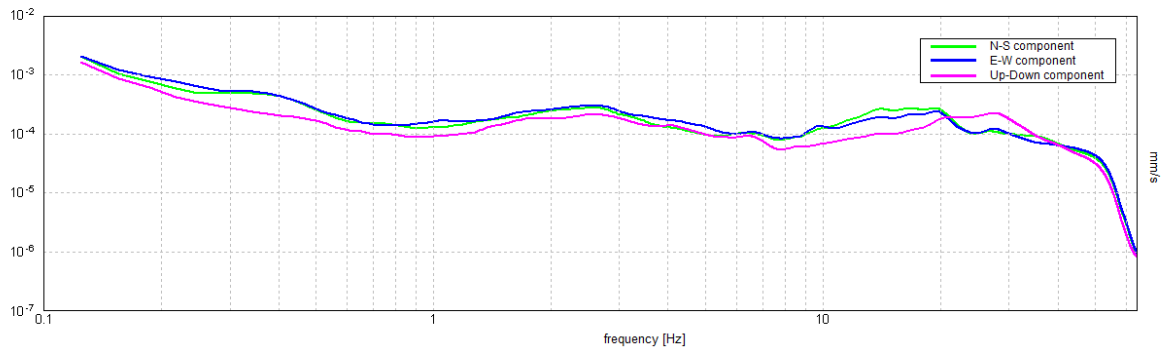
ZGN_208



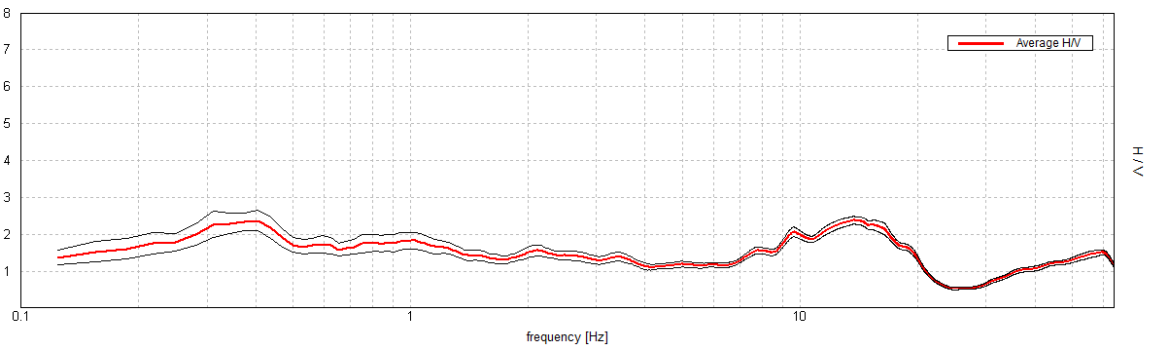
Max. H/V at 46.88 ± 19.73 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



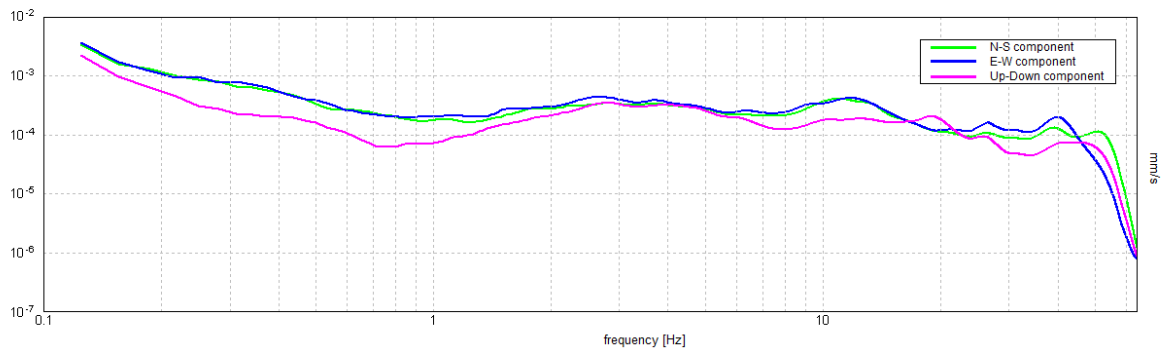
ZGN_209



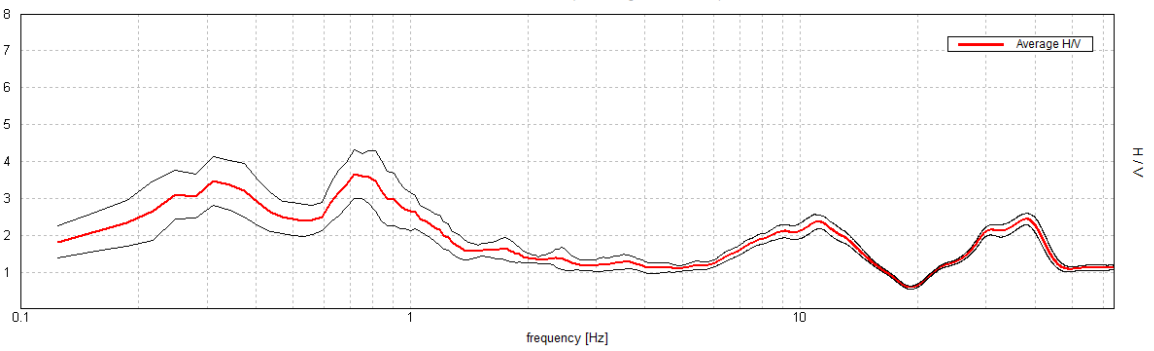
Max. H/V at 13.72 ± 5.43 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



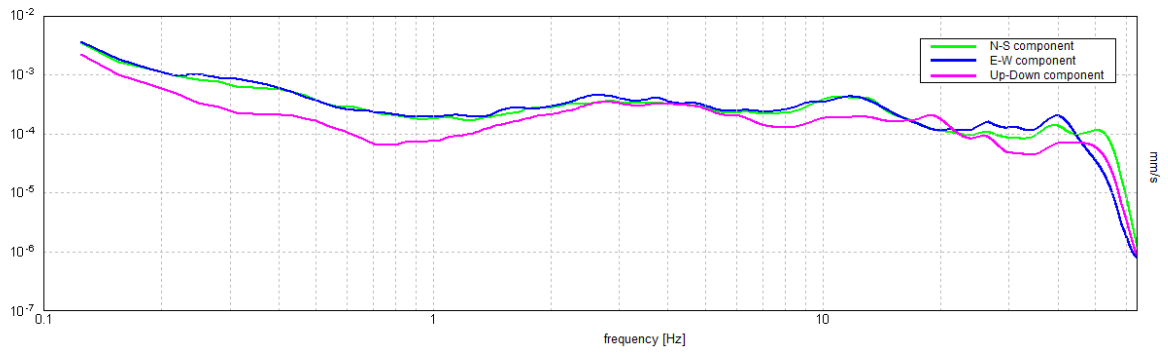
ZGN_210



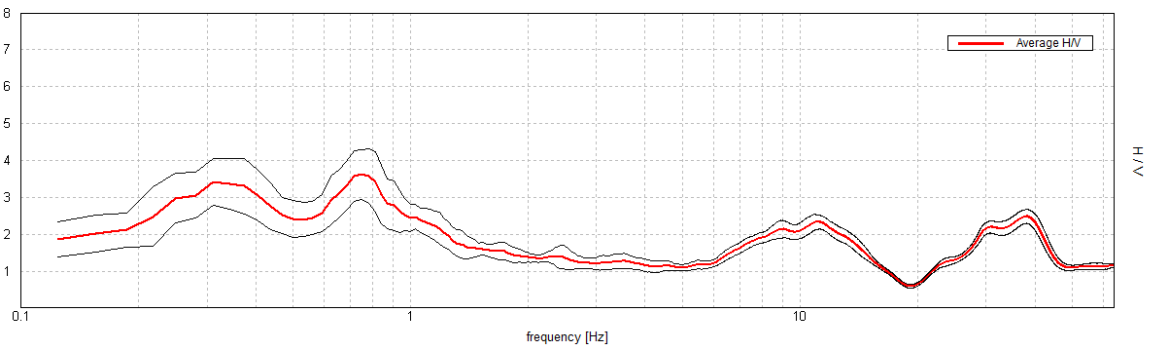
Max. H/V at 0.72 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



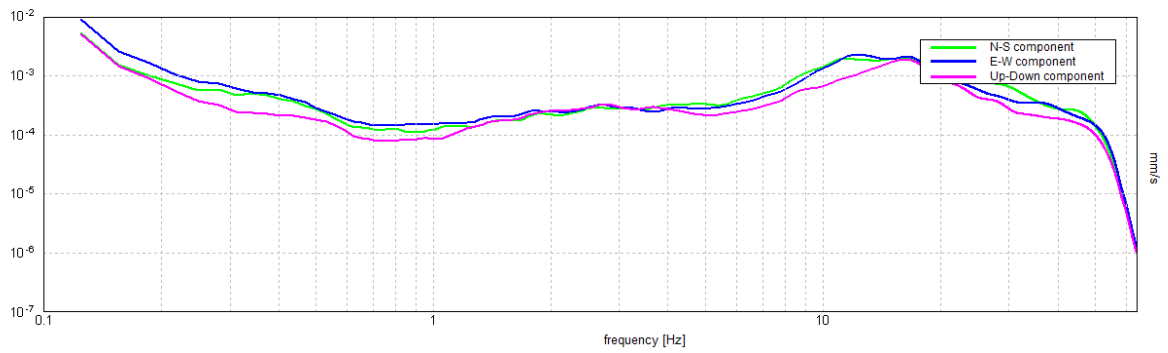
ZGN_211



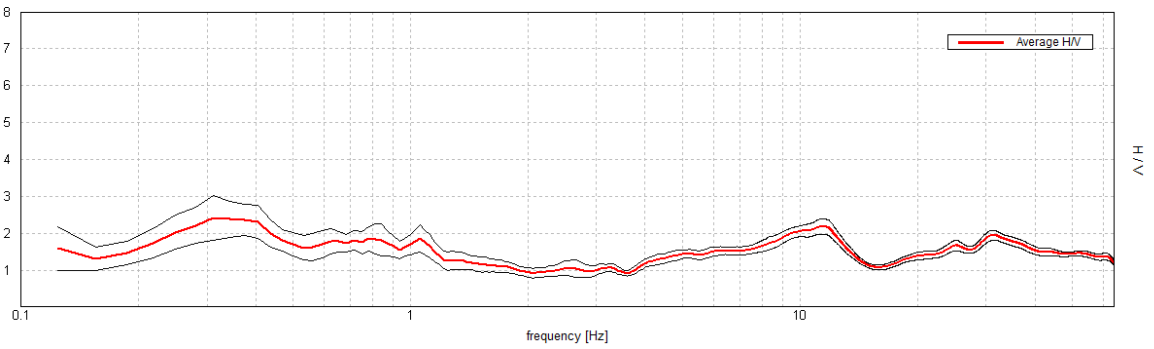
Max. H/V at 0.75 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



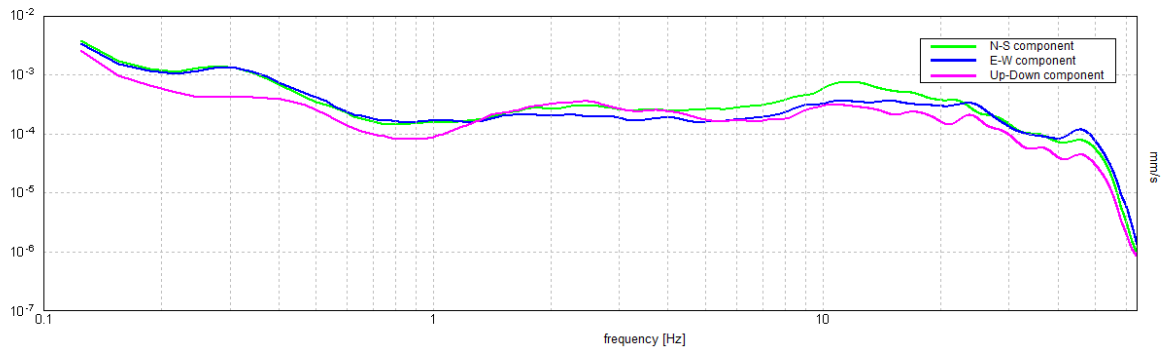
ZGN_212



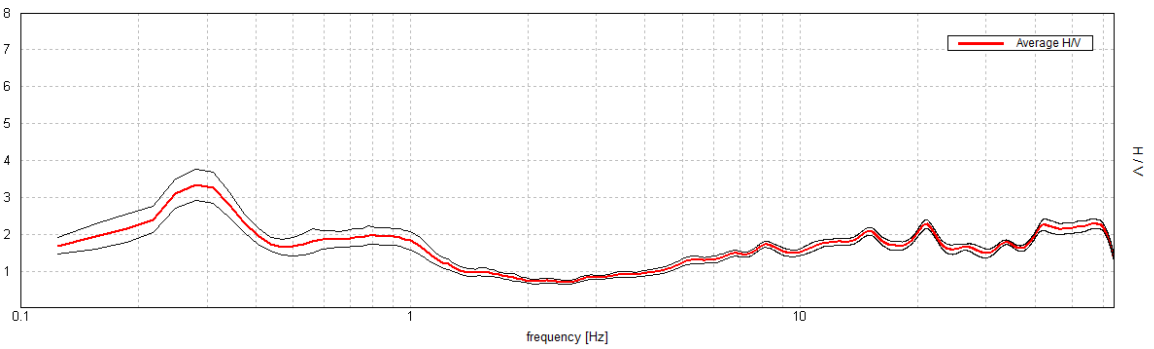
Max. H/V at 0.31 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



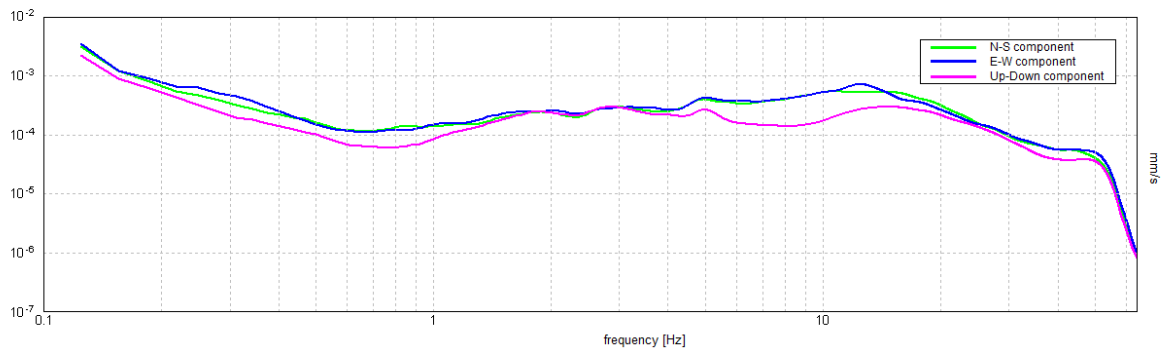
ZGN_213



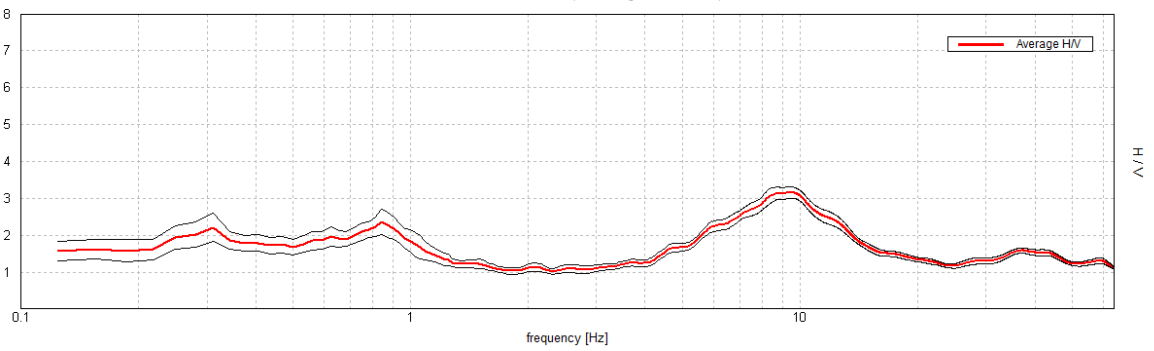
Max. H/V at 0.28 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



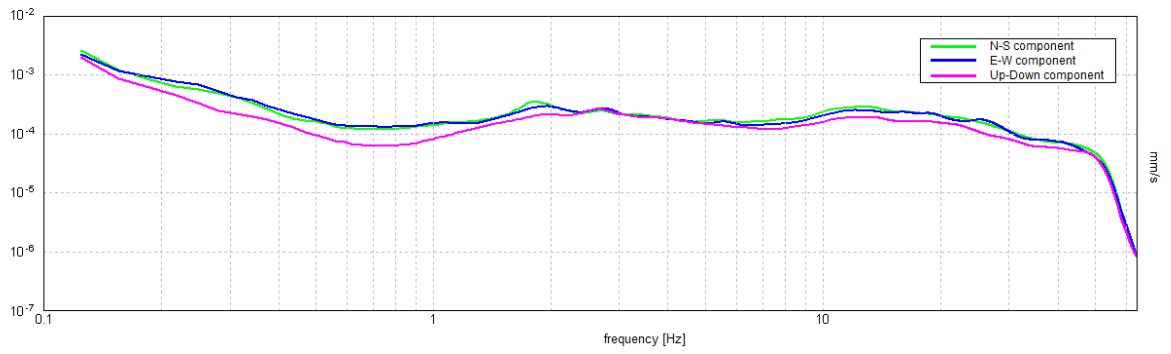
ZGN_214



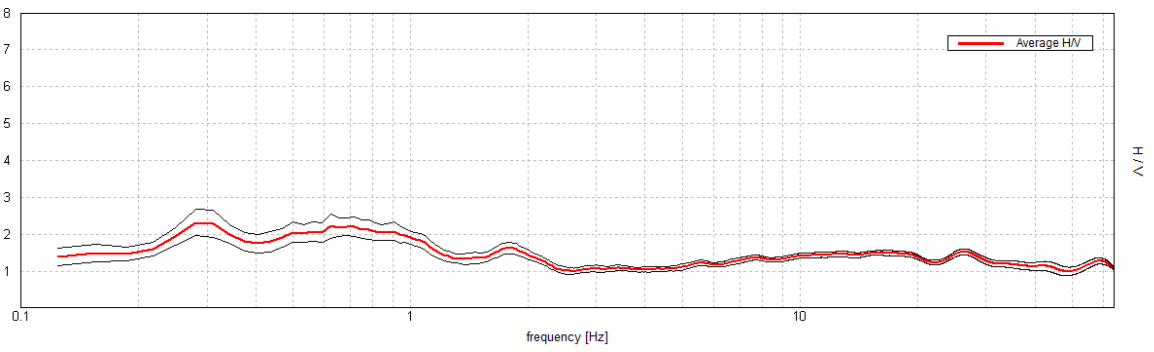
Max. H/V at 9.38 ± 1.31 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



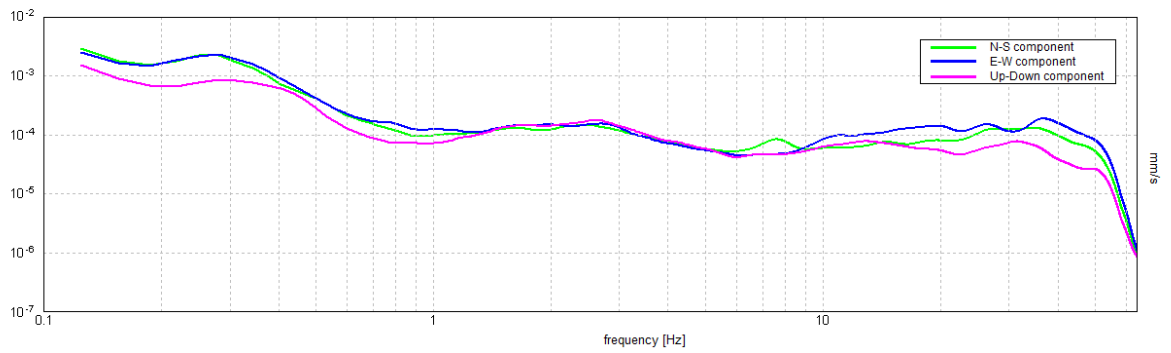
ZGN_215



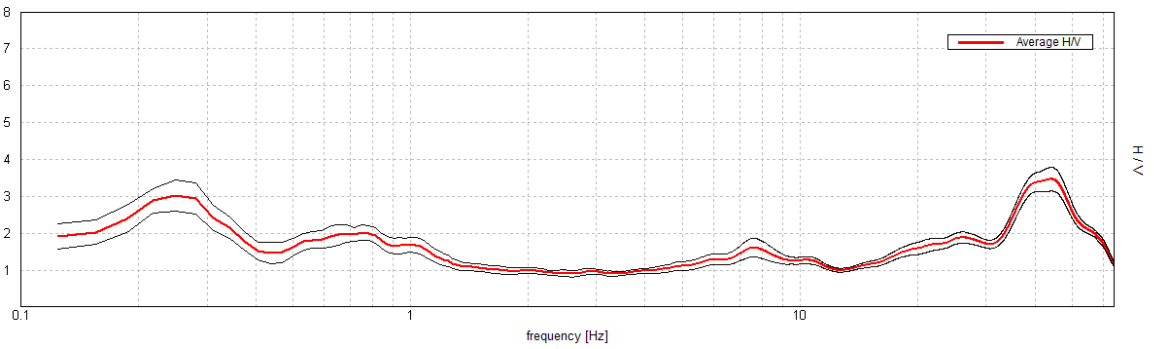
Max. H/V at 0.28 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



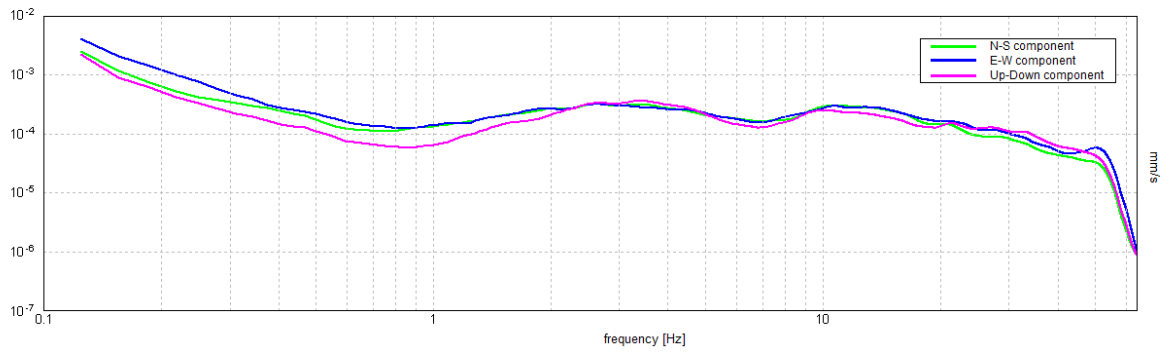
ZGN_216



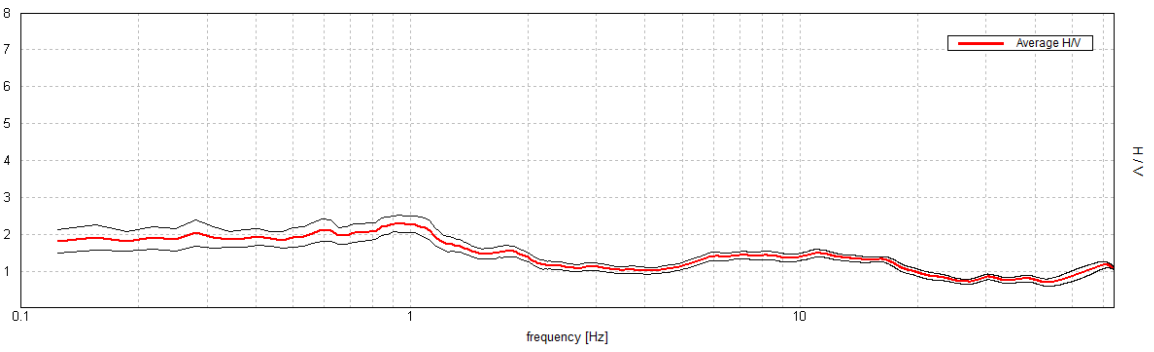
Max. H/V at 44.25 ± 22.84 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



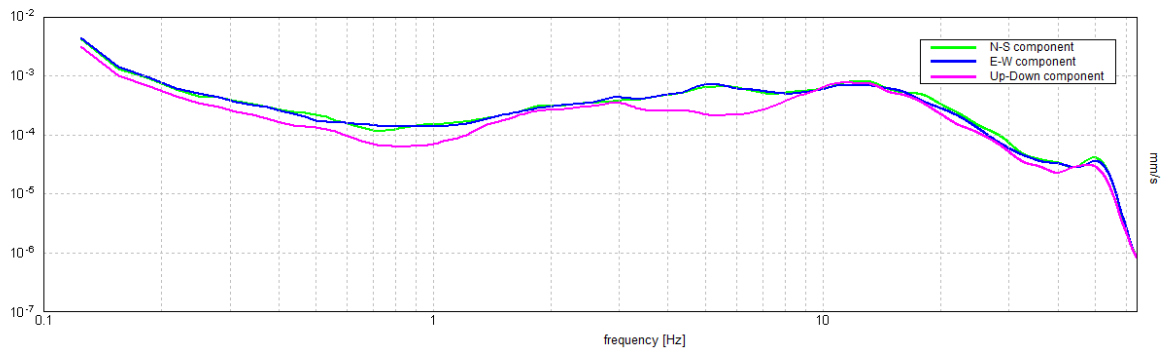
ZGN_217



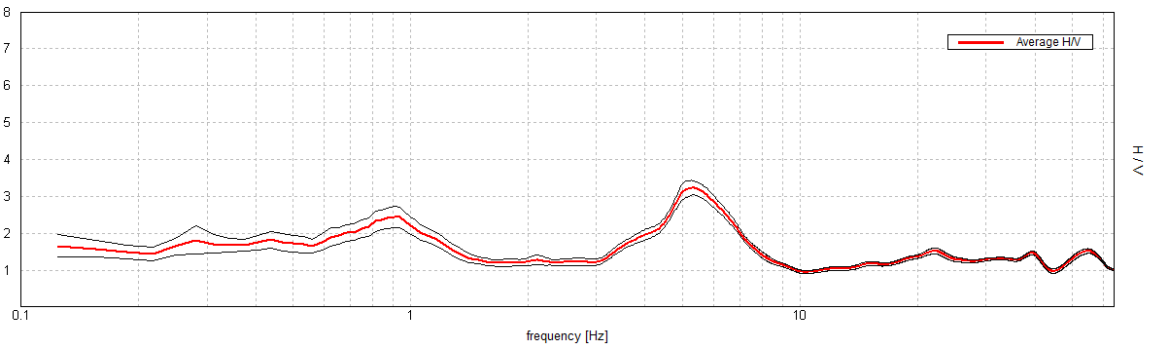
Max. H/V at 0.91 ± 0.45 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



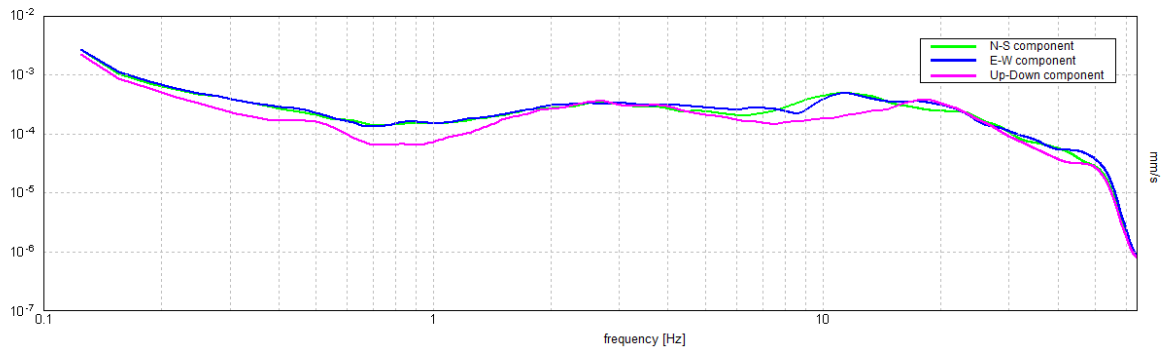
ZGN_218



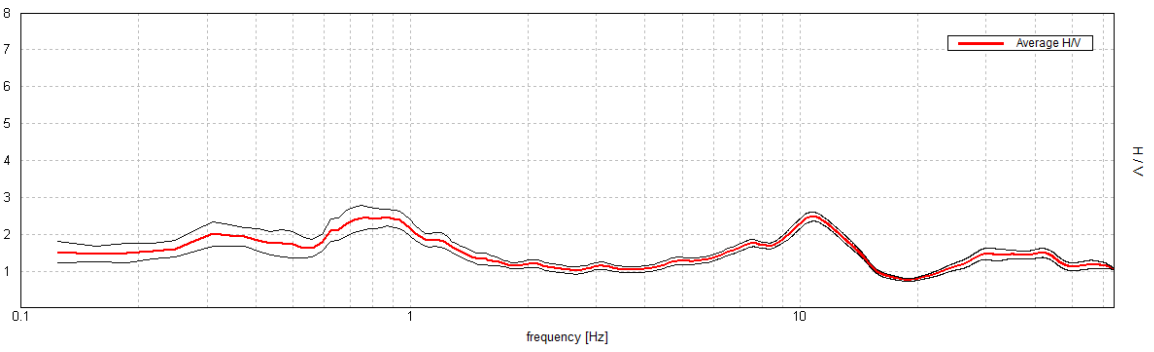
Max. H/V at 5.28 ± 1.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



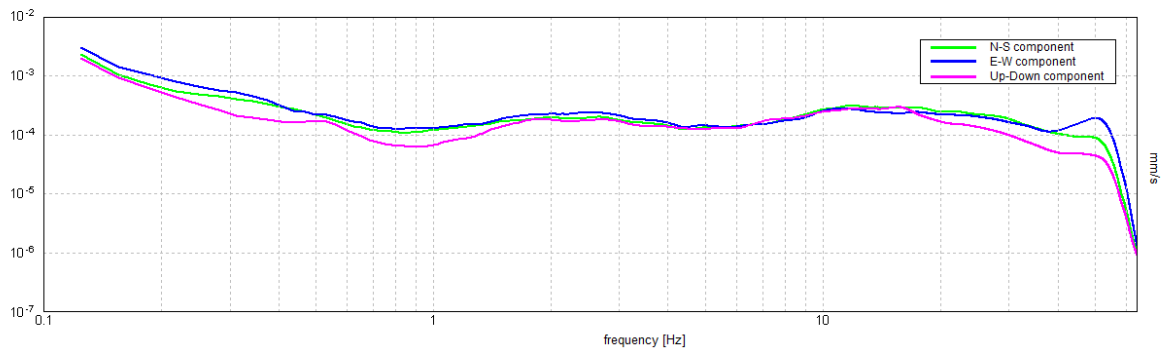
ZGN_219



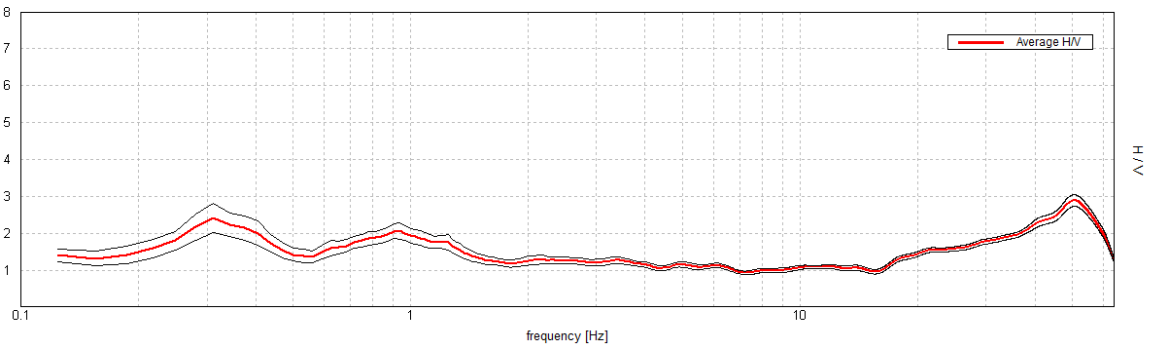
Max. H/V at 10.75 ± 8.83 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



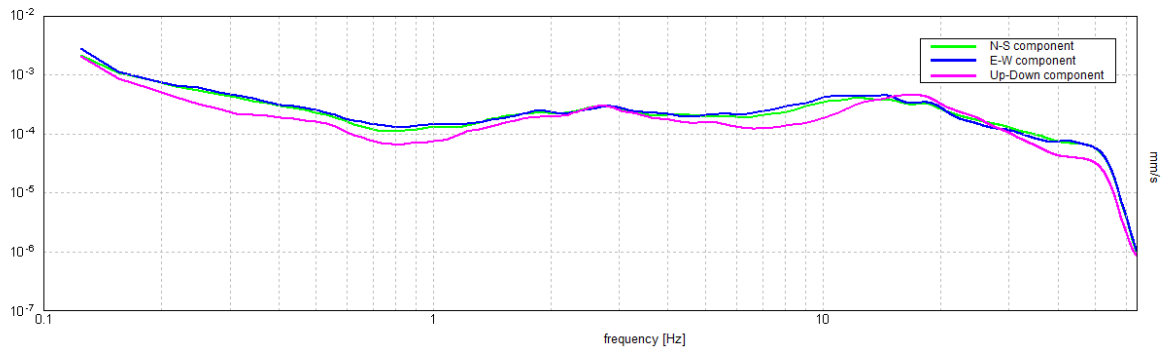
ZGN_220



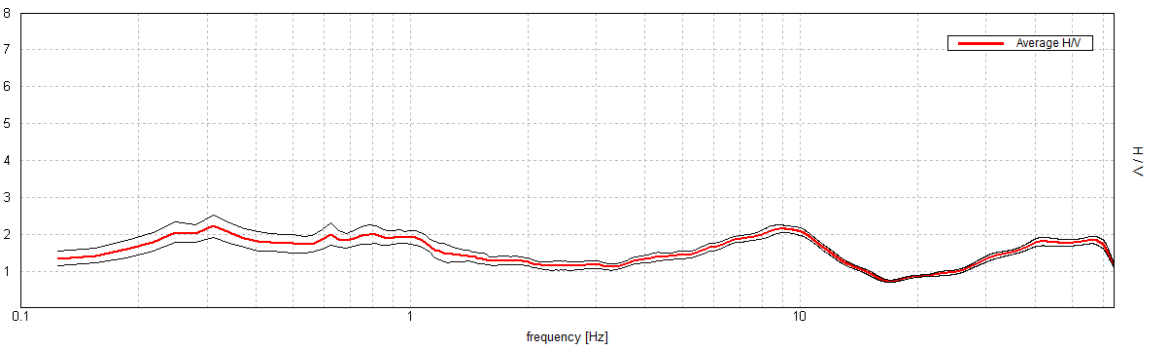
Max. H/V at 50.63 ± 18.39 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



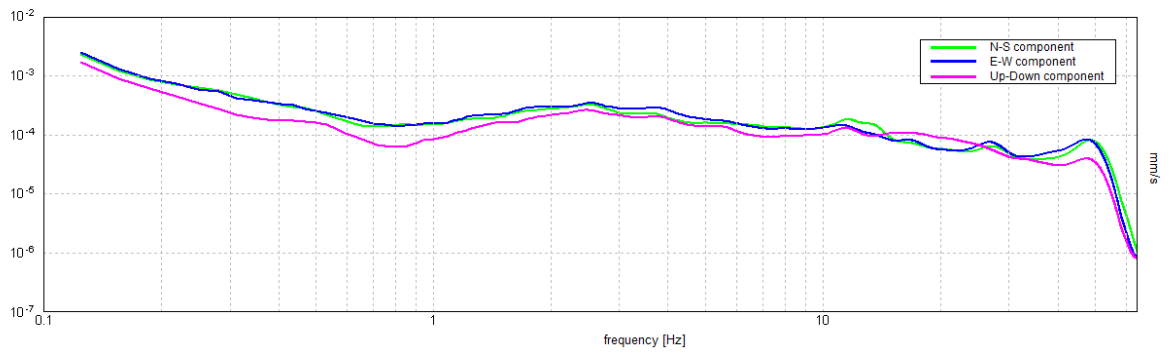
ZGN_221



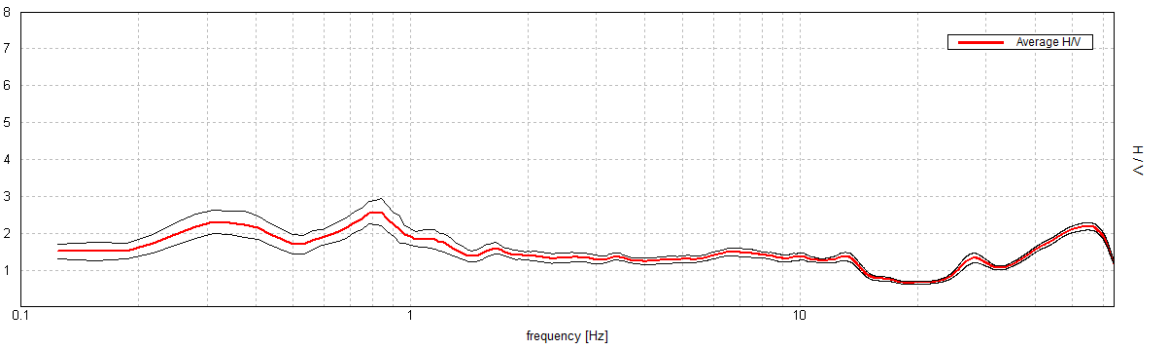
Max. H/V at 0.31 ± 0.22 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



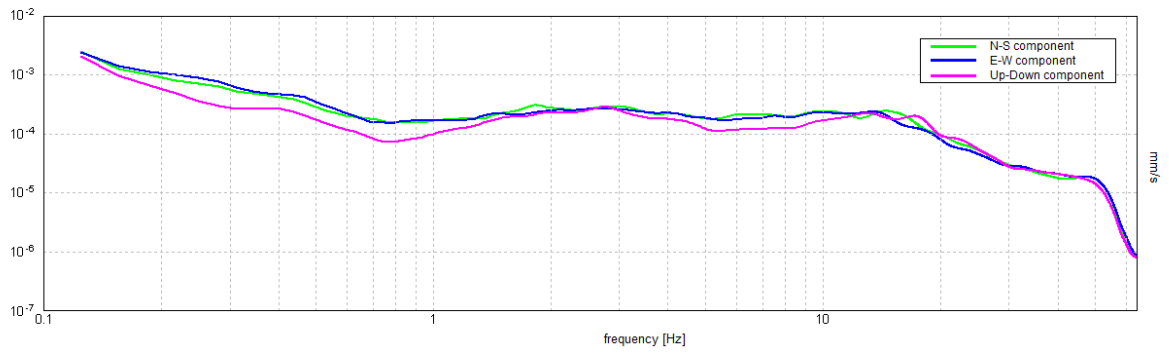
ZGN_222



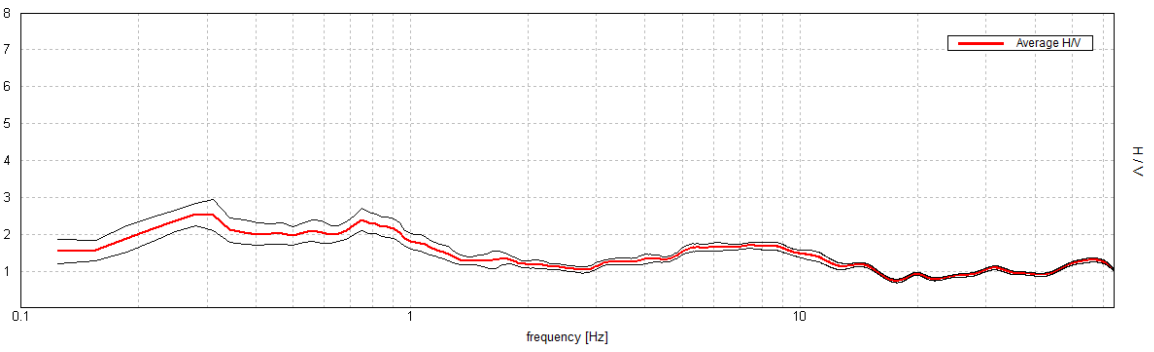
Max. H/V at 0.84 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



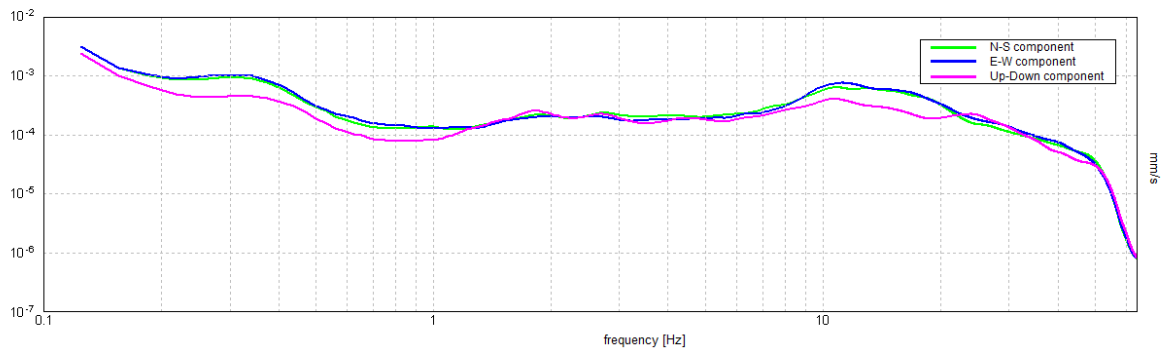
ZGN_223



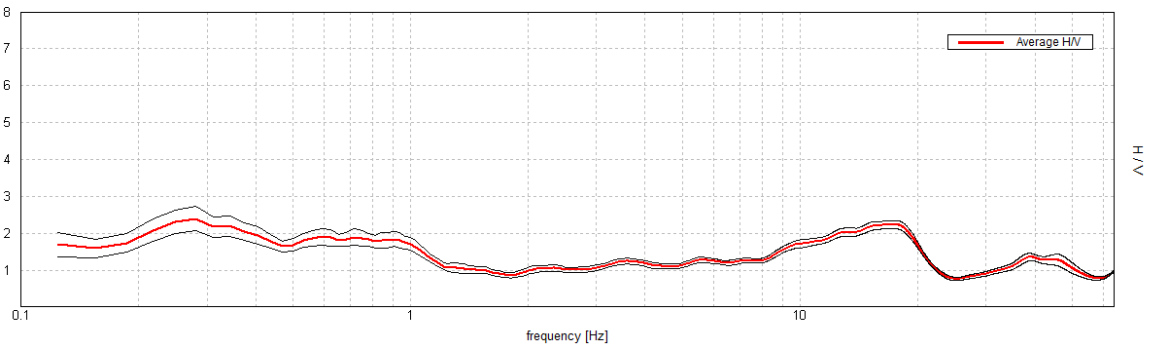
Max. H/V at 0.28 ± 0.33 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



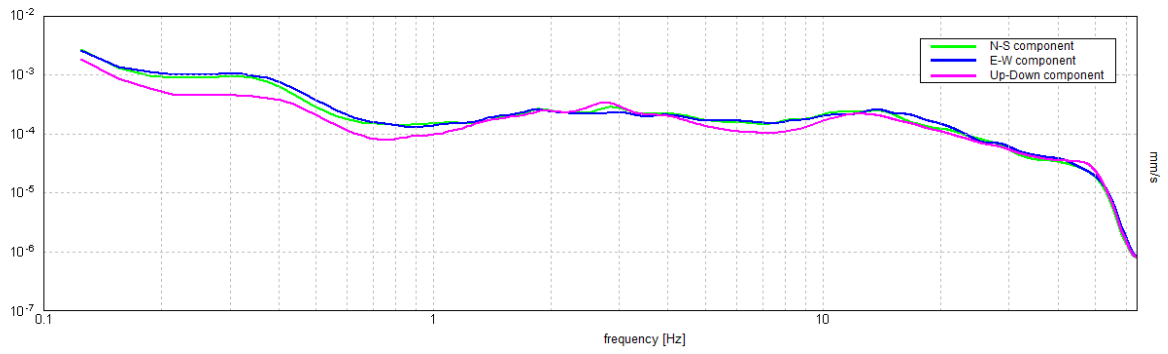
ZGN_224



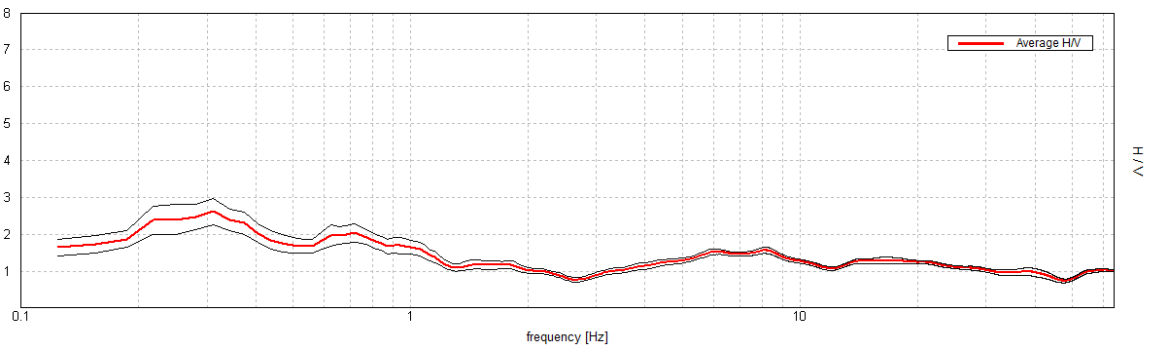
Max. H/V at 0.28 ± 12.74 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



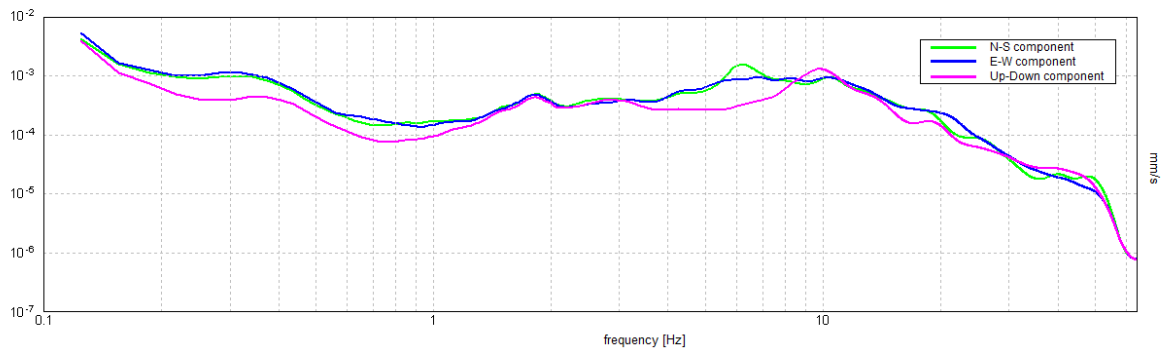
ZGN_225



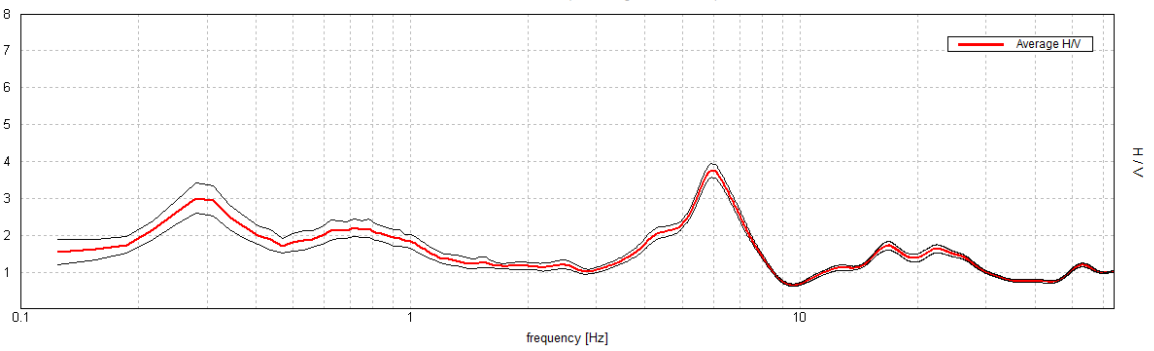
Max. H/V at 0.31 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



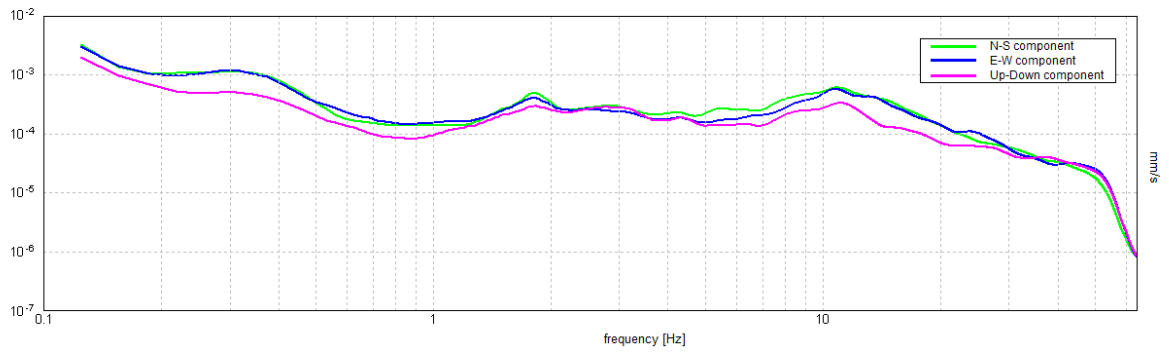
ZGN_226



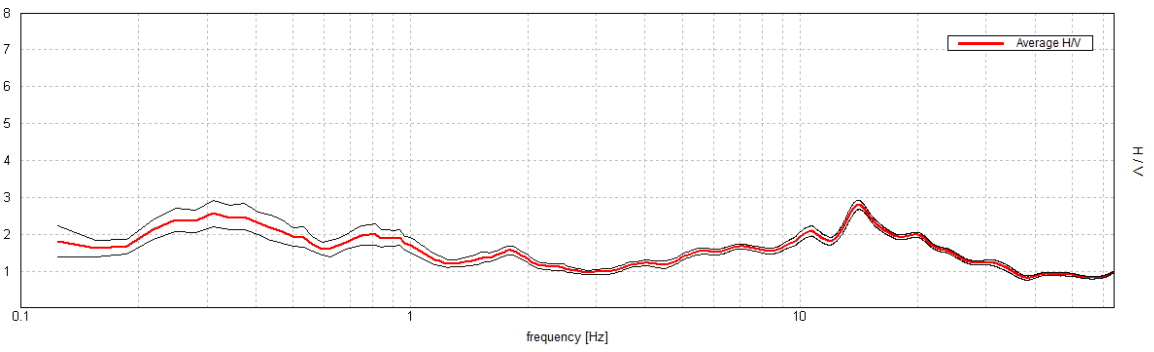
Max. H/V at 5.94 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



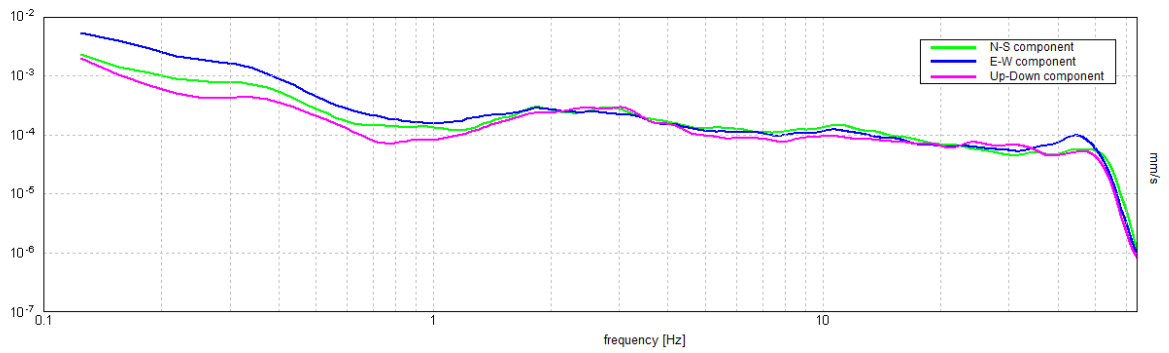
ZGN_227



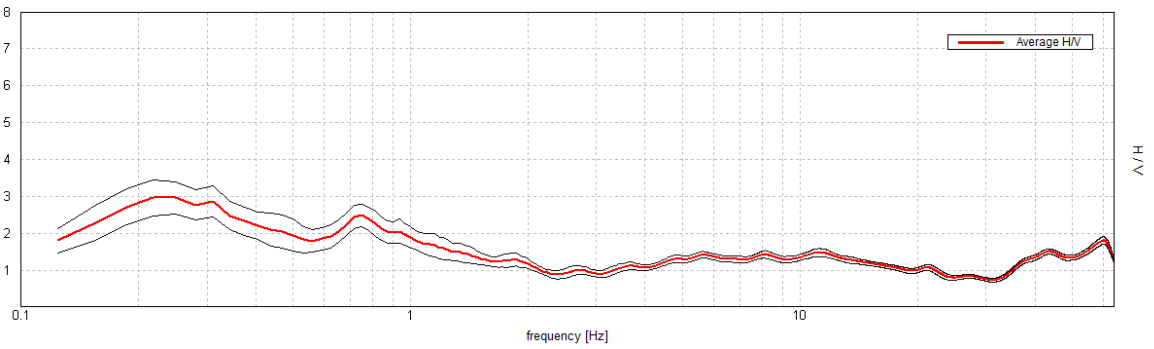
Max. H/V at 14.06 ± 3.52 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



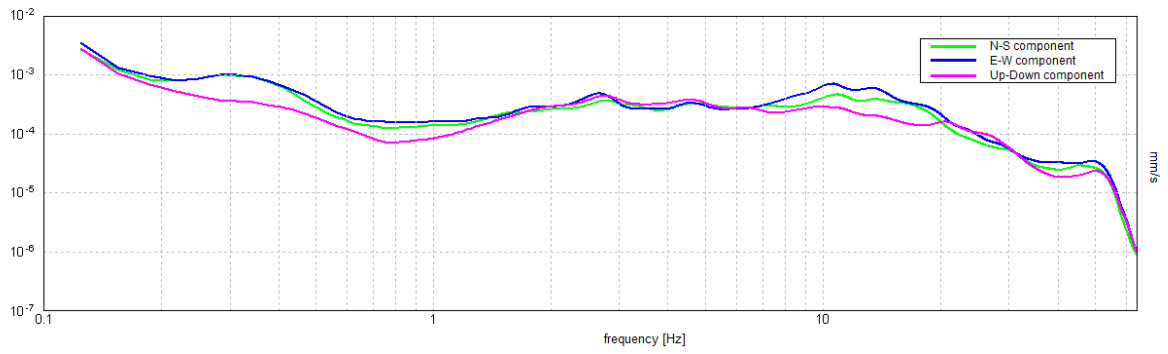
ZGN_228



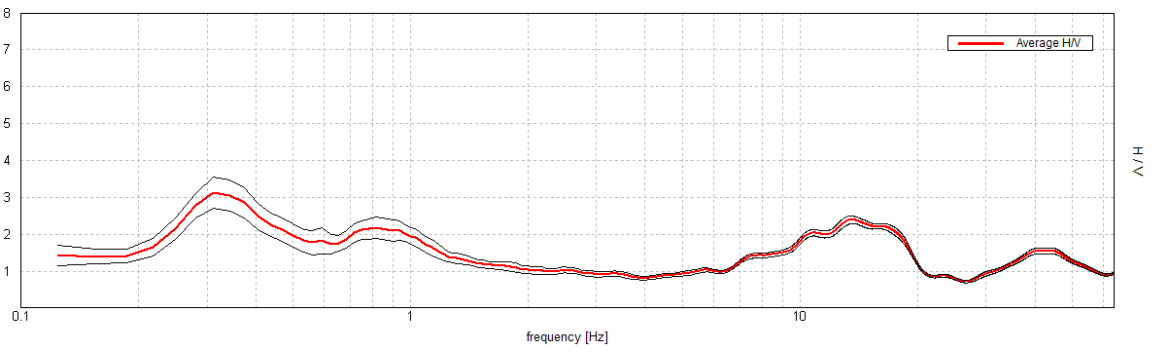
Max. H/V at 0.22 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



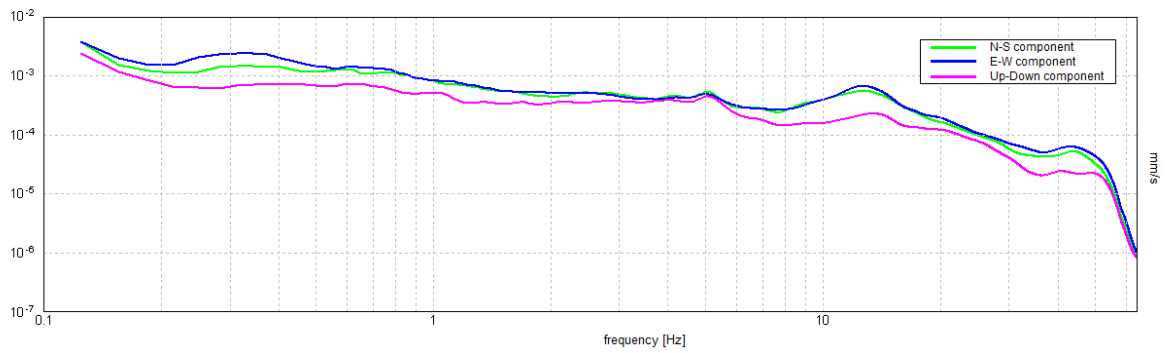
ZGN_229



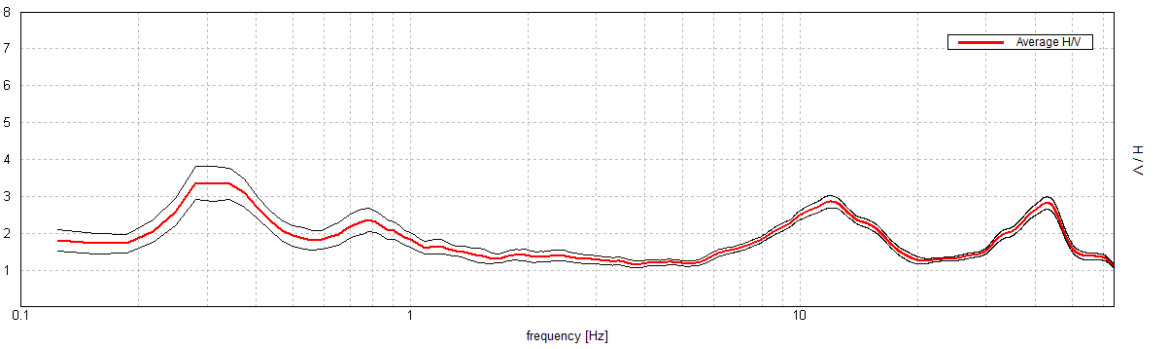
Max. H/V at 0.31 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



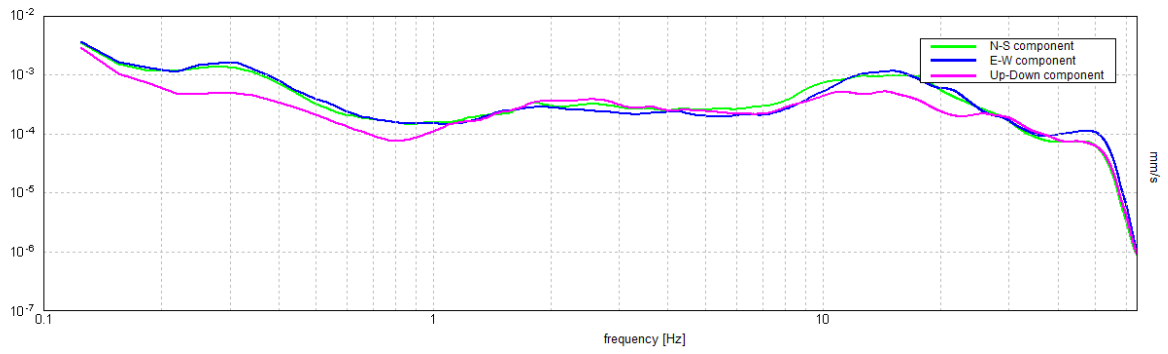
ZGN_230



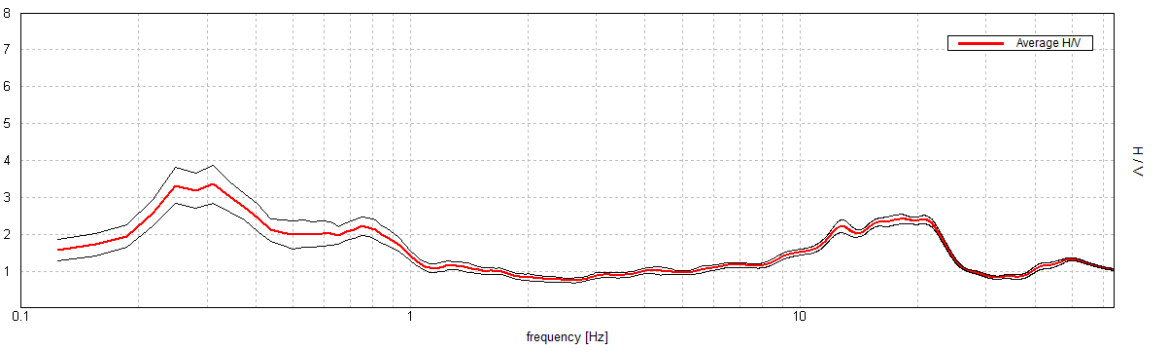
Max. H/V at 0.28 ± 15.3 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



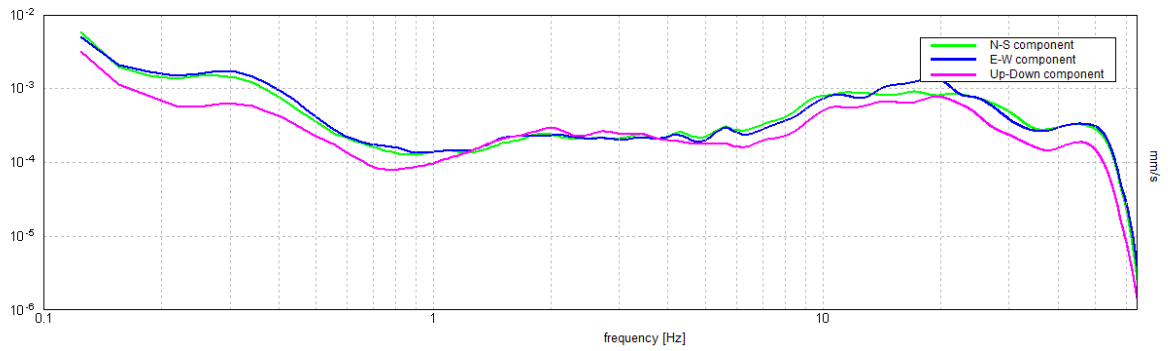
ZGN_231



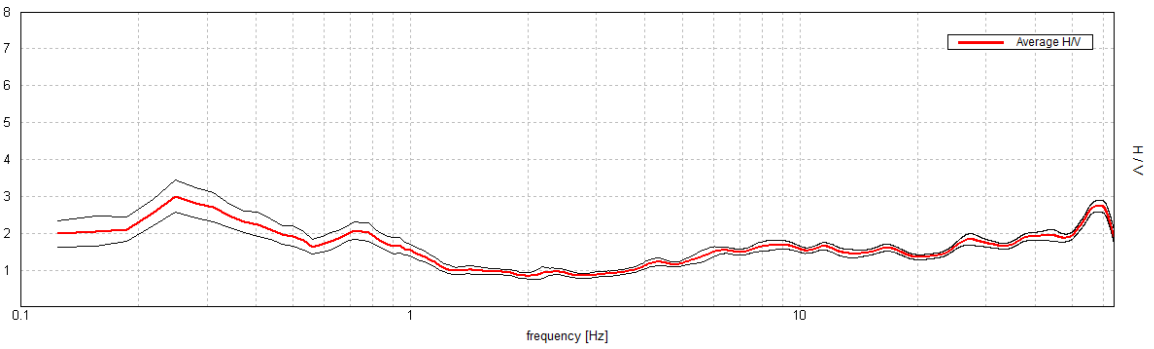
Max. H/V at 0.31 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



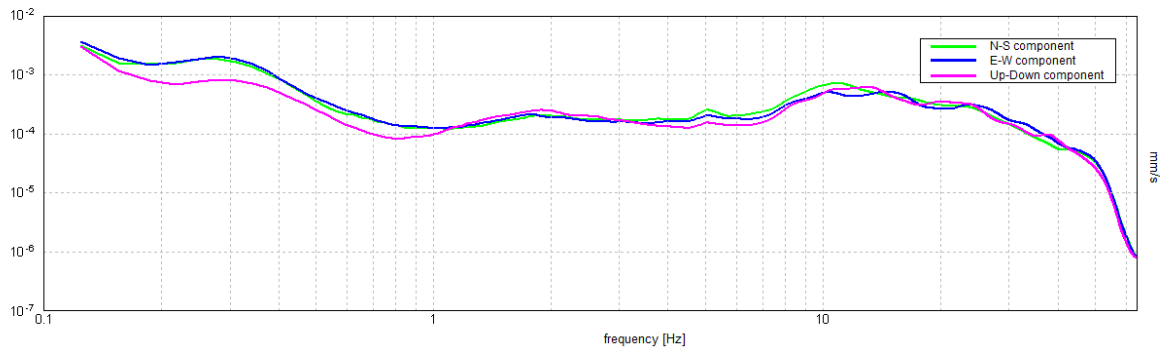
ZGN_232



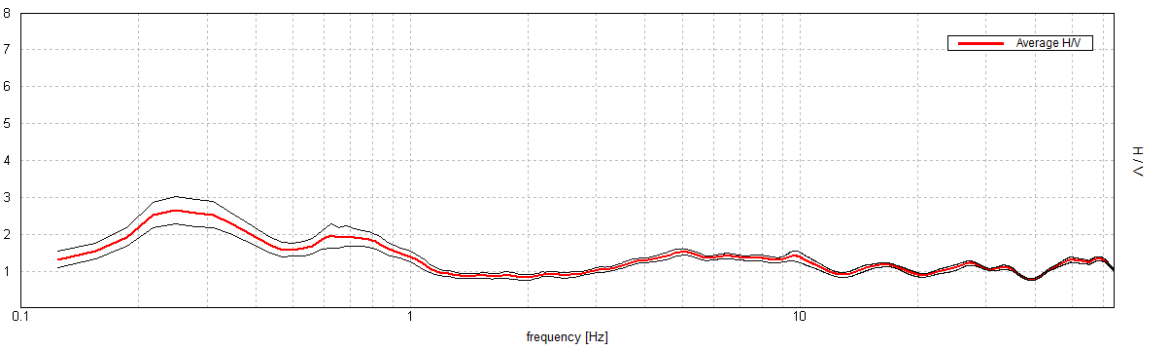
Max. H/V at 0.25 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



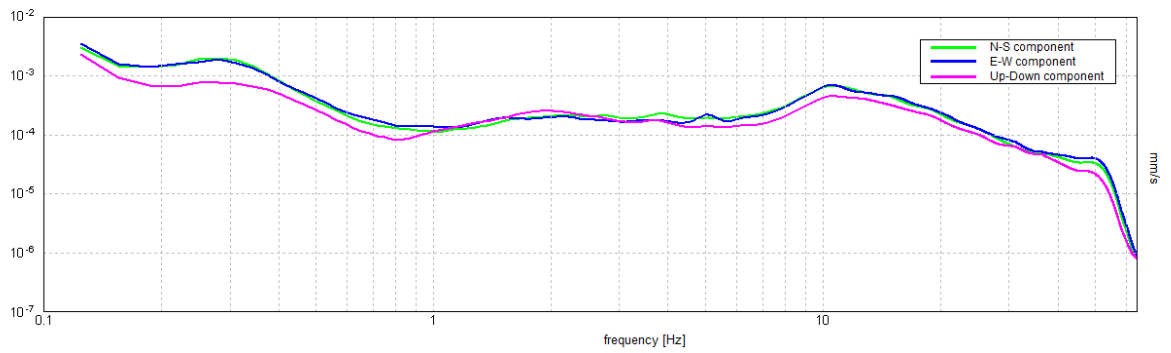
ZGN_233



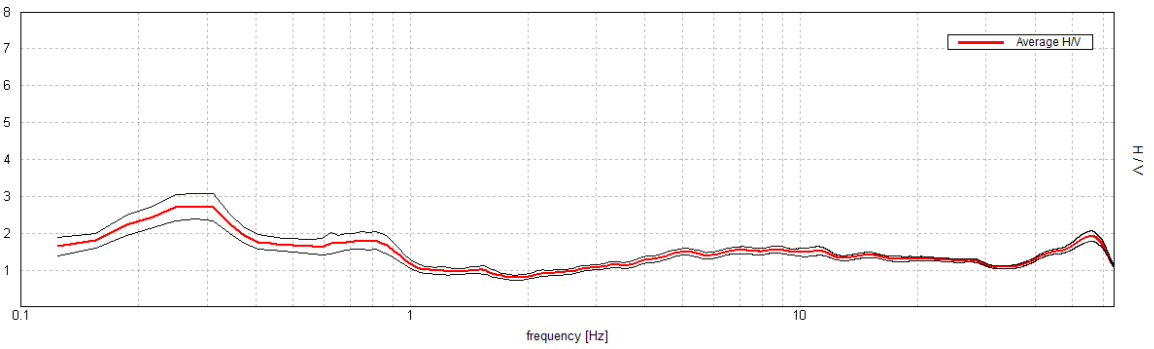
Max. H/V at 0.25 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



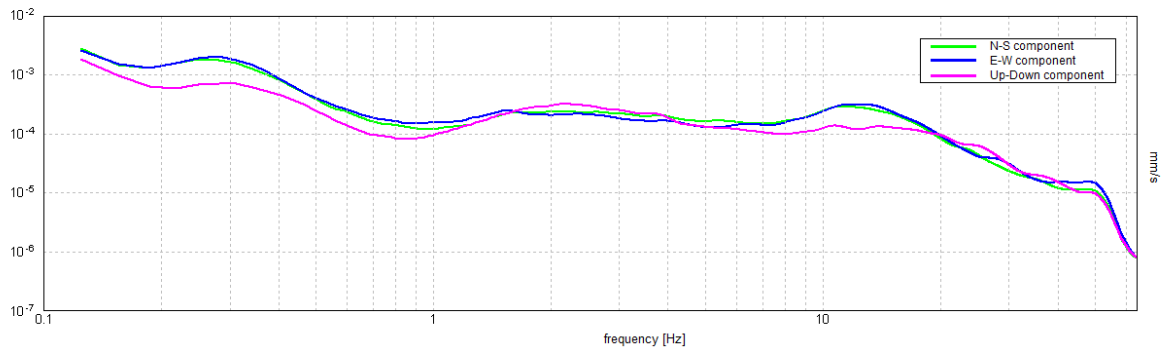
ZGN_234



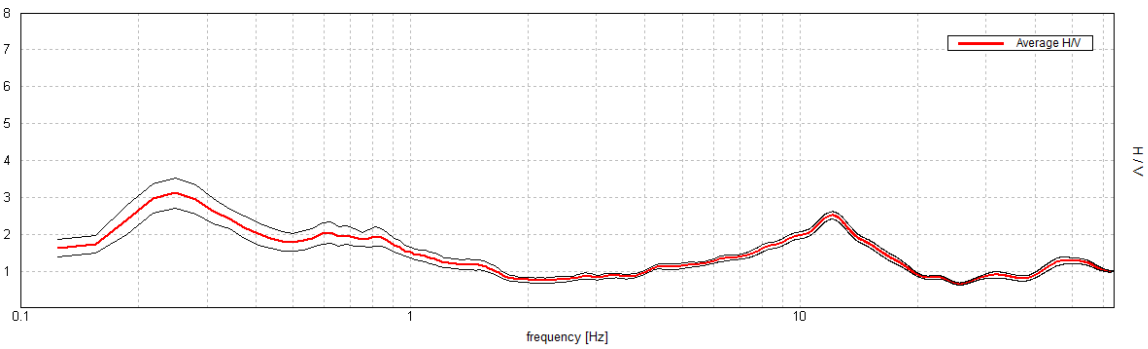
Max. H/V at 0.28 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



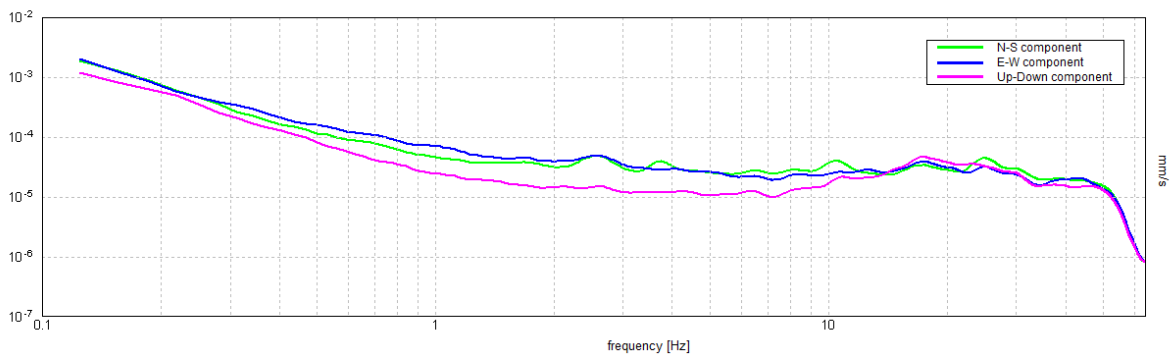
ZGN_235



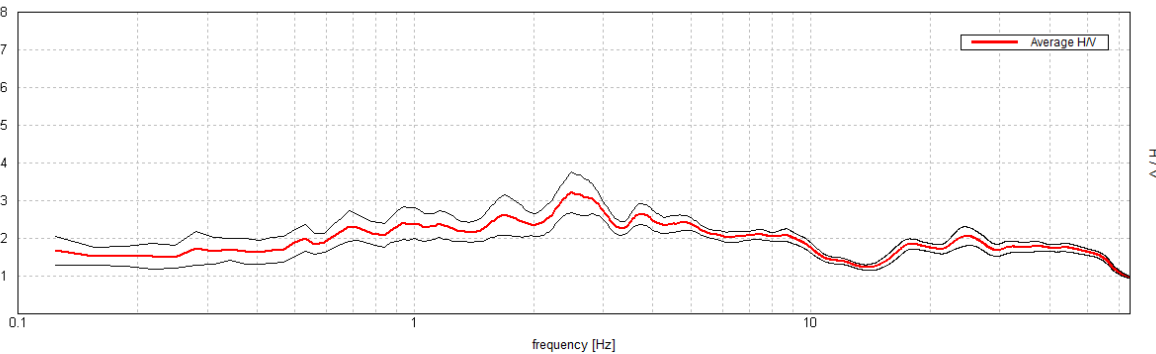
Max. H/V at 0.25 ± 2.36 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



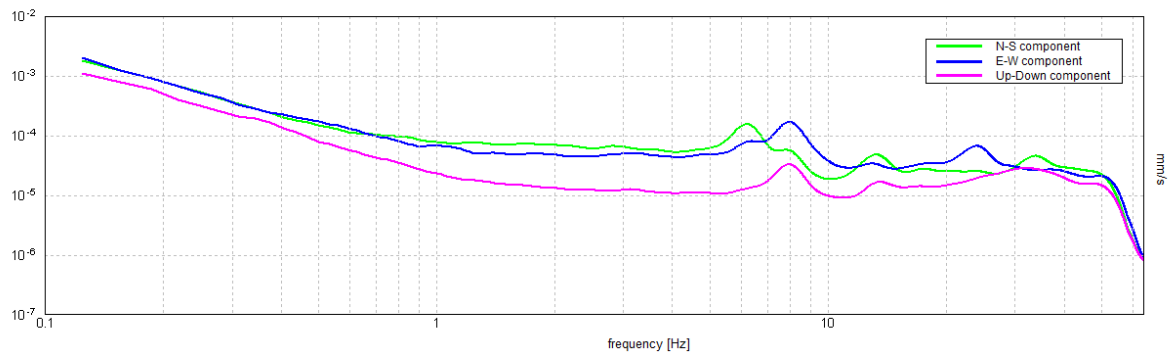
ZGN_236



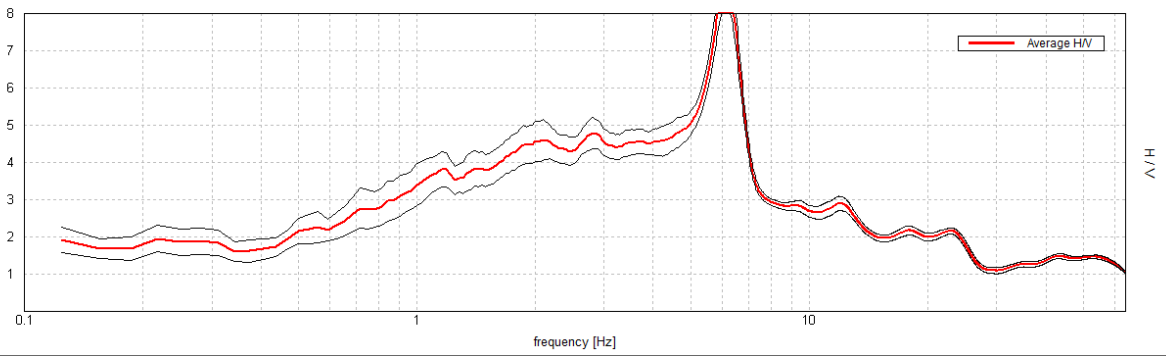
Max. H/V at 2.5 ± 0.7 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



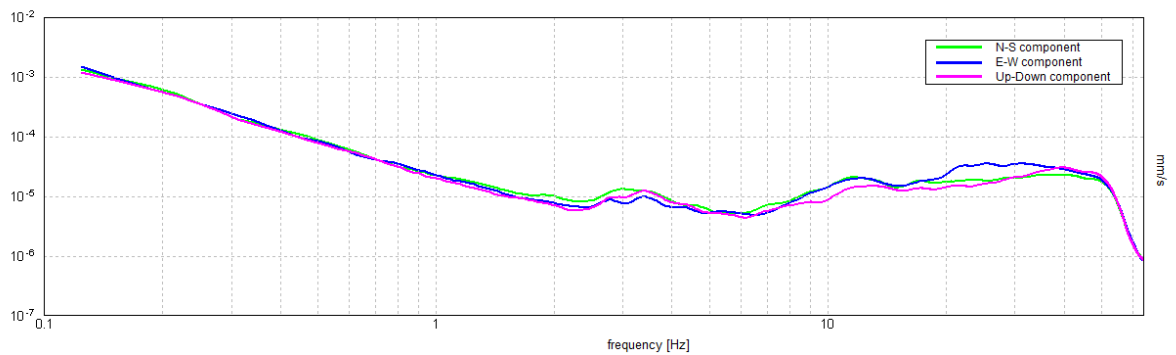
ZGN_237



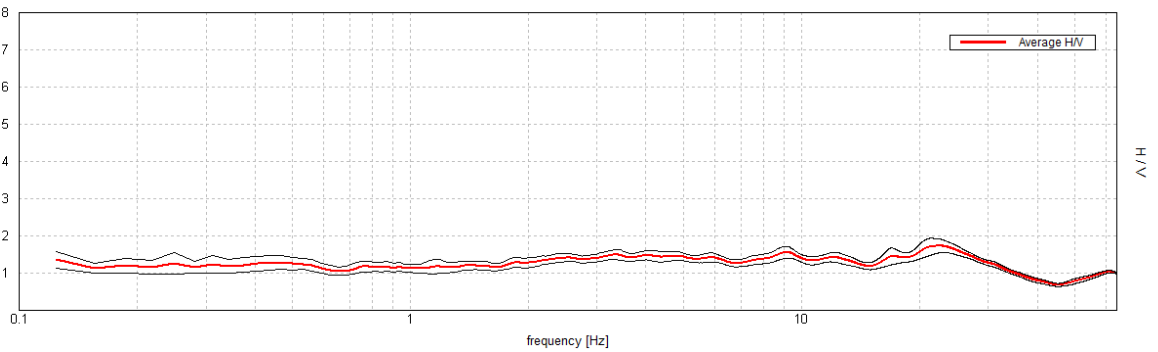
Max. H/V at 6.16 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz)



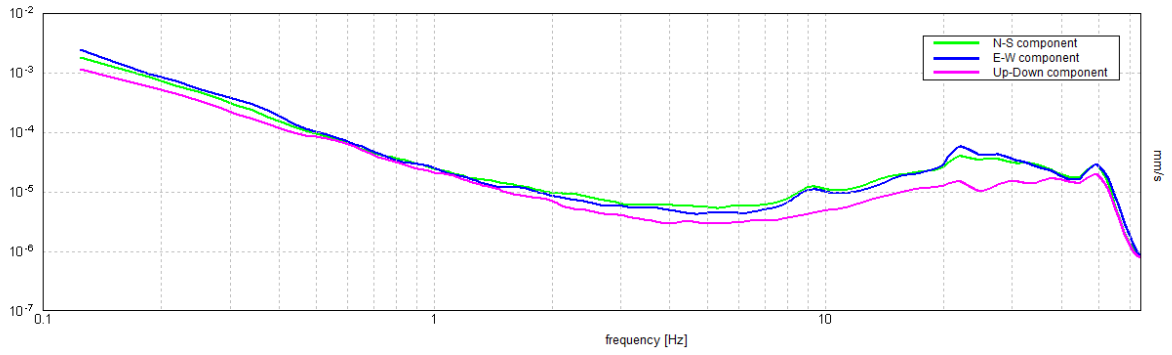
ZGN_238



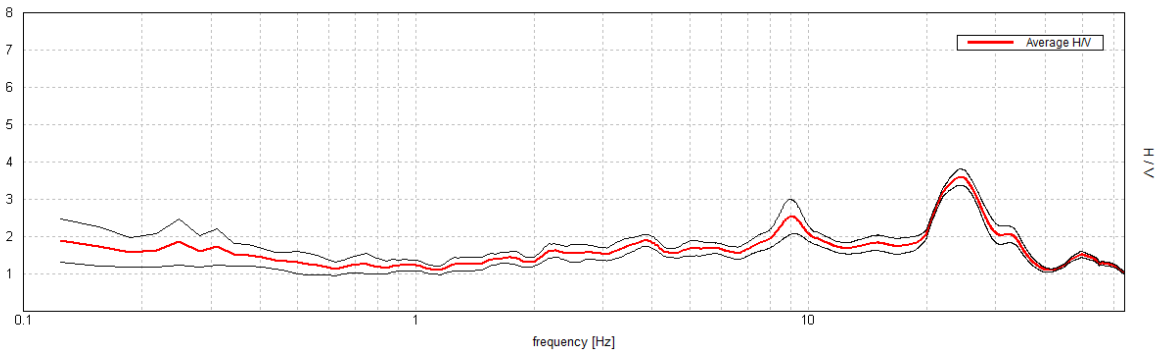
Max. H/V at 22.5 ± 3.07 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz)



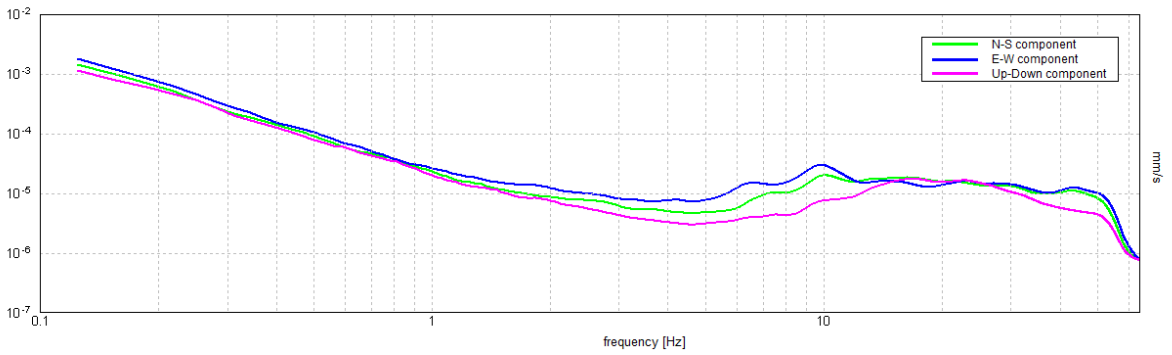
ZGN_239



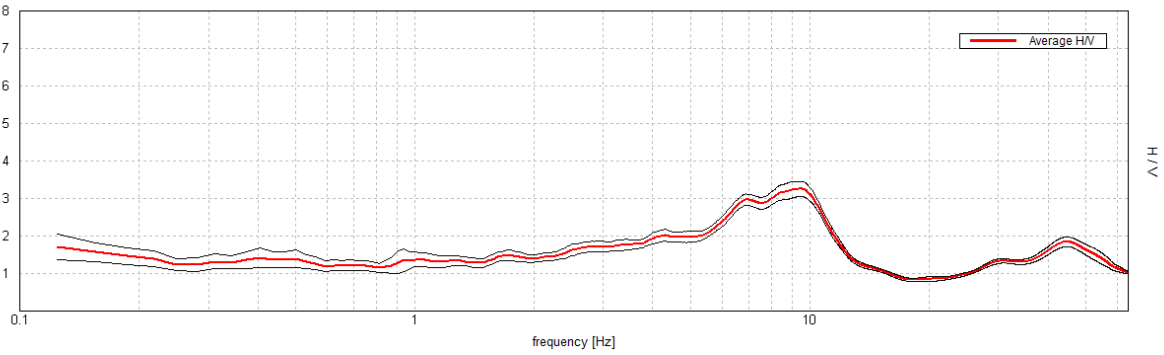
Max. H/V at 24.25 ± 6.55 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



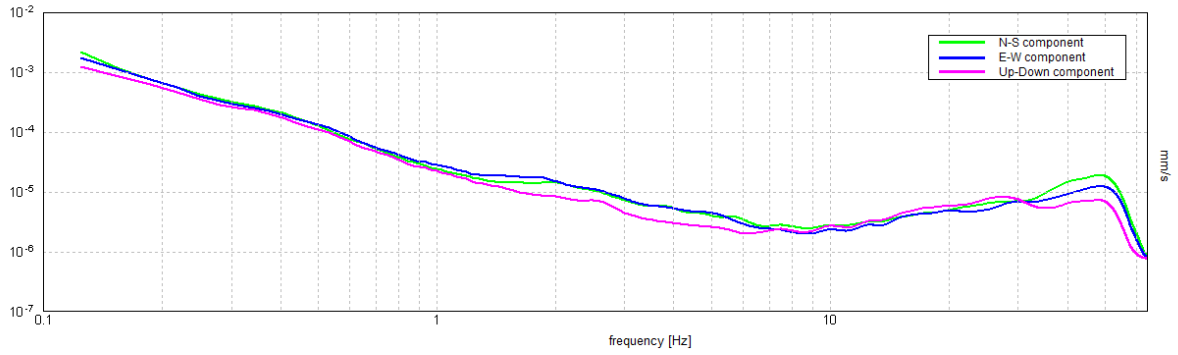
ZGN_240



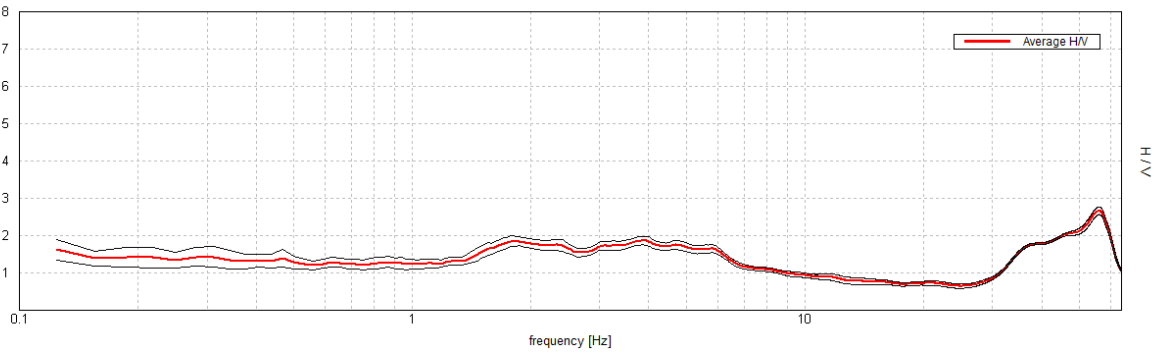
Max. H/V at 9.5 ± 2.47 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



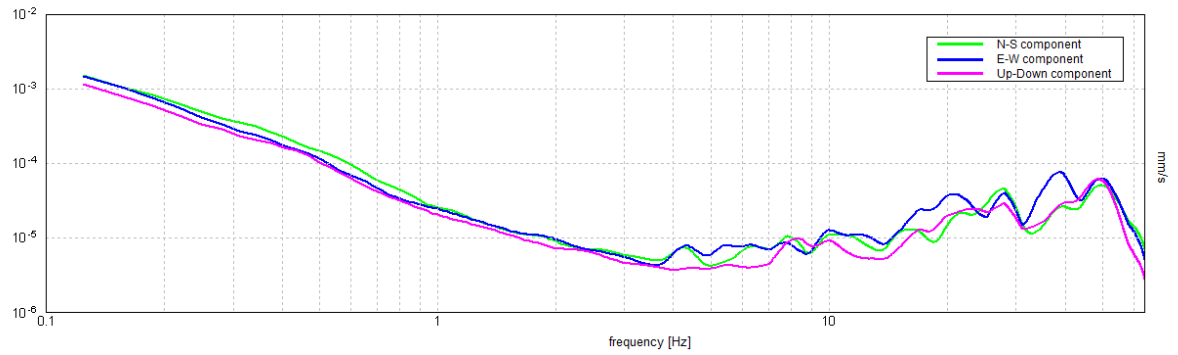
ZGN_241



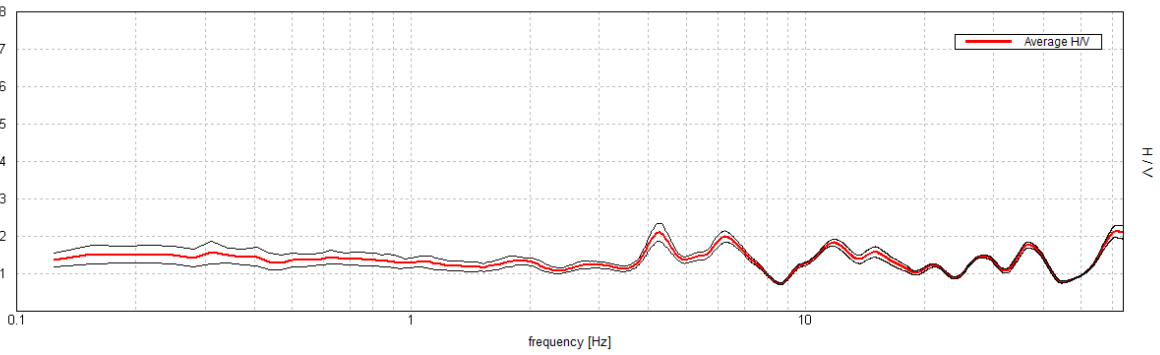
Max. H/V at 55.94 ± 21.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



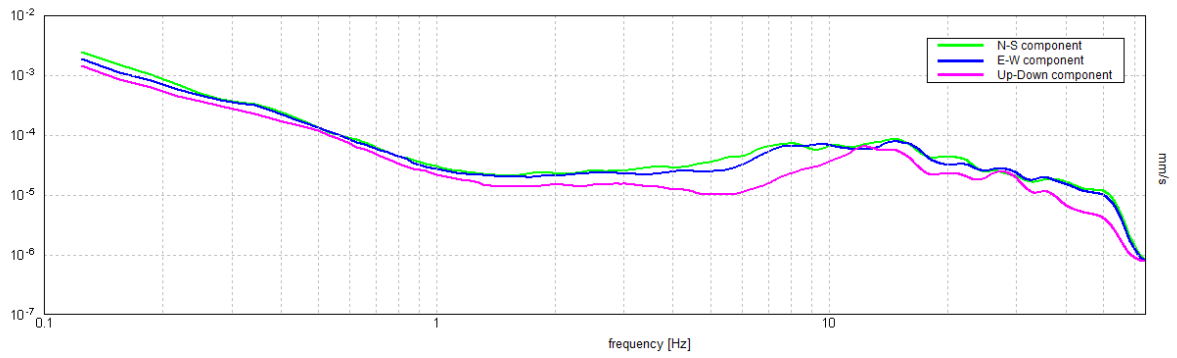
ZGN_242



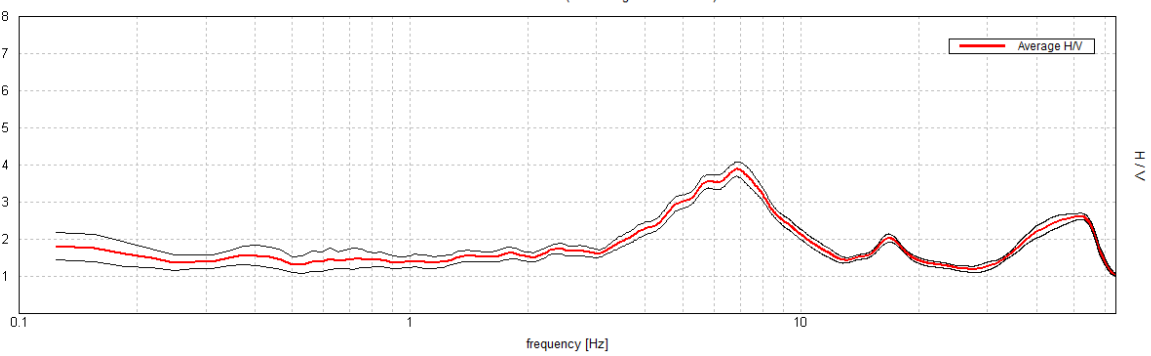
Max. H/V at 61.0 ± 53.99 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



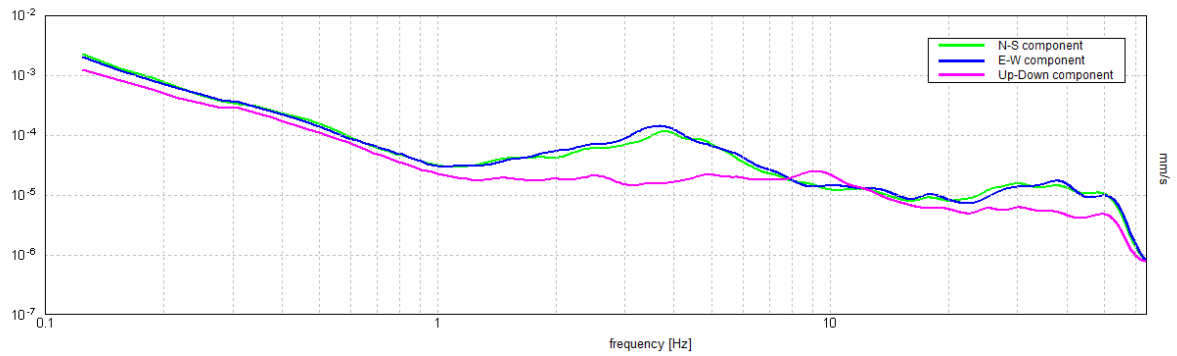
ZGN_243



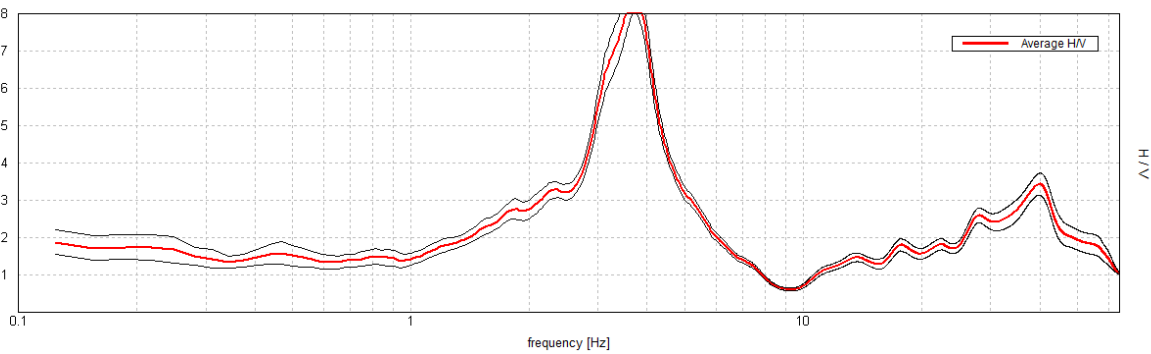
Max. H/V at 6.84 ± 1.8 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



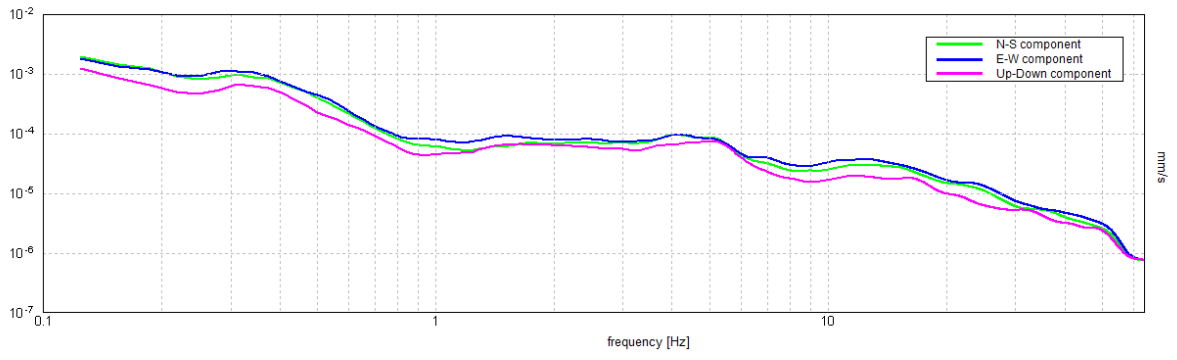
ZGN_244



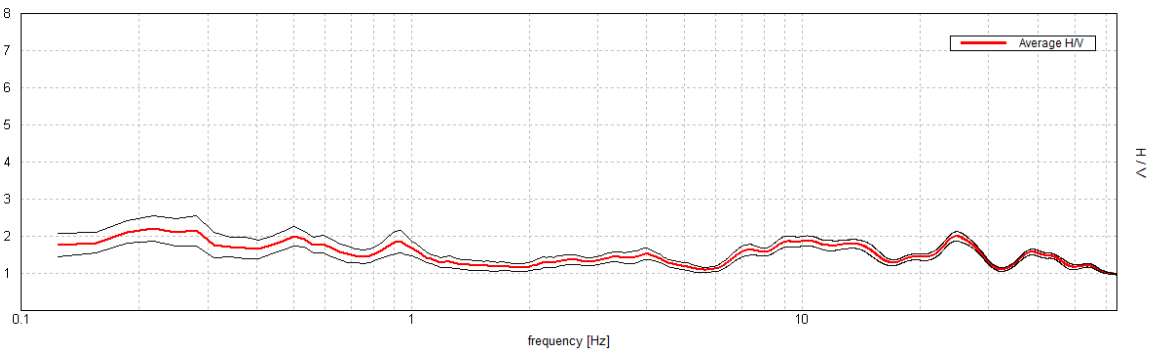
Max. H/V at 3.72 ± 0.18 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



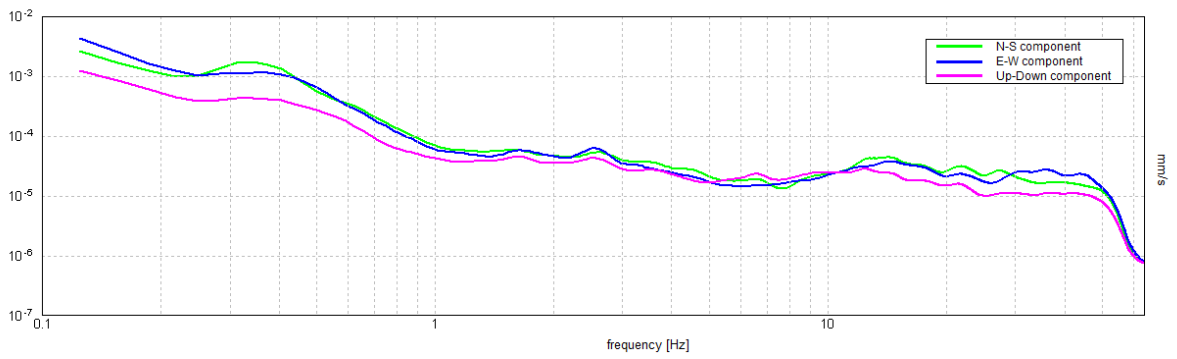
ZGN_245



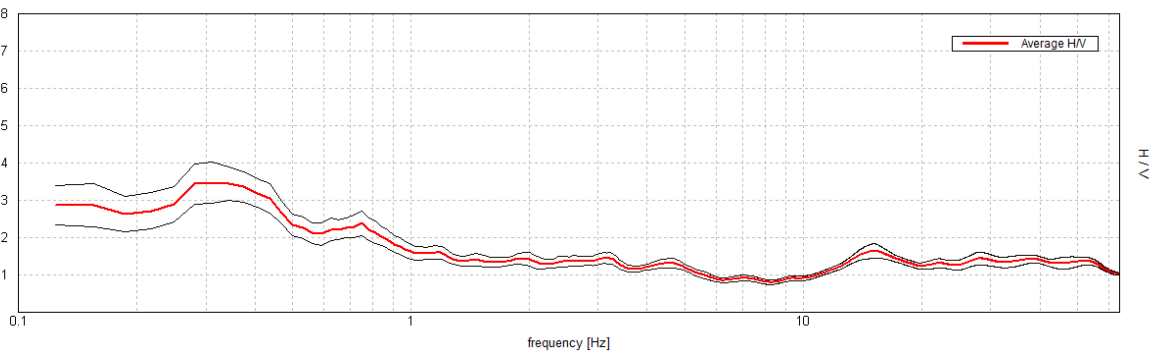
Max. H/V at 0.22 ± 0.08 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



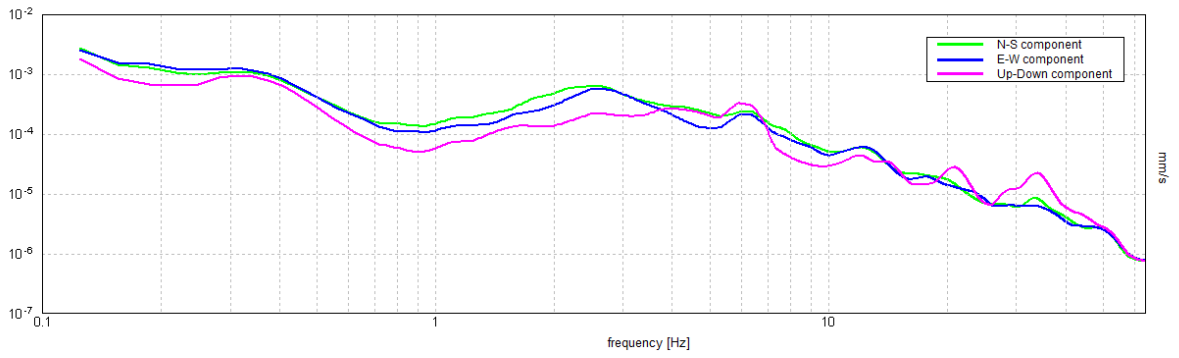
ZGN_246



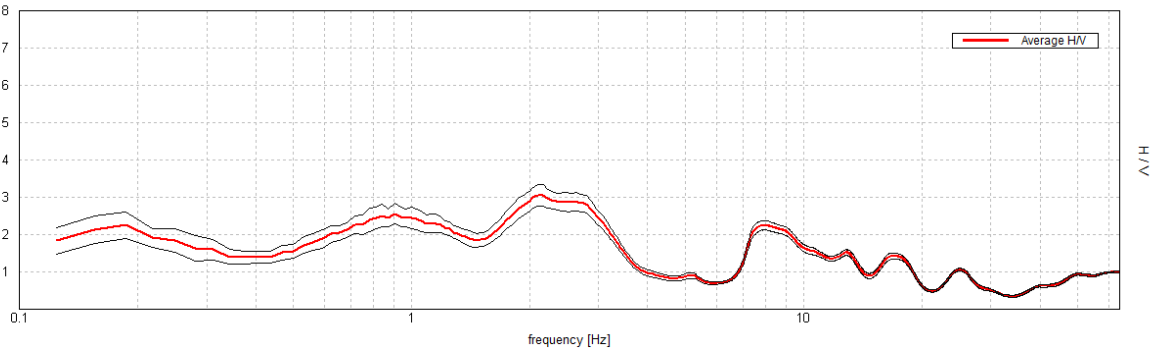
Max. H/V at 0.31 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



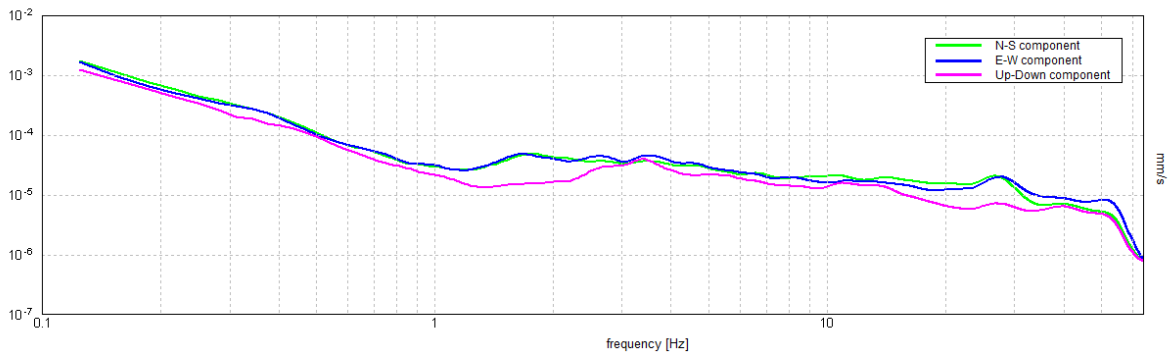
ZGN_247



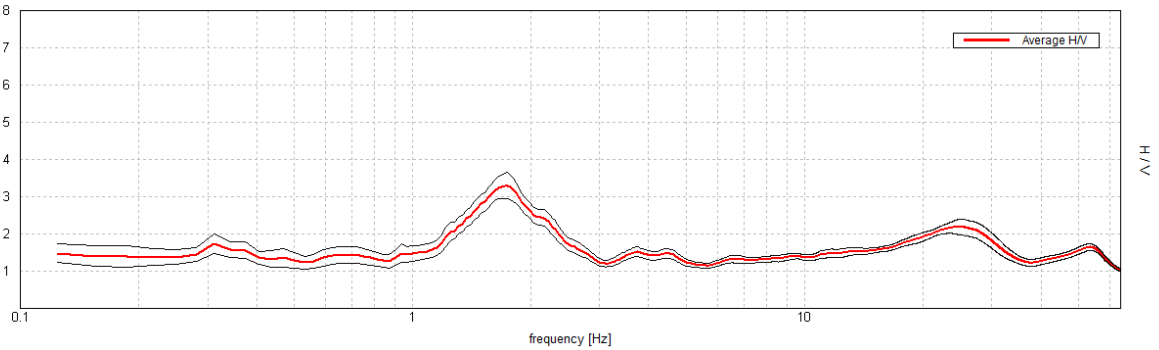
Max. H/V at 2.13 ± 0.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



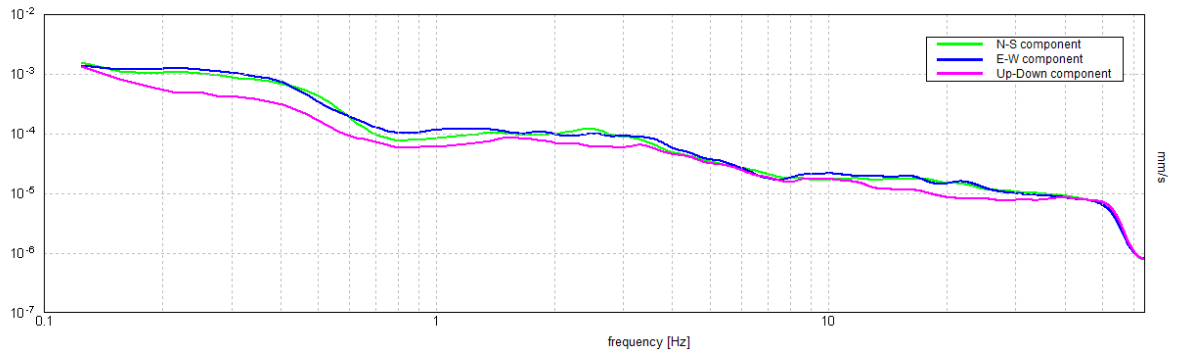
ZGN_248



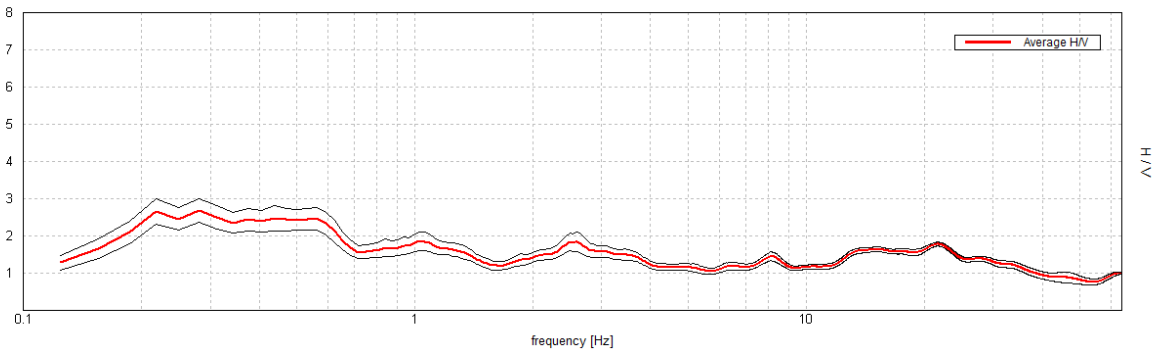
Max. H/V at 1.75 ± 0.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



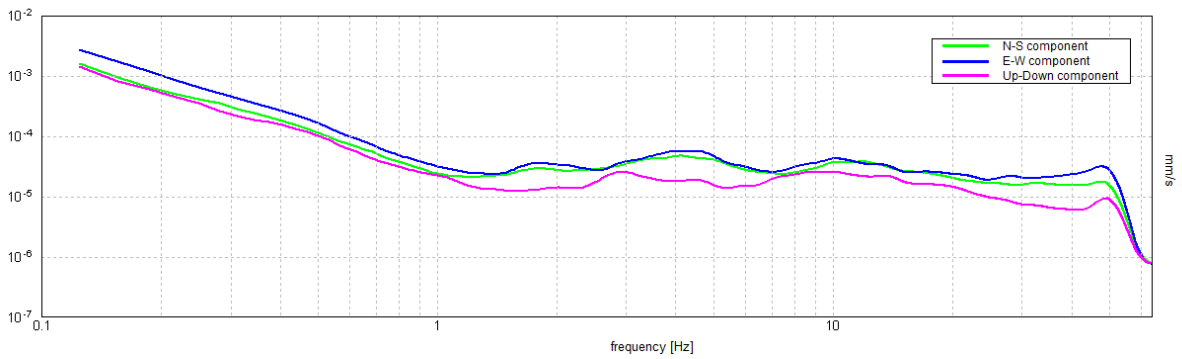
ZGN_249



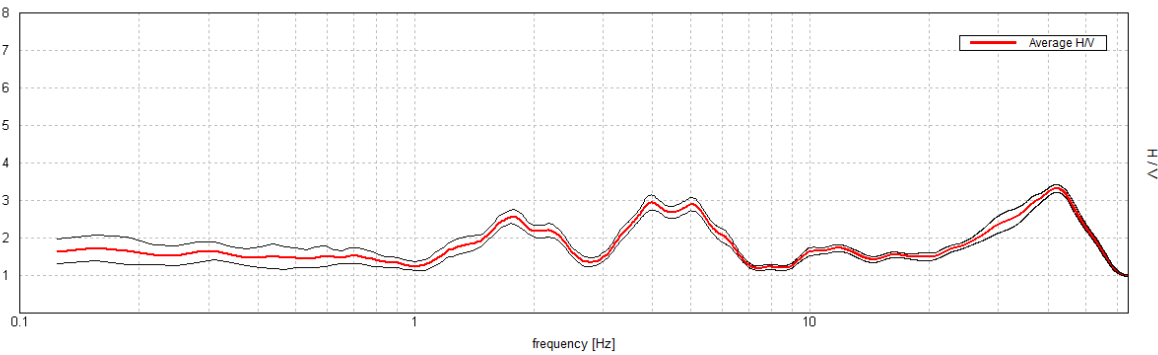
Max. H/V at 0.28 ± 0.45 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



ZGN_250



Max. H/V at 42.19 ± 6.43 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



PRILOG III. POZICIJE TOČAKA HVSR (DIGK)

Točka	X	Y
DH_23_012	469294.8	5087552.0
DH_23_013	468464.2	5087901.7
DH_23_014	469095.1	5086507.5
DH_23_015	470049.1	5086496.6
DH_23_017	464131.0	5077728.9
DH_23_019	464765.8	5078029.1
DH_24_016	464270.5	5076369.0
DH_24_018	463285.2	5077805.8
DH_24_020	466029.9	5080152.8
DH_24_021	466127.2	5078726.7
DH_24_022	467558.1	5079345.9
DH_24_023	467905.9	5079648.4
DH_24_024	468009.6	5078780.3
DH_25_001	470226.3	5081507.2
DH_25_002	470282.9	5082708.4
DH_25_003	470573.2	5083360.1
DH_25_030	472709.2	5087963.9
DH_25_031	472554.5	5085854.4
DH_25_28	466263.6	5079920.3
DH_25_29	464632.1	5079219.8
DH_27_007	470928.5	5084169.6
DH_27_008	470839.0	5081590.7
DH_29_004	470215.2	5084427.0
DH_29_005	470226.7	5085039.0
DH_29_006	470961.7	5083648.9
DH_29_009	471190.9	5082327.3
DH_29_010	471153.2	5082663.1
DH_29_011	472312.5	5081229.0
DH_29_025	463039.6	5076176.1
DH_29_026	463904.5	5081911.1
DH_29_027	464763.3	5081998.0
IA_23_019	463706.8	5079162.2

IA_23_020	464015.9	5080333.7
IA_24_001	472104.1	5084826.6
IA_24_002	472769.6	5085059.1
IA_24_003	473741.0	5084963.9
IA_24_004	472116.5	5083785.2
IA_24_005	473541.5	5082328.1
IA_24_006	473016.7	5082772.0
IA_24_007	472829.3	5083550.7
IA_24_008	471938.1	5083284.4
IA_24_009	471631.5	5082298.0
IA_24_010	472527.2	5080198.7
IA_24_011	472587.2	5083866.3
IA_24_012	472817.1	5082262.7
IA_24_013	472872.0	5080925.4
IA_24_014	471792.4	5079842.5
IA_24_015	471052.7	5080135.4
IA_24_016	469935.8	5078340.0
IA_24_025	466027.5	5077358.2
IA_24_026	468595.1	5076669.9
IA_24_027	468020.0	5078799.1
IA_25_017	459773.3	5074980.1
IA_25_018	460918.3	5079170.6
IA_25_021	464685.0	5081182.3
IA_25_022	464452.6	5081535.7
IA_25_023	464107.0	5081672.3
IA_27_028	471972.5	5080484.2
IA_29_024	465631.1	5084265.2
ID_23_005	456769.7	5077594.1
ID_23_006	456911.1	5075648.0
ID_23_007	456682.7	5076371.5
ID_23_008	456942.0	5076703.7
ID_23_009	456112.2	5075820.0
ID_23_010	455929.0	5076399.6
ID_25_001	456351.8	5077875.0
ID_25_002	455590.8	5077935.4

ID_25_003	455851.9	5078578.6
ID_25_004	455809.4	5079245.6
ID_25_015	464862.0	5076976.0
ID_25_016	465172.9	5077018.2
ID_25_017	465640.5	5077260.5
ID_25_018	464336.6	5077545.0
ID_27_011	455711.6	5077501.0
ID_27_012	455785.8	5076978.5
ID_27_013	456279.0	5075274.8
ID_27_014	455555.7	5075268.3
II_24_001	466129.1	5080854.1
II_24_002	465814.4	5080817.0
II_24_003	465646.3	5081720.3
II_24_004	464582.4	5082694.6
II_24_005	465281.0	5082239.3
II_24_006	466520.2	5081386.8
II_24_007	466259.8	5082215.9
II_24_008	466330.3	5082458.6
II_24_009	465419.2	5083472.0
II_24_010	466167.0	5083293.9
II_24_011	469985.1	5079315.3
II_24_012	469787.9	5079784.1
II_24_013	469266.4	5080512.1
II_24_014	470267.8	5079614.1
II_24_015	470345.9	5080151.7
II_24_016	470385.4	5080925.1
II_24_022	459025.5	5075161.2
II_24_023	458831.8	5075711.0
II_27_017	460603.5	5076257.8
II_27_018	460659.6	5075514.6
II_27_019	460821.0	5075266.5
II_27_020	458330.3	5075105.2
II_27_021	458238.8	5075561.1
II_27_024	459048.2	5076315.0
II_27_025	458175.2	5076541.5

IS_25_010	459278.8	5076767.8
IS_25_011	459340.6	5077448.8
IS_25_012	458976.9	5078054.8
IS_25_013	458621.6	5078470.6
IS_25_014	458300.0	5078601.6
IS_25_015	458299.7	5078217.5
IS_25_016	458503.2	5077761.6
IS_25_017	458561.9	5076786.3
IS_25_018	459037.1	5079236.9
IS_25_019	459238.9	5079653.2
IS_25_020	458499.8	5080611.4
IS_25_021	459192.5	5080267.3
IS_25_022	458504.5	5079905.1
IS_25_023	458166.1	5079197.3
IS_25_024	455207.6	5075163.9
IS_25_025	454936.1	5075777.1
IS_25_026	455202.5	5076385.3
IS_25_027	455300.3	5077061.6
IS_25_028	455235.6	5077507.9
IS_25_029	454937.3	5078131.7
IS_29_001	452624.5	5075195.4
IS_29_002	452445.6	5075735.9
IS_29_003	452552.3	5076463.0
IS_29_004	452637.9	5076810.5
IS_29_005	451546.8	5075329.6
IS_29_006	451453.3	5075572.4
IS_29_007	450758.7	5075765.5
IS_29_008	450885.0	5076258.3
IS_29_009	450715.9	5077426.8
JS_25_030	460661.5	5076788.9
JS_29_001	452823.7	5076210.9
JS_29_002	451728.5	5076535.5
JS_29_003	451769.8	5076925.8
JS_29_004	451752.8	5077299.3
JS_29_005	451002.8	5077148.3

JS_29_007	452630.9	5078040.0
JS_29_008	452677.3	5077310.9
JS_29_009	470158.4	5075816.3
JS_29_010	470422.2	5076494.5
JS_29_011	471080.1	5077335.3
JS_29_012	470927.3	5078408.4
JS_29_013	471083.7	5079066.6
JS_29_014	469912.7	5077806.4
JS_29_015	469562.2	5076980.8
JS_29_016	457427.5	5079708.3
JS_29_017	457135.5	5079123.6
JS_29_018	457028.8	5079355.7
JS_29_019	456884.9	5079683.5
JS_29_020	456397.0	5078681.4
JS_29_021	457105.7	5075195.2
JS_29_022	457152.2	5077032.8
JS_29_023	457445.5	5076354.1
JS_29_024	457326.5	5075609.2
JS_29_025	457696.9	5077329.7
JS_29_026	466155.9	5078499.1
JS_29_027	466673.2	5081328.0
JS_29_028	457106.3	5078850.1
JS_29_029	457044.4	5077952.1
KK_23_024	462508.3	5076539.1
KK_23_014	459882.3	5075508.2
KK_23_015	459654.0	5076190.6
KK_23_016	459796.4	5076956.1
KK_23_017	460092.6	5078561.0
KK_23_018	460235.1	5078798.3
KK_23_019	459841.4	5074768.8
KK_23_020	460014.3	5078916.5
KK_23_021	460048.0	5079646.0
KK_23_022	461116.6	5077267.4
KK_23_023	462000.2	5077341.8
KK_23_025	459441.5	5080317.6

KK_23_026	461806.7	5080780.3
KK_23_027	462125.6	5081832.5
KK_24_004	467333.7	5084543.2
KK_24_005	467800.0	5085082.6
KK_24_006	469018.2	5084336.5
KK_24_007	469732.5	5084447.1
KK_24_008	468048.5	5083935.7
KK_24_009	469296.1	5082941.0
KK_24_010	468630.0	5082199.4
KK_27_001	467576.5	5081337.0
KK_27_002	467167.8	5083592.2
KK_27_003	467612.6	5082508.6
KK_27_011	459828.1	5080983.5
KK_27_012	462236.7	5082740.6
KK_27_013	462388.5	5082195.7
KM_23_023	463015.1	5075673.4
KM_23_024	464069.5	5075997.7
KM_23_025	466200.0	5075468.6
KM_23_026	464635.0	5074525.7
KM_23_027	463581.6	5074465.5
KM_23_028	473950.3	5078214.6
KM_23_029	475157.8	5077217.7
KM_23_030	475892.8	5075504.6
KM_23_031	474948.1	5076121.5
KM_23_032	474320.0	5075961.2
KM_23_033	473581.8	5076915.3
KM_24_017	461600.5	5077896.5
KM_24_018	461338.9	5077438.3
KM_24_019	461257.4	5074807.2
KM_24_020	461206.1	5075799.4
KM_24_021	461536.1	5076647.4
KM_24_022	461528.8	5078711.0
KM_25_004	466754.8	5084023.0
KM_25_005	467204.2	5084300.6
KM_25_006	468545.5	5084038.4

KM_25_007	469139.4	5084131.2
KM_25_008	468824.4	5083658.0
KM_25_009	469664.0	5083412.2
KM_25_010	469715.9	5082607.1
KM_27_011	459430.4	5075575.7
KM_27_012	459369.3	5077486.3
KM_27_013	461317.6	5075985.4
KM_29_001	466670.6	5081672.1
KM_29_002	466585.1	5083028.0
KM_29_003	467012.3	5082395.8
KM_29_014	461192.0	5081493.0
KM_29_015	463224.8	5082790.1
KM_29_016	463224.5	5082237.0
MH_23_017	463959.5	5077121.0
MH_23_018	464262.8	5078731.7
MH_24_001	470362.1	5082023.8
MH_24_002	469968.3	5082094.2
MH_24_003	470527.0	5083348.0
MH_24_013	470442.4	5087627.4
MH_24_014	469443.5	5085672.8
MH_24_015	470076.1	5086287.0
MH_24_016	463792.4	5077119.1
MH_24_019	465540.7	5079241.8
MH_24_020	466295.5	5079484.7
MH_24_021	467088.5	5078734.6
MH_24_022	467202.6	5080172.8
MH_24_023	468192.1	5079124.0
MH_24_024	468175.5	5077973.0
MH_25_029	473487.8	5087506.1
MH_25_030	472616.4	5087123.4
MH_25_031	473524.8	5085806.1
MH_25_27	465472.5	5079710.2
MH_25_28	466209.7	5079126.2
MH_27_004	470275.1	5083939.8
MH_27_005	470221.0	5084683.0

MH_27_006	470907.8	5083547.8
MH_27_008	471227.0	5084885.1
MH_27_010	471142.8	5082320.2
MH_27_011	471614.2	5082922.4
MH_27_012	472145.1	5081953.3
MH_29_007	470683.7	5084449.2
MH_29_009	470910.7	5081837.4
MH_29_025	462906.1	5076473.6
MH_29_026	463765.7	5083200.0
SM_25_035	454003.9	5076795.9
SM_25_036	454203.7	5077421.3
SM_25_037	454306.2	5077814.4
SM_27_001	450321.3	5075483.7
SM_27_002	450030.3	5075542.1
SM_27_003	450010.2	5075799.6
SM_27_004	449508.3	5075705.0
SM_27_005	449679.7	5076046.9
SM_27_006	450326.2	5076169.8
SM_27_007	450428.0	5077433.2
SM_27_008	450468.1	5076856.3
SM_27_009	449799.6	5076360.7
SM_27_010	448990.0	5075593.7
SM_27_011	450093.0	5077331.4
SM_27_012	449841.6	5076944.1
SM_27_013	449664.9	5077013.4
SM_27_014	449487.2	5076821.7
SM_27_015	449414.1	5076391.9
SM_27_016	448799.8	5076222.4
SM_27_017	448543.6	5075792.1
SM_27_018	471067.0	5085738.3
SM_27_019	471214.1	5086376.7
SM_27_020	471036.2	5086917.1
SM_27_021	470894.8	5087268.9
SM_27_022	471962.6	5085756.5
SM_27_023	472133.5	5086174.3

SM_27_024	471806.8	5087045.7
SM_27_025	471656.8	5087524.6
SM_27_026	453588.2	5075164.3
SM_27_027	453496.5	5075658.1
SM_27_028	453298.5	5076140.9
SM_27_029	453366.1	5076811.8
SM_27_030	453429.3	5077460.8
SM_27_031	453136.2	5077940.4
SM_27_032	454310.4	5075111.7
SM_27_033	454140.7	5075609.0
SM_27_034	454121.1	5076324.5
SP_24_032	465368.5	5078488.8
SP_24_033	465470.4	5077946.8
SP_24_034	466433.4	5078094.8
SP_24_035	467005.1	5077915.0
SP_27_001	448373.1	5078269.0
SP_27_002	448308.4	5078074.1
SP_27_003	448179.2	5077531.4
SP_27_005	448026.0	5077683.3
SP_27_006	447968.1	5077316.3
SP_27_007	448077.9	5077090.2
SP_27_008	448077.9	5077090.2
SP_27_009	448468.4	5077060.9
SP_27_010	448320.2	5076836.6
SP_27_011	448462.5	5076533.8
SP_27_012	471130.1	5075893.1
SP_27_013	470974.9	5076687.2
SP_27_014	470030.4	5077359.1
SP_27_015	471237.7	5078004.5
SP_27_016	469736.4	5078004.7
SP_27_017	469831.9	5078988.1
SP_27_018	469214.0	5077298.4
SP_27_019	472762.7	5079049.1
SP_27_020	471938.3	5079038.6
SP_27_021	472518.7	5078466.5

SP_27_022	471864.6	5078522.8
SP_27_023	471816.5	5077401.5
SP_27_024	471712.2	5076799.4
SP_27_025	472733.4	5076584.1
SP_27_026	472683.6	5077340.2
SP_27_027	471896.5	5078944.3
SP_27_028	471848.6	5077402.9
SP_27_029	470091.4	5077360.9
SP_27_030	448479.4	5077056.7
SP_27_031	448992.4	5075935.7
TF_25_001	471932.3	5084892.9
TF_25_002	472877.8	5084271.0
TF_25_003	474041.1	5084112.1
TF_25_004	472315.3	5083717.4
TF_25_005	473173.9	5082942.1
TF_25_006	473173.9	5082942.1
TF_25_007	473112.4	5083714.4
TF_25_008	471778.5	5084214.6
TF_25_009	472444.4	5082920.8
TF_25_010	472217.9	5081247.8
TF_25_011	472512.4	5084518.9
TF_25_012	472533.4	5084518.5
TF_25_013	472533.7	5084426.5
TF_25_014	472771.1	5084394.0
TF_25_015	472724.5	5083777.7
TF_25_016	473125.4	5081583.8
TF_25_017	472924.5	5080102.3
TF_25_018	470744.6	5079866.2
TF_25_019	469953.7	5077059.4
TF_25_020	466071.0	5076163.1
TF_25_022	466262.5	5076986.7
TF_25_023	468573.5	5077221.4
TF_27_024	472220.1	5081896.8
TF_27_025	472146.9	5084706.8
TF_29_021	464619.5	5080145.3

TF_29_026	472000.1	5080940.8
TR10-1	466124.3	5083984.4
TR10-11-1	467578.4	5079241.9
TR10-1a	466206.3	5082971.2
TR10-2	465922.9	5082258.8
TR10-2a	466268.5	5082137.0
TR10-3	466184.0	5081367.6
TR10-3a	466061.6	5080613.0
TR10-4	466260.1	5080177.7
TR10-4a	466269.2	5079785.6
TR10-5	466182.5	5078864.0
TR10-6	466185.9	5077330.4
TR10-6a	466001.2	5076811.5
TR10-7plin	466126.9	5076154.1
TR11-1	468233.0	5083732.2
TR11-1a	468224.6	5083902.6
TR11-2-300	468766.4	5081624.1
TR11-2a	468272.5	5075909.1
TR11-2odb	468113.8	5082036.0
TR11-3-300	467931.6	5081470.9
TR11-3a-300	468032.4	5080705.8
TR11-4	467871.7	5079127.2
TR11-4a	468574.9	5080262.2
TR11-5	468081.2	5077993.0
TR11-5a	467860.6	5078454.9
TR11-6	468077.2	5076461.7
TR11-6a	468133.8	5077073.6
TR12-1	470232.4	5087911.2
TR12-1-a	470214.2	5087265.0
TR12-2	470374.5	5086827.7
TR12-2-a	470196.1	5084852.4
TR12-3	470111.2	5084261.3
TR12-3a	470197.5	5083882.0
TR12-3a-300	470107.8	5083845.2
TR12-4	470112.8	5082968.9

TR12-4a	470219.5	5081971.1
TR12-5	470181.4	5081279.2
TR12-5a	470098.9	5080308.9
TR12-6	470060.4	5079271.5
TR12-6a	469716.4	5078533.7
TR12-7	470017.7	5077822.9
TR12-7a	469954.1	5076478.1
TR13-1	472474.0	5087806.4
TR13-2	472371.9	5086814.9
TR13-3	472181.8	5085815.8
TR13-4	471855.3	5084129.6
TR13-5	472065.5	5082903.9
TR13-5a	472137.5	5082163.4
TR13-6	472030.7	5081197.0
TR13-7	472144.4	5080424.0
TR13-7a	472123.7	5078964.0
TR13-8	472386.3	5077600.6
TR13-8a	472326.1	5077094.8
TR13-9	472055.8	5076254.6
TR14-1	473880.4	5077897.2
TR14-1a	474256.4	5077113.6
TR14-2	474101.4	5076009.6
TR6-1	457838.1	5079917.8
TR6-1a	457261.6	5080111.9
TR6-1a-300	457442.4	5079926.6
TR6-2	458111.5	5078266.4
TR6-2a	457960.8	5079212.1
TR6-3a	458301.4	5077388.8
TR6-4	457961.4	5075083.8
TR6-7-DP-3	459274.2	5076236.7
TR6-DP3-300	459321.9	5076471.7
TR6-PRT	457873.4	5075484.7
TR7-1	459894.6	5080313.3
TR7-1a	459917.6	5079598.0
TR7-2	459955.0	5078350.2

TR7-2a	460064.2	5077864.2
TR7-3	460323.6	5077129.4
TR7-3a	460078.1	5075981.6
TR7-3a-300	460303.9	5076063.7
TR7-3b	460140.1	5076506.8
TR7-4	459914.5	5075464.1
TR7-8-1k	460730.8	5076310.7
TR7-8-2	461316.6	5077344.9
TR8-1	461854.7	5082713.1
TR8-1a	462025.9	5082151.9
TR8-2	462184.9	5081033.4
TR8-2a	461570.6	5079953.0
TR8-2a-300	461169.5	5079631.5
TR8-3	462029.6	5079420.7
TR8-3a	462093.1	5078747.2
TR8-4	461893.5	5077856.0
TR8-4a	462109.1	5076721.4
TR8-5	461941.7	5076049.6
TR8-9-1	462782.3	5078009.4
TR8-9-2	463323.9	5079316.6
TR8-ZL1	462774.3	5075950.4
TR9-1	464368.8	5083208.3
TR9-10-1	465435.5	5081453.3
TR9-10-2	465372.6	5083167.7
TR9-1a	464138.2	5082303.6
TR9-2	464064.4	5081505.9
TR9-2aodb	464084.3	5080498.6
TR9-3	464116.4	5079167.8
TR9-4	464124.6	5078277.3
TR9-5	464087.8	5076262.4
VK_23_001	462863.9	5076941.5
VK_23_002	462957.2	5077330.9
VK_23_003	459945.6	5080743.2
VK_23_004	462946.0	5081470.0
VK_23_005	462992.4	5080694.0

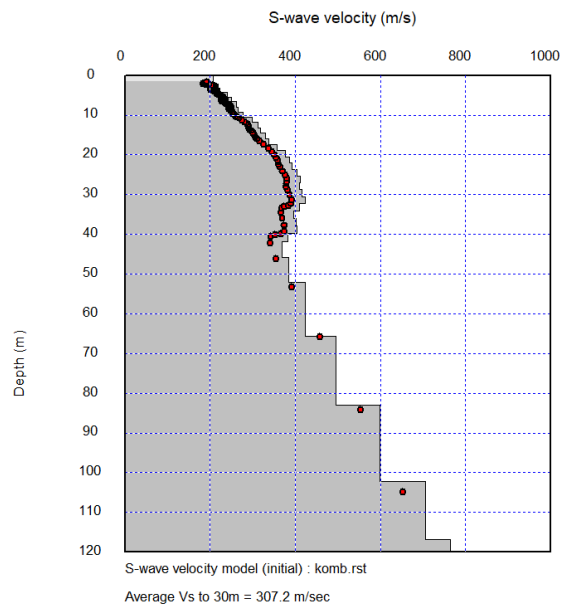
VK_23_006	463028.0	5080460.3
VK_23_007	463107.5	5078672.4
VK_23_008	462693.0	5079081.2
VK_23_009	460827.7	5080043.5
VK_23_010	460411.7	5080583.4
VK_23_011	461019.8	5080526.0
VK_23_012	461284.2	5080118.9
VK_23_013	461631.7	5079715.3
VK_23_014	462317.1	5078929.3
VK_23_015	462117.7	5078593.9
VK_23_016	459872.4	5077590.9
VK_23_017	459712.2	5078011.0
VK_23_018	460837.8	5077602.7
VK_23_019	460893.0	5078249.9
VK_23_020	462327.4	5075379.3
VK_23_022	467929.1	5080673.2
VK_23_023	468724.0	5081137.4
VK_23_024	468770.2	5081408.6
VK_23_025	467135.4	5076915.3
VK_23_027	468037.8	5077246.5
VK_23_028	466886.6	5077411.1
VK_23_029	459831.5	5079144.0
VK_23_030	460669.7	5078772.2
VK_23_031	462301.4	5078199.4
VK_23_032	461616.9	5079192.5
ZGPS_22_03a	460861.5	5080569.0
ZGPS_22_04	460361.3	5080028.3
ZGPS_22_04a	461204.5	5080722.6
ZGPS_22_05	459828.0	5079328.1
ZGPS_22_05a	462181.9	5081104.3
ZGPS_22_06	459862.3	5079557.5
ZGPS_22_06a	462135.0	5080735.1
ZGPS_22_07	459514.4	5079674.1
ZGPS_22_07a	462652.8	5081675.6
ZGPS_22_08	459846.2	5080298.0

ZGPS_22_08a	461108.0	5079844.2
ZGPS_22_09	459491.4	5080044.6
ZGPS_22_09a	461096.1	5080274.5
ZGPS_22_10a	461469.1	5079897.4
ZGPS_22_11a	461511.4	5079486.5
ZGPS_22_12a	460210.6	5078930.8
ZGPS_22_14a	460813.7	5079089.5
ZGPS_22_15a	460849.2	5079378.9
ZGPS_22_16a	460796.9	5080320.1
ZGPS_22_17a	460514.3	5080185.4
ZGPS_22_18a	460553.1	5080654.8
ZGPS_22_19a	460315.4	5080779.3
ZGPS_22_20a	461102.7	5080094.3
ZGPS_22_21a	461815.8	5079720.9
ZGPS_22_23a	461911.3	5080009.1
ZGPS_22_24a	462088.1	5079835.8
ZGPS_22_25a	462016.2	5079737.1
ZGPS_22_26a	461027.7	5078765.4
ZGPS_22_27a	460541.5	5078974.6
ZGPS_22_28a	461990.1	5080477.8
ZGPS_22_29a	461996.5	5080817.7
ZGPS_22_30a	461834.4	5080710.7
ZGPS_22_31a	461499.6	5080987.1
ZGPS_22_32a	461542.9	5081166.3
ZGPS_22_33a	461596.5	5081355.4
ZGPS_22_34a	461173.5	5079072.8
ZGPS_24_03	461270.8	5079461.0
ZGPS_24_04	460909.3	5079917.9
ZGPS_24_05	459794.8	5081289.2
ZGPS_24_06	459913.5	5080686.8
ZGPS_24_07	462053.2	5081706.9
ZGPS_24_08	461871.2	5081600.3
ZGPS_24_09	459753.1	5081730.1
ZGPS_24_45	461346.4	5080289.8
ZGPS_24_46	461149.3	5080443.5

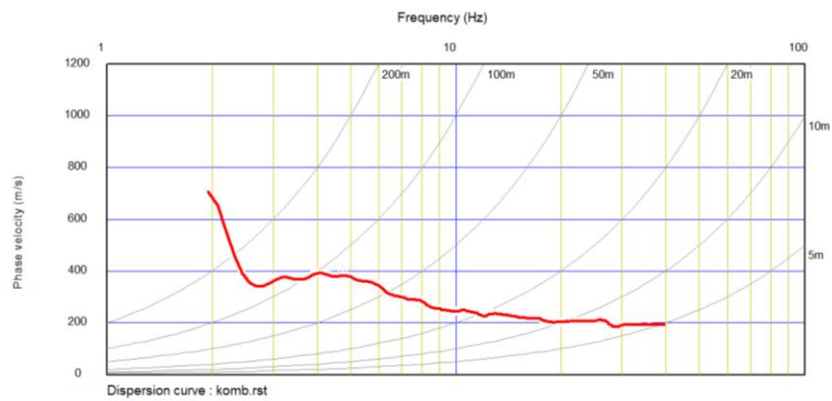
ZGPS_24_47	461427.5	5080348.3
ZGPS_24_48	460864.3	5079648.7
ZGPS_24_49	460709.2	5079911.7
ZGPS_25_04	461250.1	5079421.4
ZGPS_25_05	461227.8	5079301.8
ZGPS_25_26	460524.3	5079655.1
ZGPS_25_27	460724.0	5080171.5
ZGPS_25_31	461737.0	5079782.4
ZGPS_25_33	461727.5	5080342.7
ZGPS_26_04	461158.2	5079323.1
ZGPS_26_07	460609.7	5079943.6
ZGPS_26_08	460239.0	5079910.5
ZGPS_26_09	459706.4	5079780.5
ZGPS_26_10	460009.0	5079914.8
ZGPS_26_11	460133.1	5080662.7
ZGPS_26_12	461173.2	5081183.3
ZGPS_26_13	461602.8	5080625.1
ZGPS_26_14	462526.2	5081327.9
ZGPS_26_15	460685.8	5079202.0
ZGPS_26_16	460358.3	5079338.1
ZGPS_26_17	460173.8	5079631.7
ZGPS_26_18	460683.1	5079592.1
ZGPS_26_36	461431.3	5080018.2
ZGPS_26_37	461552.6	5080085.9
ZGPS_26_38	461326.1	5079740.1
ZGPS_26_39	461349.1	5079899.7
ZGPS_28_04	461128.6	5079343.7

PRILOG IV. MASW-MAM PROFILI

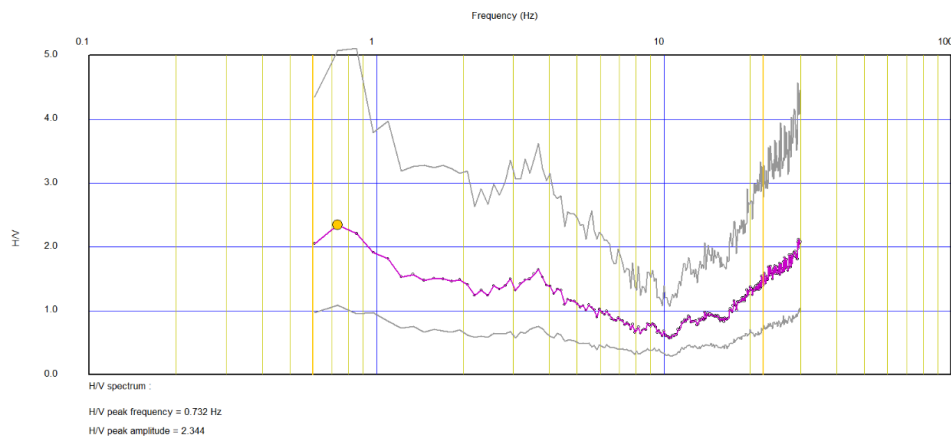
Geofizički profil ZGP_1



a. 1D model brzina

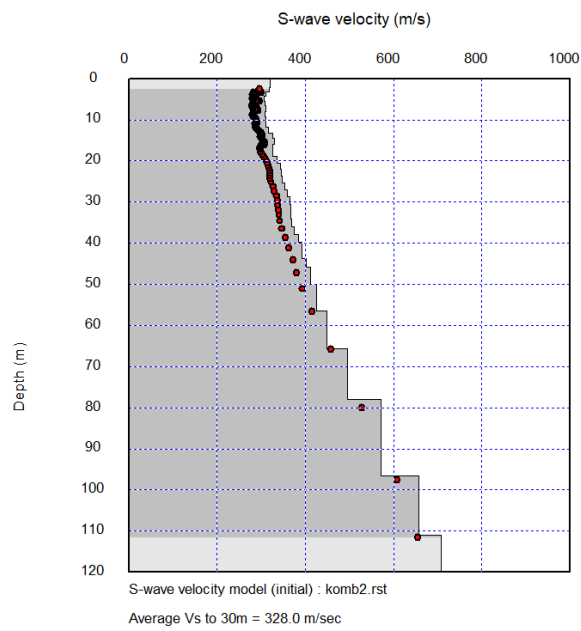


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

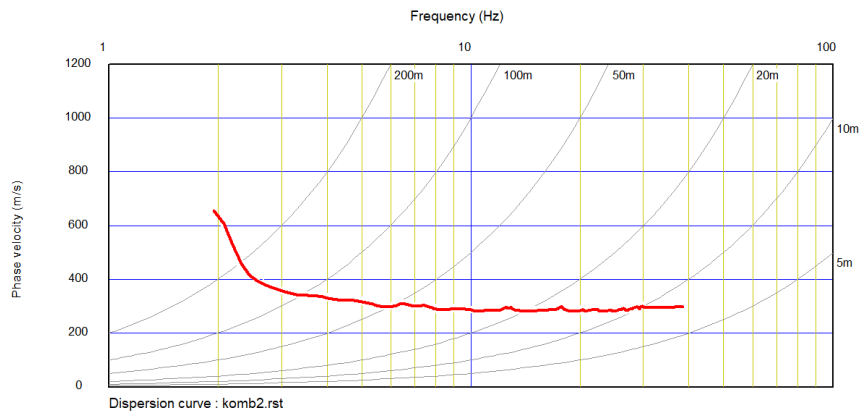


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

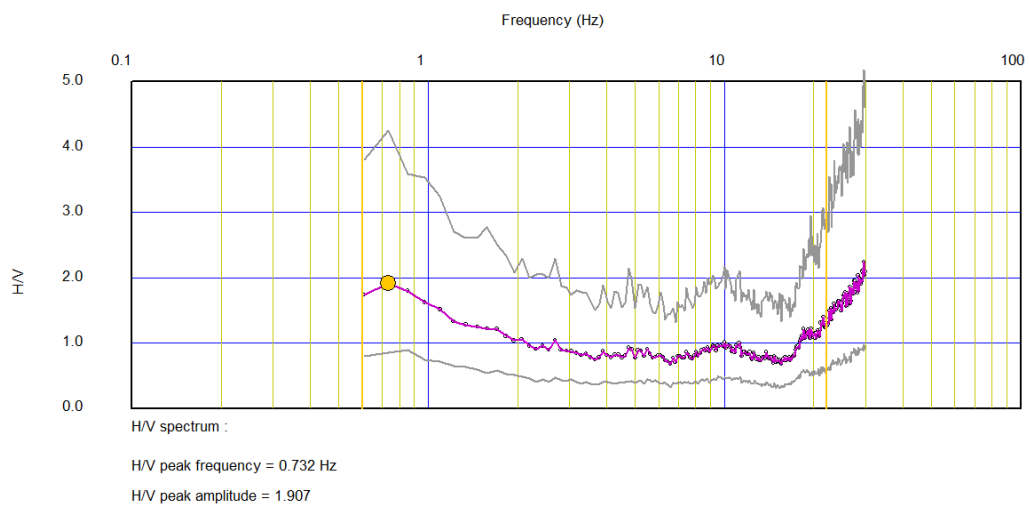
Geofizički profil ZGP_2



a. 1D model brzina

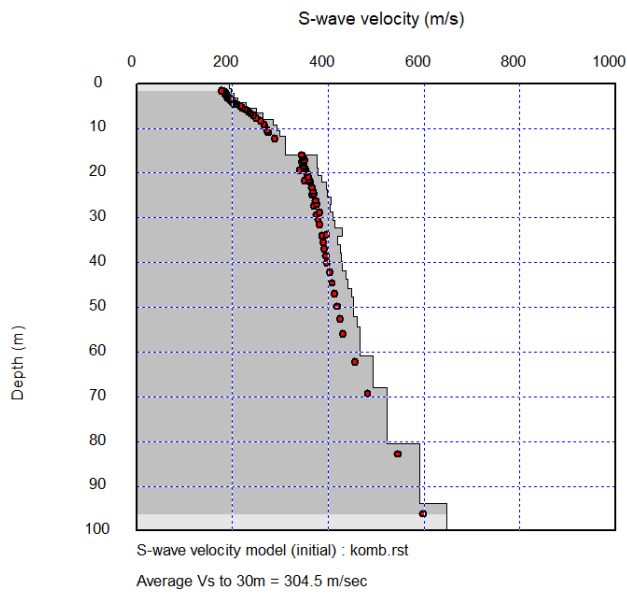


b. disperzijska krivulja MASW mjerjenja

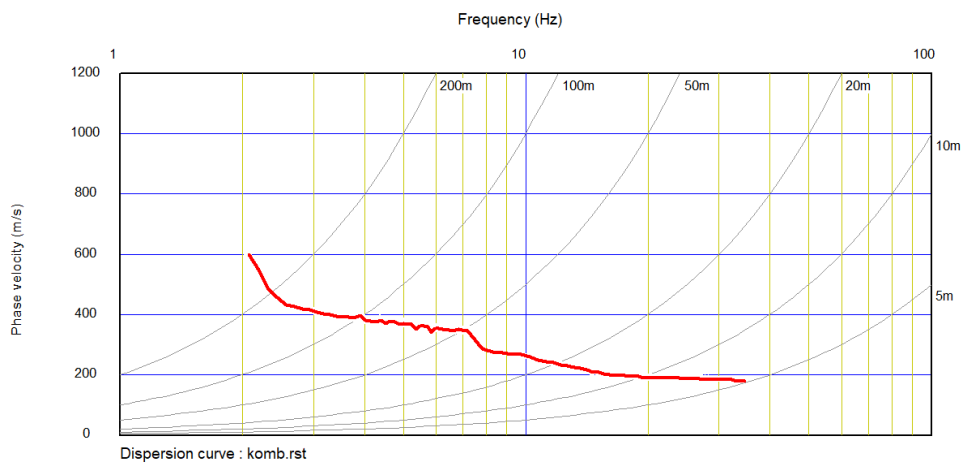


c. H/V krivulja mjerjenja seizmičkog nemira

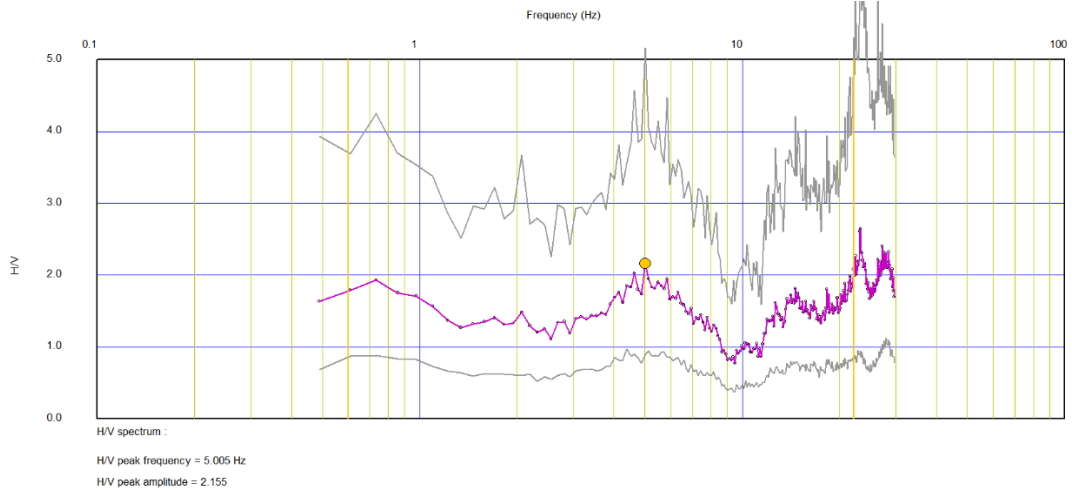
Geofizički profil ZGP_3



a. 1D model brzina

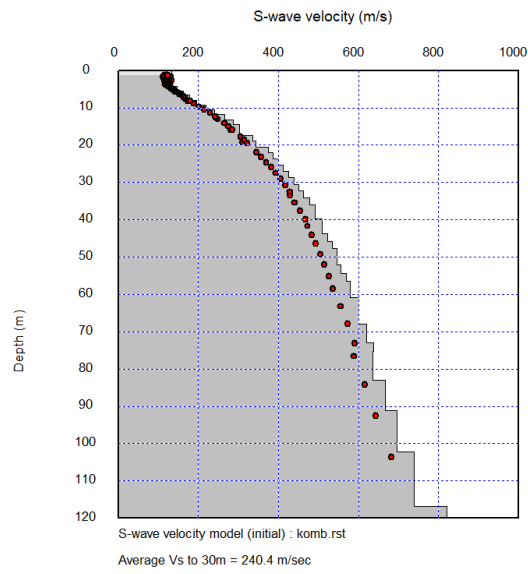


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

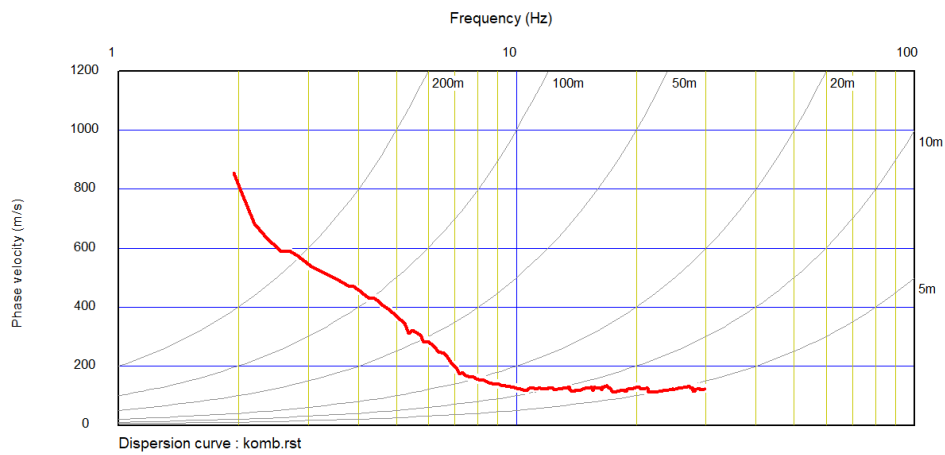


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

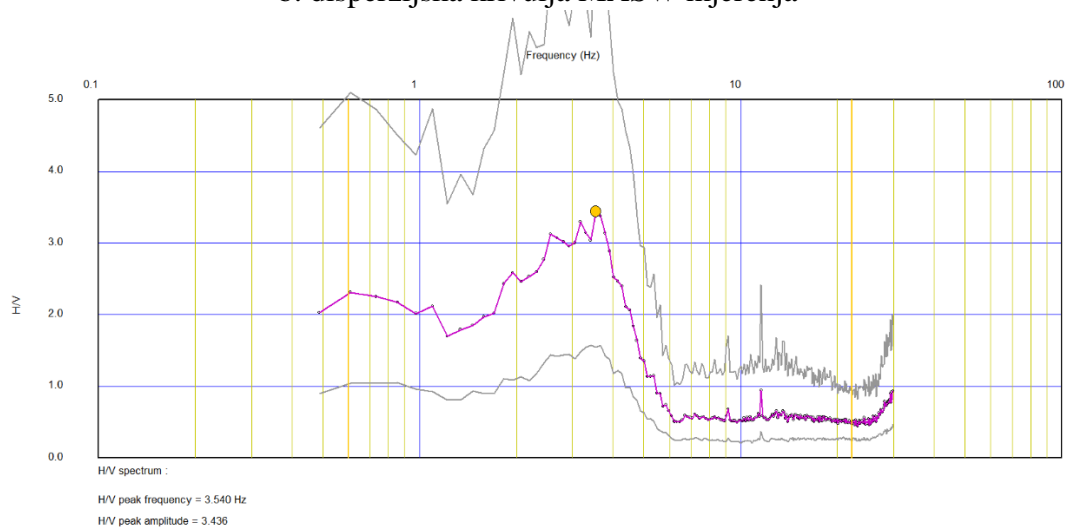
Geofizički profil ZGP_4



a. 1D model brzina

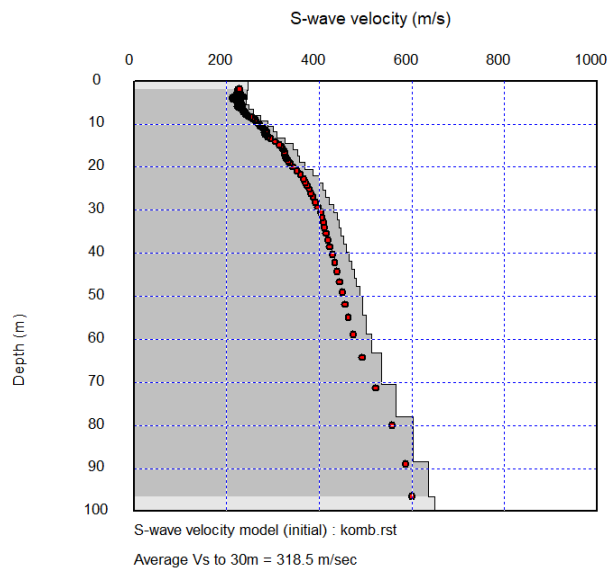


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

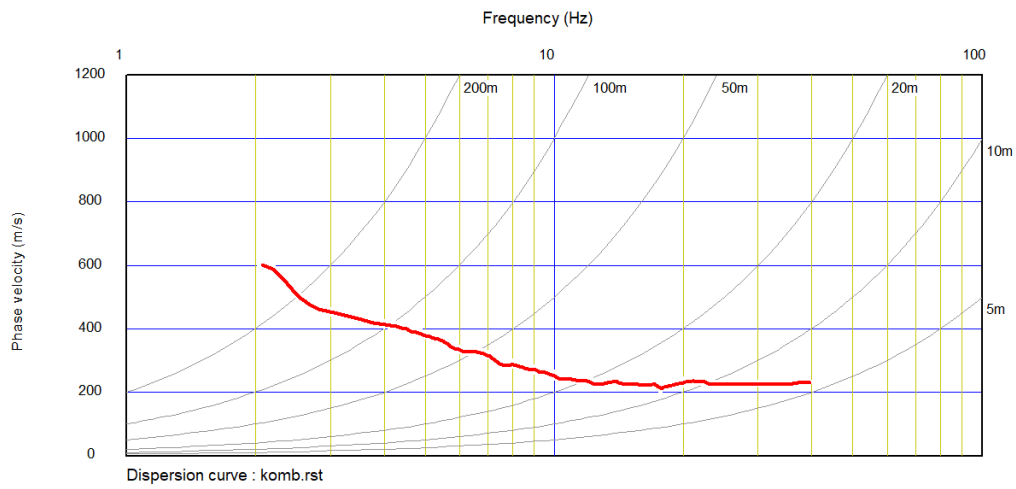


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

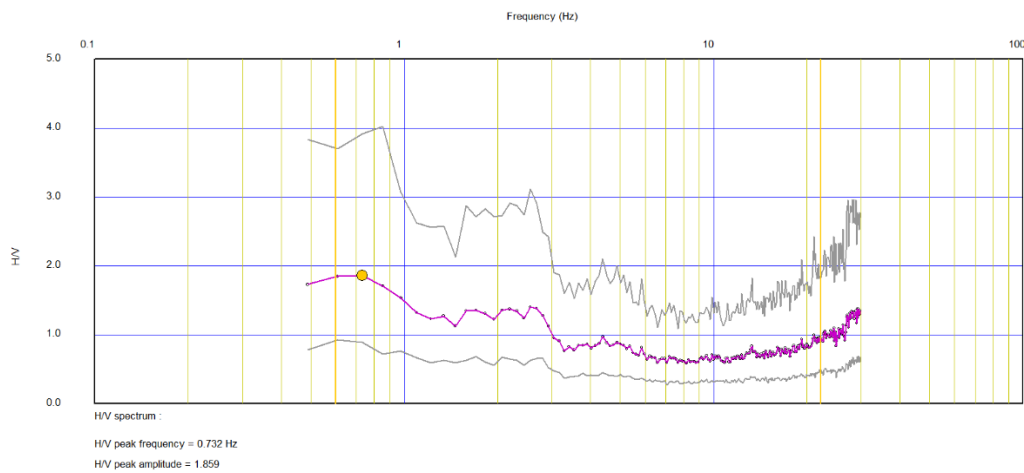
Geofizički profil ZGP_5



a. 1D model brzina

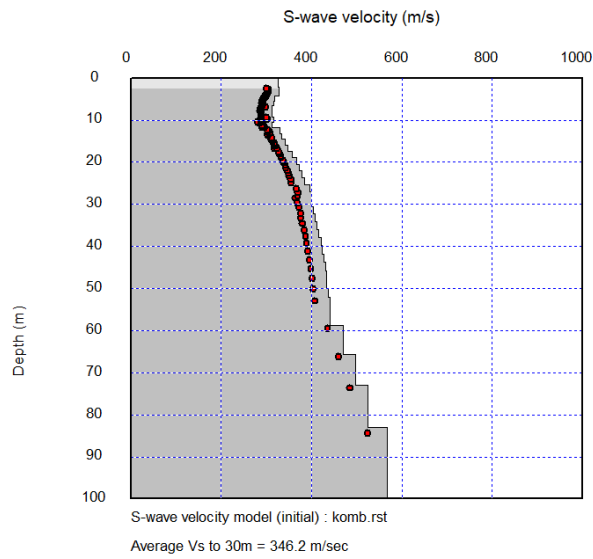


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

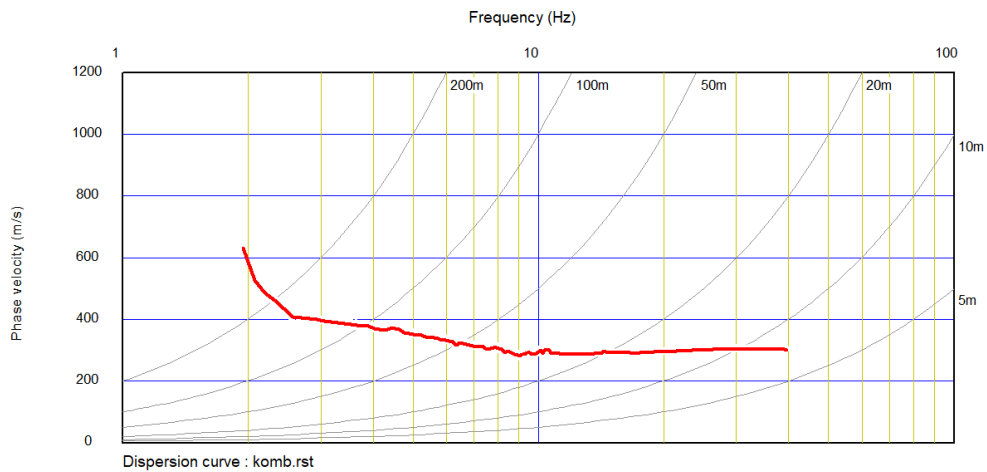


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

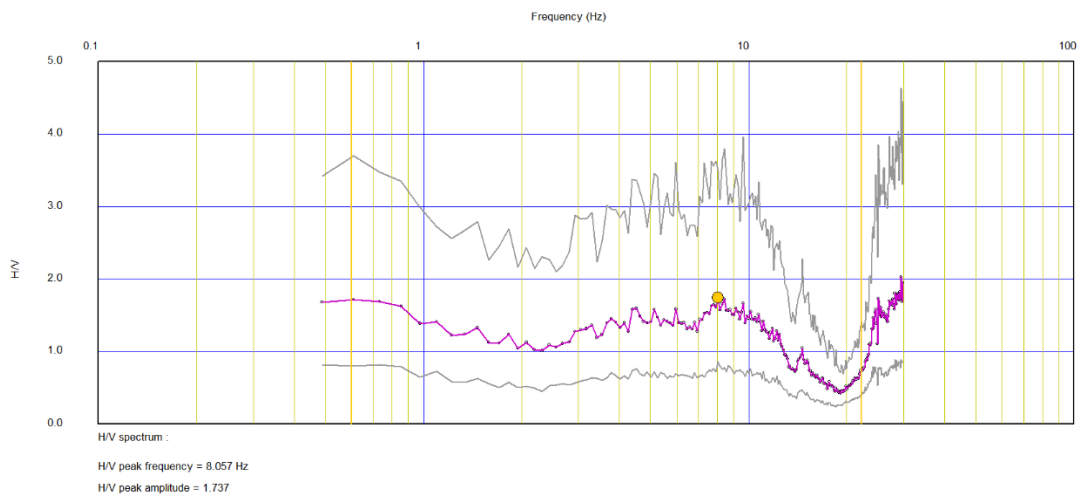
Geofizički profil ZGP_6



a. 1D model brzina

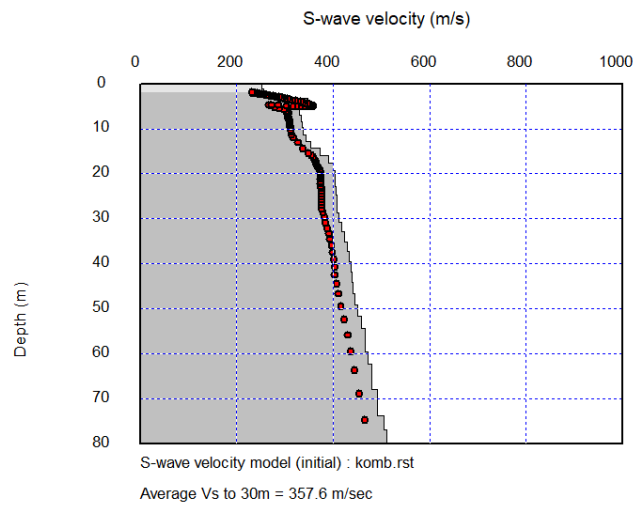


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

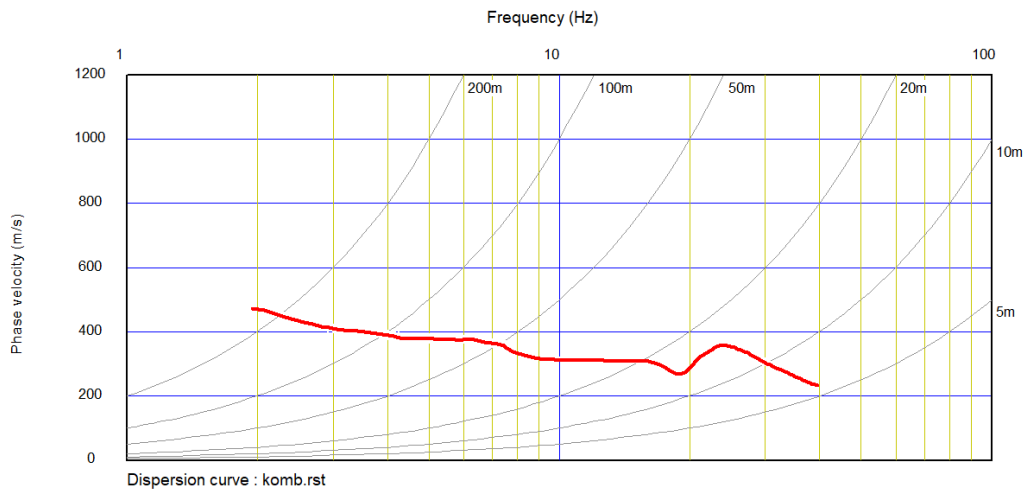


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

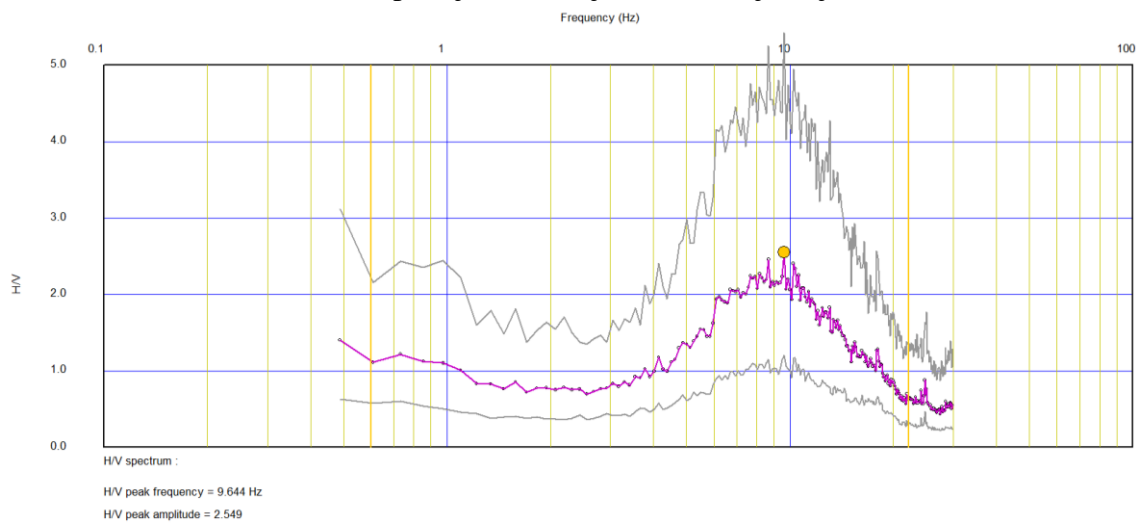
Geofizički profil ZGP_7



a. 1D model brzina

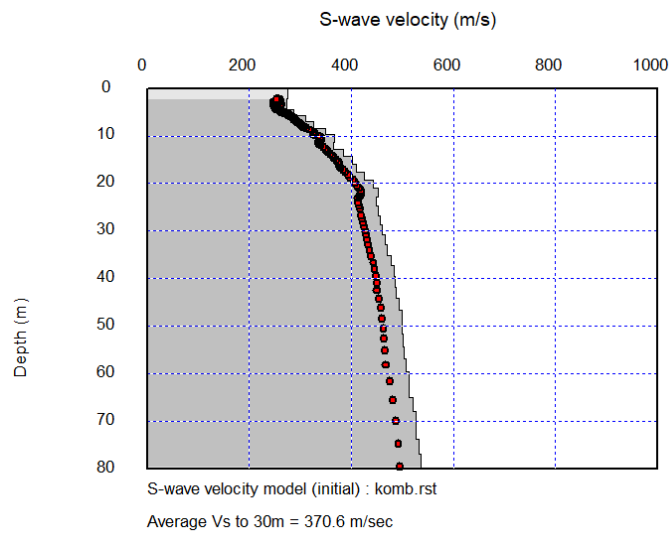


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

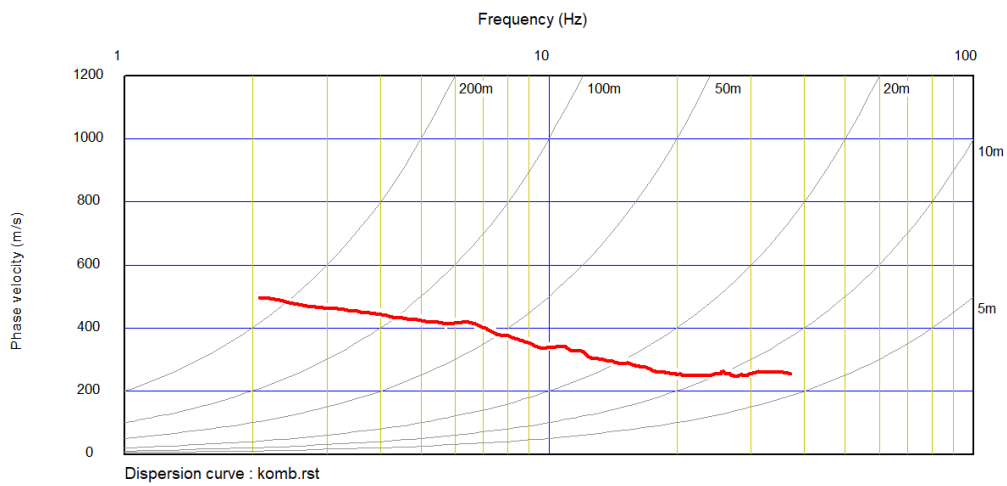


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

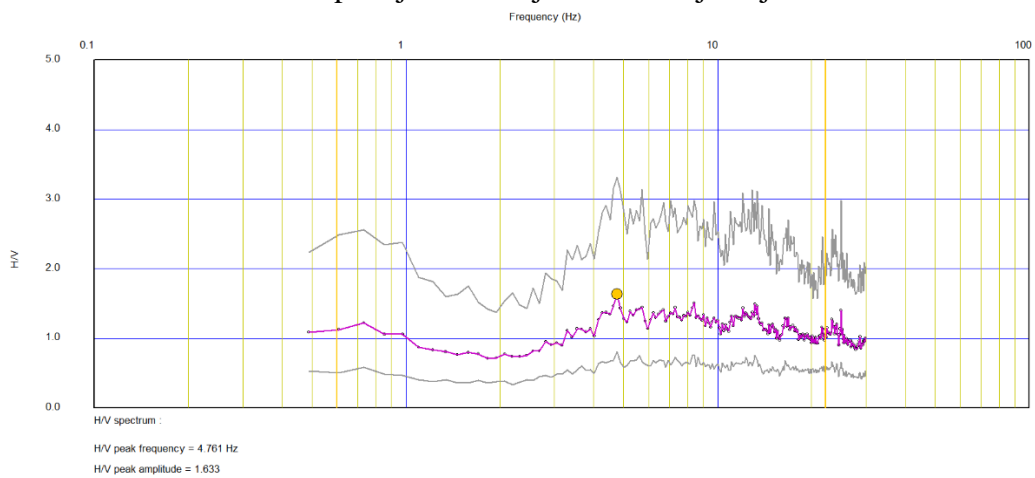
Geofizički profil ZGP_8



a. 1D model brzina

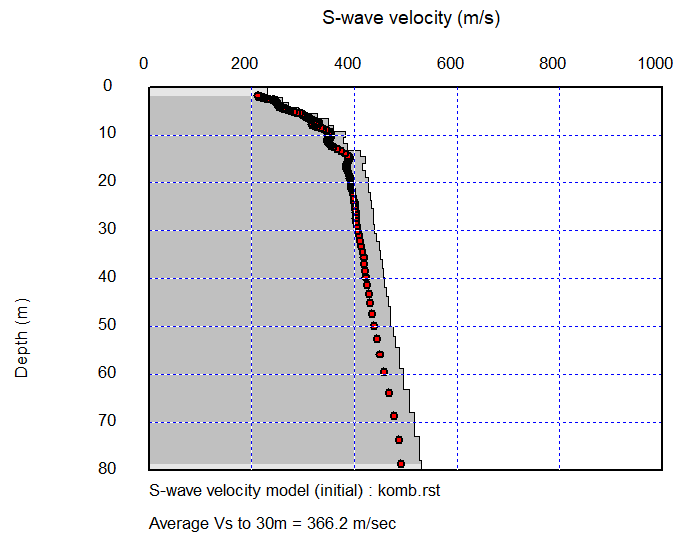


b. disperzijska krivulja MASW mjerenja

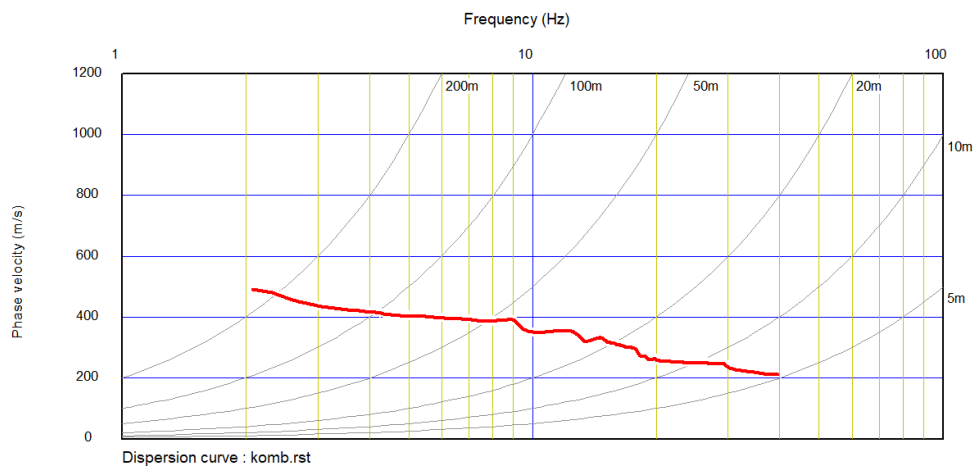


c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

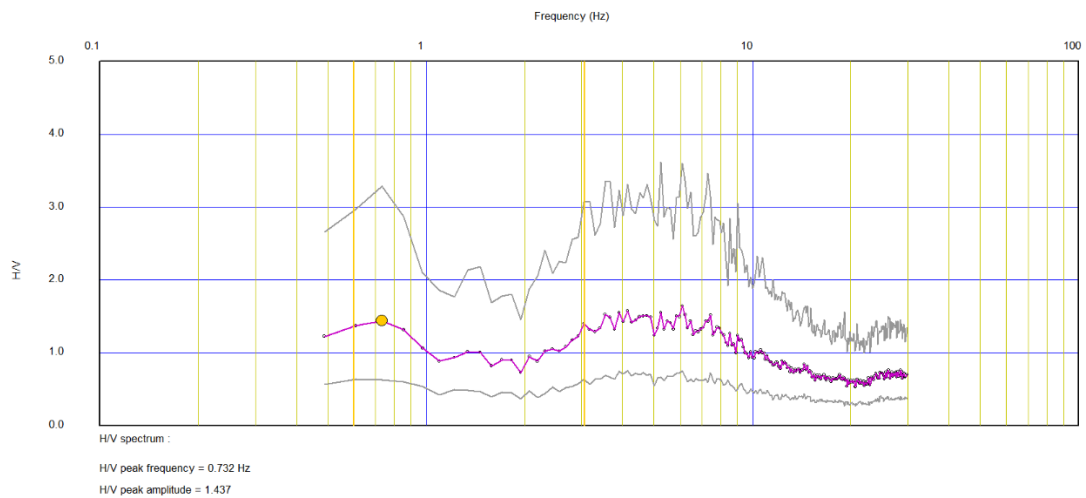
Geofizički profil ZGP_9



a. 1D model brzina



b. disperzijska krivulja MASW mjerenja



c. H/V krivulja mjerenja seizmičkog nemira

PRILOG V. POZICIJE TOČKA MASW (DIGK)

Točka	X	Y
M-P6-17	457923.6	5075375.5
M-P4-5	453922.4	5075614.4
M-P2-4	449627.9	5075787.3
M-P5-6	455845.6	5075739.9
M-P6-14	457876.4	5075975.6
M-P2-B2a	449826.9	5076228.6
M-P1-3	447898.4	5076308.4
M-P7-12	460083.7	5076115.2
M-P10-B7	466124.1	5076102.8
M-P4-3	453888.4	5076445.4
M-P2-2	449729.5	5076552.6
M-P7-8-11	461072.0	5076372.6
M-P1-2	447779.5	5076711.2
M-P6-7-5	459066.6	5076530.7
M-P3-3	451922.2	5076673.3
M-P5-5	455939.6	5076598.1
M-P9-24	463981.9	5076470.7
M-P2-1	449980.0	5076940.3
M-P7-10	460076.3	5076806.5
M-P6-10	458202.3	5076938.0
M-P8-21	462162.1	5077199.5
M-P7-8-10	460955.7	5077274.6
M-P6-7-4	458969.0	5077439.7
M-P5-3	456213.1	5077523.4
M-P12-27	469626.1	5077321.3
M-P4-1	454191.9	5077629.4
M-P14-3	474300.3	5077281.2
M-P3-1	452111.4	5077734.8
M-P11-15	468118.4	5077460.4
M-P9-19	463929.8	5077674.0

M-P10-16	466035.2	5077695.5
M-P7-8-9	460908.2	5077887.9
M-P8-9-13	462933.8	5077879.0
M-P8-19	462034.1	5078001.1
M-P6-7	458183.6	5078207.1
M-P6-7-3	459086.3	5078250.2
M-P8-9-12	462950.2	5078341.8
M-P8-17	461942.3	5078540.2
M-P5-1	456047.6	5078802.4
M-P9-16	463850.8	5078695.9
M-P6-7-2	459039.0	5078842.2
M-P7-8-8	461155.3	5078820.8
M-P11-10	467526.6	5079058.1
M-P9-10-12	465062.8	5079112.3
M-P7-5	460066.4	5079207.6
M-P8-9-11	463264.1	5079171.2
M-P7-8-7	460974.1	5079243.6
M-P8-13	461680.5	5079313.7
M-P11-12-17	469388.1	5079188.2
M-P10-12	466249.5	5079268.4
M-P10-11-10	467144.8	5079306.2
M-P13-27	472009.2	5079276.9
M-P6-3	457882.8	5079548.9
M-P7-8-6	461030.4	5079601.1
M-P9-13	464210.3	5079568.2
M-P9-10-11	465043.7	5079590.2
M-P12-24	470031.0	5079496.8
M-P6-7-1	459102.0	5079918.8
M-P7-8-5	461041.6	5079932.8
M-P7-2	459965.0	5079967.3
M-P8-10	461580.4	5079965.1
M-P9-10-10	465006.9	5079929.8
M-P11-12-16	469192.7	5079869.1
M-P8-9-10	463029.4	5079995.1

M-P12-22	470006.7	5079942.3
M-P6-1	458191.4	5080182.2
M-P13-25	472230.1	5079934.8
M-P9-10-9	464934.3	5080273.4
M-P10-11-9	467139.1	5080237.2
M-P7-8-4	460907.8	5080376.6
M-P11-12-15	469259.0	5080314.0
M-P12-13-13	471102.7	5080317.7
M-P8-9-9	463037.4	5080617.0
M-P7-8-3	460947.8	5080660.9
M-P12-20	470097.5	5080622.0
M-P11-9	468168.4	5080684.2
M-P10-9	466136.6	5080869.9
M-P10-11-8	467149.2	5080960.7
M-P11-12-14	469216.6	5080947.9
M-P8-9-8	463048.1	5081070.0
M-P9-10-8	464983.0	5081079.0
M-P9-8	464042.1	5081101.8
M-P7-8-2	460895.6	5081226.9
M-P11-7	468144.5	5081110.5
M-P8-9-7	463076.4	5081286.5
M-P7-8-1	460944.7	5081331.1
M-P8-5	462102.9	5081558.4
M-P12-13-12	471112.4	5081389.6
M-P13-21	471977.7	5081449.5
M-P10-7	466394.3	5081673.7
M-P9-10-7	465083.5	5081717.7
M-P11-12-13	469075.9	5081647.0
M-P10-11-7	467235.0	5081723.1
M-P8-9-6	463001.5	5081813.1
M-P12-16	470067.1	5081717.0
M-P9-5	464317.3	5081929.8
M-P12-13-11	471252.9	5081928.5
M-P8-9-5	463084.8	5082109.1

M-P9-10-6	464932.0	5082127.2
M-P11-4	468469.7	5082134.3
M-P11-12-12	469095.0	5082138.3
M-P8-2	461959.9	5082340.7
M-P8-9-4	463037.9	5082440.8
M-P10-11-6	467181.3	5082386.0
M-P13-18	472113.9	5082328.3
M-P9-10-5	465075.2	5082648.3
M-P12-13-10	471268.8	5082545.4
M-P9-2	464229.1	5082690.9
M-P10-11-5	467306.9	5082728.1
M-P11-12-11	469019.1	5082878.8
M-P8-9-3	463088.4	5083070.5
M-P11-1	468532.3	5083112.2
M-P9-10-4	465230.0	5083251.7
M-P13-15	471876.1	5083147.9
M-P12-13-9	471255.3	5083202.2
M-P8-9-2	463014.0	5083415.4
M-P10-2	466079.0	5083445.8
M-P12-11	470091.0	5083399.3
M-P9-10-3	465043.1	5083614.4
M-P11-12-10	469049.3	5083612.2
M-P10-11-4	467221.2	5083658.9
M-P8-9-1	463100.3	5083998.5
M-P10-11-3	467306.0	5083942.8
M-P12-13-8	471230.4	5083947.1
M-P11-12-9	469144.8	5084027.1
M-P10-11-2	467288.5	5084209.6
M-P9-10-2	465098.6	5084294.9
M-P12-13-7	471262.5	5084255.4
M-P13-12	471902.3	5084339.3
M-P11-12-8	469127.4	5084531.5
M-P12-8	470094.7	5084574.3
M-P10-11-1	467256.5	5084643.0

M-P11-12-7	469193.0	5084876.9
M-P9-10-1	465262.8	5085057.5
M-P12-13-6	471265.8	5085080.8
M-P13-8	472216.7	5085387.8
M-P11-12-6	469308.5	5085474.4
M-P12-13-5	471248.4	5085808.4
M-P11-12-5	469051.5	5085960.2
M-P12-3	470357.5	5086151.9
M-P11-12-4	469188.3	5086253.5
M-P13-5	472323.8	5086381.6
M-P12-13-4	471343.5	5086403.0
M-P11-12-3	469216.2	5086547.5
M-P11-12-2	469144.2	5086969.8
M-P12-13-3	471419.7	5087057.5
M-P13-2	472466.4	5087292.5
M-P12-13-2	471320.9	5087462.6
M-P11-12-1	469105.3	5087566.1
M-P12-13-1	471340.1	5087909.7
M-P3-B1	452059.8	5077966.2
M-P3-2	452001.7	5077333.7
M-P3-B1a	451862.6	5077125.6
M-P3-B2	451924.2	5076443.0
M-P3-B2a	451908.1	5075963.5
M-P3-4	451954.3	5075660.5
M-P3-5	451874.0	5075406.1
M-P3-B3	451872.1	5075246.1
M-P2-B3	449756.8	5075331.6
M-P2-5	449570.6	5075501.9
M-P2-3	449777.6	5076015.5
M-P2-B2	449786.7	5076721.2
M-P2-B1a	449926.7	5077091.5
M-P2-B1	450027.9	5077378.2
M-P1-4	447959.0	5076123.8
M-P1-B2	447862.5	5076438.8

M-P1-B1a	447855.2	5077015.3
M-P1-1	447711.9	5077279.5
M-P1-B1	447910.4	5077672.4
M-P1-B0	447927.4	5078143.0
M-P4-B0	454106.4	5078074.9
M-P4-B1	454094.8	5077913.5
M-P4-B1a	454044.6	5077389.7
M-P4-2	454132.8	5077206.2
M-P4-B2	453989.6	5076863.2
M-P4-4	453894.1	5076147.0
M-P4-B2a	453955.0	5075970.0
M-P4-B3	453987.2	5075256.1
M-P4-B3a	453928.0	5074906.2
M-P5-B4a	455977.4	5075266.2
M-P5-B4	455932.0	5075884.3
M-P5-B3	456006.9	5076255.5
M-P5-4	456149.3	5077135.7
M-P5-2	455993.0	5077970.9
M-P5-B1a	456003.2	5078304.3
M-P5-B1	456100.6	5079079.1
M-P6-B1a	458073.9	5080373.2
M-P6-2	458095.4	5080064.6
M-P6-B1	458065.2	5079886.6
M-P6-4	457909.0	5079384.3
M-P6-B2a	457880.5	5079218.2
M-P6-5	458071.4	5079070.5
M-P6-6	458044.2	5078605.2
M-P6-B2	458030.8	5078432.9
M-P6-8	458311.9	5077831.1
M-P6-9	458228.2	5077186.0
M-P6-B3a	458326.4	5077347.8
M-P6-11	458170.4	5076757.7
M-P6-12	458146.0	5076584.9
M-P6-B3	457983.0	5076412.9

M-P6-13	457988.3	5076262.9
M-P6-15	457727.9	5075829.9
M-P6-16	457842.1	5075534.6
M-P6-B4	457961.6	5075101.1
M-P7-B4	459914.8	5075417.5
M-P7-B3a	460108.1	5075867.0
M-P7-11	460153.1	5076458.2
M-P7-B3	460328.1	5077135.9
M-P7-9	459901.7	5077358.1
M-P7-B2a	459785.3	5077821.8
M-P7-7	459739.5	5078144.0
M-P7-B2	459733.1	5078462.8
M-P7-6	459863.0	5078836.9
M-P7-4	459980.3	5079381.4
M-P7-B1a	459937.8	5079577.3
M-P7-3	459997.5	5079755.4
M-P7-1	460092.9	5080094.1
M-P7-B1	459967.8	5080336.0
M-P8-B5	461949.3	5076061.2
M-P8-24	461992.4	5076218.5
M-P8-23	462221.4	5076366.2
M-P8-B4a	462079.2	5076833.3
M-P8-22	462116.3	5076979.9
M-P8-20	462090.7	5077682.6
M-P8-B4	462041.0	5077828.2
M-P8-18	461952.9	5078239.3
M-P8-16	461751.6	5078593.2
M-P8-B3a	462116.2	5078751.8
M-P8-15	461942.2	5078971.1
M-P8-14	461831.0	5079162.4
M-P8-B3	462040.1	5079415.1
M-P8-12	461526.7	5079466.4
M-P8-11	461535.0	5079666.0
M-P8-B2a	461477.3	5080105.4

M-P8-9	461313.9	5080404.1
M-P8-8	461546.0	5080586.8
M-P8-7	461556.4	5080802.1
M-P8-B2	462187.1	5081033.4
M-P8-6	462035.4	5081283.0
M-P8-4	461976.9	5081776.7
M-P8-3	461970.2	5081949.5
M-P8-B1a	462020.4	5082162.7
M-P8-1	461931.0	5082553.4
M-P8-B1	461896.7	5082699.6
M-P7-8	459836.6	5077579.5
M-P9-B5	464003.5	5076288.4
M-P9-23	463883.3	5076720.0
M-P9-22	463764.5	5076888.5
M-P9-21	463889.6	5077104.0
M-P9-20	463986.5	5077450.2
M-P9-18	464118.4	5077976.7
M-P9-B4	464119.6	5078277.7
M-P9-17	464057.1	5078462.3
M-P9-15	463832.4	5078914.0
M-P9-14	464008.2	5079132.1
M-P9-B3	464034.8	5079346.7
M-P9-12	464225.4	5079867.8
M-P9-11	464203.1	5080075.2
M-P9-10	464256.4	5080361.1
M-P9-B2a	464079.9	5080591.2
M-P9-9	464072.4	5080816.5
M-P9-7	463987.3	5081286.3
M-P9-B2	464069.3	5081514.3
M-P9-6	464150.5	5081701.1
M-P9-4	464275.2	5082128.1
M-P9-B1a	464119.9	5082283.8
M-P9-3	464157.8	5082473.9
M-P9-1	464265.3	5082946.5

M-P9-B1	464209.0	5083177.1
M-P10-18	466078.1	5076407.3
M-P10-B6a	465953.6	5076835.6
M-P10-17	465883.6	5077218.9
M-P10-B6	466019.1	5077439.3
M-P10-15	466101.9	5077993.8
M-P10-14	466122.5	5078257.4
M-P10-13	466033.7	5078468.7
M-P10-B5	466082.4	5078878.8
M-P10-11	466052.8	5079486.7
M-P10-B4a	466230.2	5079753.3
M-P10-B4	466220.1	5080116.3
M-P10-10	465971.5	5080418.8
M-P10-B3a	466061.9	5080607.5
M-P10-8	466209.1	5081128.9
M-P10-B3	466169.1	5081375.5
M-P10-6	466383.3	5082000.6
M-P10-B2a	466267.9	5082141.4
M-P10-B2	465923.2	5082272.0
M-P10-5	466328.1	5082590.1
M-P10-4	466327.6	5082752.8
M-P10-B1a	466197.0	5082984.3
M-P10-3	465972.9	5083180.1
M-P10-1	466148.7	5083688.3
M-P10-B1	466129.0	5083985.1
M-P14-6	474101.6	5075805.0
M-P14-B2	474106.1	5075995.6
M-P14-5	474000.9	5076314.8
M-P14-4	474104.9	5076602.8
M-P14-B1a	474170.2	5076906.7
M-P14-B1	473891.0	5077873.7
M-P14-2	473891.1	5078261.8
M-P14-1	473738.8	5078478.0
M-P13-B9	472075.5	5076366.4

M-P13-B8a	472222.6	5077114.3
M-P13-30	472399.5	5077578.0
M-P13-29	472488.3	5078081.7
M-P13-28	472000.6	5078717.9
M-P13-B7a	471985.8	5079011.0
M-P13-26	472286.2	5079663.4
M-P13-B7	472188.7	5080177.1
M-P13-24	472152.6	5080453.6
M-P13-23	472112.6	5080672.0
M-P13-22	472059.3	5080934.7
M-P13-B6	472011.9	5081190.4
M-P13-20	471920.4	5081696.3
M-P13-19	472084.5	5081914.9
M-P13-B5a	472196.0	5082147.3
M-P13-17	472050.2	5082508.5
M-P13-16	472011.4	5082749.2
M-P13-B5	472070.4	5082897.7
M-P13-14	472153.6	5083464.0
M-P13-13	471814.5	5083815.3
M-P13-B4	472082.9	5084030.5
M-P13-11	471872.4	5084657.5
M-P13-10	471893.6	5084955.5
M-P13-9	472115.1	5085164.9
M-P13-7	472165.3	5085635.6
M-P13-B3	472200.6	5085890.5
M-P13-6	472186.5	5086185.4
M-P13-4	472464.6	5086553.7
M-P13-B2	472372.8	5086790.0
M-P13-3	472558.1	5087053.6
M-P13-1	472473.2	5087582.4
M-P13-B1	472472.6	5087804.0
M-P11-B6	468080.7	5076450.0
M-P11-17	468092.1	5076528.4
M-P11-16	468285.3	5076898.0

M-P11-B6a	468146.8	5077077.8
M-P11-14	467998.0	5077722.3
M-P11-B5	468105.1	5077985.1
M-P11-13	467919.2	5078242.6
M-P11-B5a	467939.4	5078499.8
M-P11-12	467797.4	5078640.7
M-P11-11	467654.7	5078837.7
M-P11-B4	467920.3	5079119.1
M-P11-B4a	468542.3	5080276.8
M-P11-B3	468118.8	5080591.2
M-P11-8	468189.5	5080841.1
M-P11-B3a	468137.9	5081460.1
M-P11-6	468331.1	5081591.2
M-P11-5	468353.6	5081826.7
M-P11-3	468387.3	5082415.4
M-P11-B2a	468309.5	5082653.6
M-P11-2	468352.7	5082883.3
M-P11-B1	468208.6	5083730.7
M-P11-B1a	468180.1	5083845.1
M-P12-B7a	469961.0	5076478.7
M-P12-28	469890.1	5076809.1
M-P12-B7	470020.9	5077841.3
M-P12-26	469576.6	5078185.3
M-P12-B6a	469724.7	5078564.3
M-P12-25	469831.1	5079136.0
M-P12-B6	470040.1	5079192.6
M-P12-23	469948.4	5079653.5
M-P12-21	469992.1	5080103.7
M-P12-B5a	470105.0	5080338.4
M-P12-19	470118.7	5080827.7
M-P12-18	470109.9	5081034.0
M-P12-B5	470197.8	5081284.5
M-P12-17	470322.9	5081399.4
M-P12-B4a	470231.2	5082000.4

M-P12-15	470135.9	5082173.9
M-P12-14	470146.6	5082403.3
M-P12-13	470155.9	5082658.0
M-P12-B4	470154.5	5082919.8
M-P12-12	470109.1	5083151.2
M-P12-10	470062.7	5083613.9
M-P12-B3a	470201.0	5083905.6
M-P12-9	470148.8	5084009.6
M-P12-B3	470121.2	5084275.9
M-P12-7	470167.6	5084820.3
M-P12-6	470270.6	5085057.9
M-P12-B2a	470336.1	5085317.0
M-P12-5	470360.1	5085633.5
M-P12-4	470355.7	5085925.5
M-P12-2	470594.7	5086621.4
M-P12-B2	470374.4	5086822.6
M-P12-1	470310.0	5087006.4
M-P12-B1a	470167.3	5087205.2

**PRILOG VI. POZICIJE DUBOKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE FORMACIJE
LONJA UKLJUČUJUĆI INTERPRETACIJU MASTERLOGOVA (INA/AZU)**

Redni broj	Naziv bušotine	X	Y	Z	Dubina (m)	Podina Lonja formacije (Pl)	Dubina modeliranog seizmičkog horizonta f_0
1.	Dub-1	472663.84	5078002.83	142.10	2156.00	185	177
2.	Dub-2	473016.07	5077056.13	140.00	2826.00		
3.	Dka-1	463859.98	5077097.25	135.93	1090.50	125	147
4.	Gla-1	478267.04	5079320.56	118.18	1288.80		
5.	Hel-1	480825.11	5084949.79	143.06	2150.00		
6.	Jar-1	454186.06	5072055.42	118.22	1635.00	125	145
7.	KBNZ-1	455965.75	5070215.75	115.78	897.50	188	174
8.	KBNZ-1A	455775.23	5070242.33	115.91	1133.78	170	174
9.	KBNZ-2	453997.31	5070738.78	117.27	1508.70	146	144
10.	KBNZ-2A	453990.20	5070732.92	117.27	1267.00		
11.	KBNZ-3A	454584.29	5069987.66	116.64	1076.50		
12.	Lom-1	462637.58	5064729.86	109.52	1936.00		
13.	Mla-1	456910.07	5071664.20	115.50	1057.50	180	181
14.	Mla-2	456603.59	5071693.96	115.73	911.68		
15.	Mla-3	456617.84	5071653.69	115.71	1362.00	190	196
16.	Ned-1	445311.20	5071333.99	146.10	1311.40		
17.	Odr-1	474867.06	5066453.53	102.22	2503.40		
18.	Pds-1	448144.87	5075444.40	130.00	601.90	35	28
19.	Pds-2	448365.29	5075039.20	130.00	530.60	61	41
20.	Res-1	466491.72	5074621.53	115.00	1834.00		
21.	Res-2	466166.51	5070779.26	109.29	1753.60		
22.	Rug-1A	479184.38	5067733.58	100.00	2725.00		
23.	Rug-1J	477923.70	5066263.15	104.23	2953.00		
24.	Rug-3	479867.44	5068586.81	100.71	3300.00		
25.	Sal-1	459959.86	5075252.35	150.00	1038.00	110	109
26.	Sava-1	458173.00	5072290.56	115.95	1594.30		
27.	Sav-1	464242.19	5071305.45	110.00	2202.20	185	183
28.	Ses-1	470683.22	5077127.99	141.77	1782.00	170	151
29.	Ses-2	469856.71	5078593.66	136.71	1656.00		

30	Sta-1	482674.68	5079074.66	171.52	1700.00		
31	Stup-1	453468.50	5068888.46	118.03	832.70	150	159
32	Zel-1	483074.31	5088618.65	130.50	1318.30		

**PRILOG VII. POPIS KORIŠTENIH REFLEKIJSKIH SEIZMIČKIH PROFILA
(INA/AZU)**

Redni broj	Naziv 2D seizmičkog profila	Redni broj	Naziv 2D seizmičkog profila
1	DS-3-82	25	SES-1B-88
2	GRD-3-84	26	SES-4-87
3	HZ-1-87	27	SES-5-87
4	LOM-1-88P	28	SES-6V-88
5	LONJICA-11V-92P	29	ŠT-4-87
6	OBO-3-82	30	ŠT-5-87
7	ODRA-LUP-1-88	31	STU-1-DU-1-77
8	ODRA-LUP-1A-88	32	STU-1-LOM-1-84
9	RES-1-77	33	STU-2B-84
10	RES-1-88	34	STU-3B-84
11	RES-2-88	35	STU-4-87
12	RES-2A-88	36	STU-5-88
13	RES-3-88	37	STU-6-87
14	RES-4-88	38	ŠT-1-77
15	RUG-2D-73	39	ZGB-1V-86
16	RUG-4D-73	40	ZGB-2V-86
17	RUG-6-88	41	ZGB-3V-86
18	RUG-7-86	42	ZGB-4V-86
19	RUG-7-87V	43	ZGB-5-88
20	RUG-SZ-1-75	44	ZGB-5V-86
21	SAMOBOR-1-79	45	ZGB-6V-86
22	ŠČI-1V-92	46	ZGB-7V-86
23	SES-1-88	47	ZGB-7Z-88
24	SES-1A-88	48	ZGB-9-88

**PRILOG VIII. POZICIJE PLITKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE
PLEISTOCENSKIH I HOLOCENSKIH NASLAGA (DIGK)**

Naziv	X	Y	Z	Dubina Q ₂ (m)	Dubina Q ₁ (m)	Dubina modeliranog seizmičkog horizonta f ₀
P1-B0	447934.25	5078147.44	129.99	8		9
P1-B1	447914.73	5077673.77	161.9	8		9
P1-B1a	447851.81	5077018.95	260.6	9.5		9
P1-B2	447859.36	5076441.52	209.1	10.2		9
P2-B1	450029.02	5077384.78	302.8	3.3		10
P2-B1a	449924.54	5077088.70	280	7.8		10
P2-B2	449789.39	5076725.29	238.1	2.3		10
P2-B2a	449832.46	5076246.67	210	16.6		10
P3-B1	452064.20	5077963.91	351.3	7.5		10
P3-B1a	451862.18	5077129.39	241.3	14.2		12
P3-B2	451936.91	5076425.69	179	5		11
P3-B2a	451944.50	5076007.18	133.9	4.6		11
P3-B3	451831.60	5075417.32	128.4		9.9	11
P4-B0	454107.09	5078076.74	279.37	25		11
P4-B1	454095.68	5077910.61	261.7	11		13
P4-B1a	454046.73	5077392.36	223.6	4.4		13
P4-B2	454077.65	5076866.71	195.7	3.9		12
P4-B2a	453956.90	5075965.85	140	16		13
P4-B3	453991.97	5075250.70	133.3		8.4	12
P4-B3a	453960.07	5074894.25	130		15.5	12
P5-6-B1	456821.58	5075204.72	130		35	11
P5-B1	456104.40	5079073.00	240	11		16
P5-B1a	455878.36	5078226.81	215.33	0.5		14
P5-B1b	456009.11	5079345.52	277.5	5		14
P5-B3	456006.06	5076284.38	152.2		20.3	14
P5-B4	455581.54	5075519.66	151.6		25.5	14
P5-B4a	456048.21	5075281.06	129.5	20		13
P6-B1	458066.20	5079883.71	270.4	5.4		14
P6-B1a	458078.62	5080374.34	372.1	8.3		14

P6-B2	458026.85	5078435.17	303	20		14
P6-B2a	457869.12	5079237.74	250.4	4.8		14
P6-B3	457979.52	5076412.21	170	23.1		14
P6-B3a	458293.45	5077412.03	238.9	30.4		15
P6-B4	457967.98	5075095.96	140	25		15
P7-8-B1	460830.18	5079365.17	260	25.2		21
P7-8-B2	460825.50	5079377.26	259.5	11		19
P7-8-B3	460823.32	5079388.60	260	9		19
P7-B1	459970.40	5080318.05	273.5	3.1		19
P7-B1a	459940.85	5079576.82	307.4	3.4		17
P7-B2	459972.81	5078337.17	241.9	35		17
P7-B2a	460057.00	5077871.33	210		30	17
P7-B3	460325.79	5077124.59	190		30	17
P7-B3a	460092.86	5075868.82	163.5		30	17
P7-B4	459916.12	5075415.39	157.6		30	14
P8-B1	461892.18	5082703.08	349.6	8.8		13
P8-B1a	462021.67	5082159.48	260	11.9		20
P8-B2	462195.96	5081030.88	216.7	6.7		20
P8-B2a	461480.73	5080103.32	290	12.6		18
P8-B3	462040.85	5079409.51	220	30.5		19
P8-B3a	462119.28	5078751.26	177.6	18.2	31	19
P8-B4	461895.90	5077865.36	180	16	30	19
P8-B4a	462064.81	5076838.07	140		30	19
P8-B5	461957.63	5076063.20	135.2		35	20
P8-ZL1	462822.39	5075965.23	125.7	35		20
P9-B1	464393.84	5083238.77	318.1	24.5		23
P9-B1a	464136.28	5082301.52	256.9	11.3		18
P9-B1b	463742.12	5082513.45	216.5	4		19
P9-B2	464070.62	5081512.07	208.2	2.6		19
P9-B2a	464130.78	5080536.73	174.8	28.4		20
P9-B3	464110.89	5079165.26	193.1	5.7	30	20
P9-B4	464121.09	5078277.17	177.3		35	23
P9-B5	464044.56	5076270.59	127.9	30		24
P10-B1	466123.88	5083975.59	278.8	0		14
P10-B1a	466184.99	5082997.74	350.1	5.4		14

P10-B2	465919.31	5082266.67	234.4	8.8		18
P10-B2a	466272.08	5082140.92	283.8	14.3		18
P10-B2b	465549.56	5081415.64	180	8		19
P10-B3	466172.35	5081369.32	205.5	11.8		19
P10-B3a	466064.23	5080603.17	240	24.1		19
P10-B4	466239.39	5080132.13	170	2		23
P10-B4a	466231.45	5079757.54	203.8	18.9		24
P10-B5	466101.70	5078878.29	148.6	30		27
P10-B6	466023.28	5077436.32	133.1	30		27
P10-B6a	465954.64	5076828.25	128.6	30		27
P10-B7	466119.08	5076137.99	123.5	35		27
P11-B1	468219.43	5083738.24	200	3.8		11
P11-B1a	468194.66	5083851.71	215.5	10.5		11
P11-B2a	468315.69	5082593.31	230.2	5.8		11
P11-B3	468159.85	5080561.05	150	12.7		16
P11-B3a	468138.34	5081459.34	160.9	4		16
P11-B4	467872.77	5079128.21	190	13.3		23
P11-B4a	468553.35	5080271.92	195	15.5		16
P11-B5	468087.54	5077966.06	143.6	19	20.5	24
P11-B5a	467886.63	5078498.49	176.9	23.8		24
P11-B6	468076.11	5076459.03	120	30.8		27
P11-B6a	468153.47	5077084.14	127.2	30.5		26
P12-B1	470232.33	5087904.03	220	10		13
P12-B1a	470220.63	5087224.49	220	7.3		13
P12-B1b	470237.09	5087503.51	220	14		13
P12-B2	470373.77	5086821.97	238	5.3		12
P12-B2a	470324.93	5085290.35	276.8	4.3		10
P12-B2b	470827.72	5086036.16	190	15		11
P12-B3	470111.43	5084265.58	219.2	5.8		10
P12-B3a	470200.04	5083877.78	206.8	10		11
P12-B4	470128.26	5082939.04	160.1	7.4		12
P12-B4a	470221.86	5081992.40	150	4		10
P12-B5	470202.83	5081288.89	152.1	20.5		12
P12-B5a	470100.50	5080336.33	140	30.3		11
P12-B6	470037.18	5079192.32	138	30		15

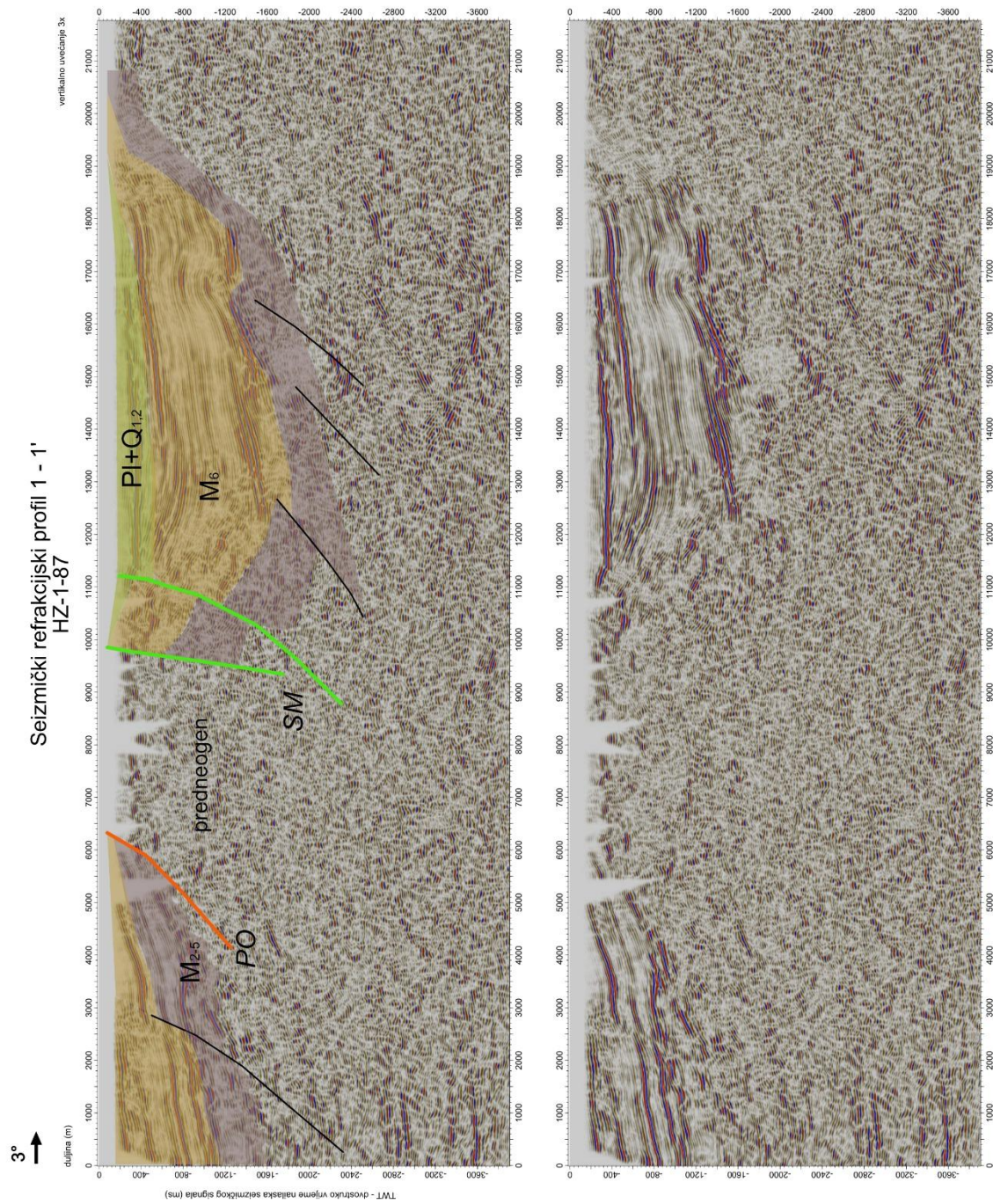
P12-B6a	469735.99	5078561.52	130	35		22
P12-B7	470018.13	5077838.95	145		32	24
P12-B7a	469953.33	5076477.65	130.2		22.8	29
P13-B1	472468.80	5087807.31	250	3.8		11
P13-B2	472372.50	5086782.54	170	7.3		10
P13-B2a	472510.85	5086450.21	160	10		8
P13-B3	472204.34	5085887.73	207.9	2.5		9
P13-B3a	473161.31	5085780.81	150	8		8
P13-B4	472082.11	5084032.57	175.5	14		12
P13-B5	472070.04	5082891.60	171.5	10		12
P13-B5a	472175.20	5082149.86	154.8		35	13
P13-B6	472008.51	5081199.72	138	20		12
P13-B7	472187.46	5080175.56	132.2	35		9
P13-B7a	471987.91	5079009.42	140		20.5	10
P13-B8a	472218.94	5077111.32	140		30	17
P13-B9	472068.96	5076373.27	119.4		30	23
P14-B1	473890.58	5077877.45	140.9		25.5	8
P14-B1a	474179.03	5076905.45	140		26	14
P14-B2	474102.85	5076002.41	120		35	25
T-300	456242.70	5077135.50	262.2	10.2		14
T-200	452269.90	5078042.30	350	2.6		14
T-150	456700.90	5079895.10	329.72	2.5		18

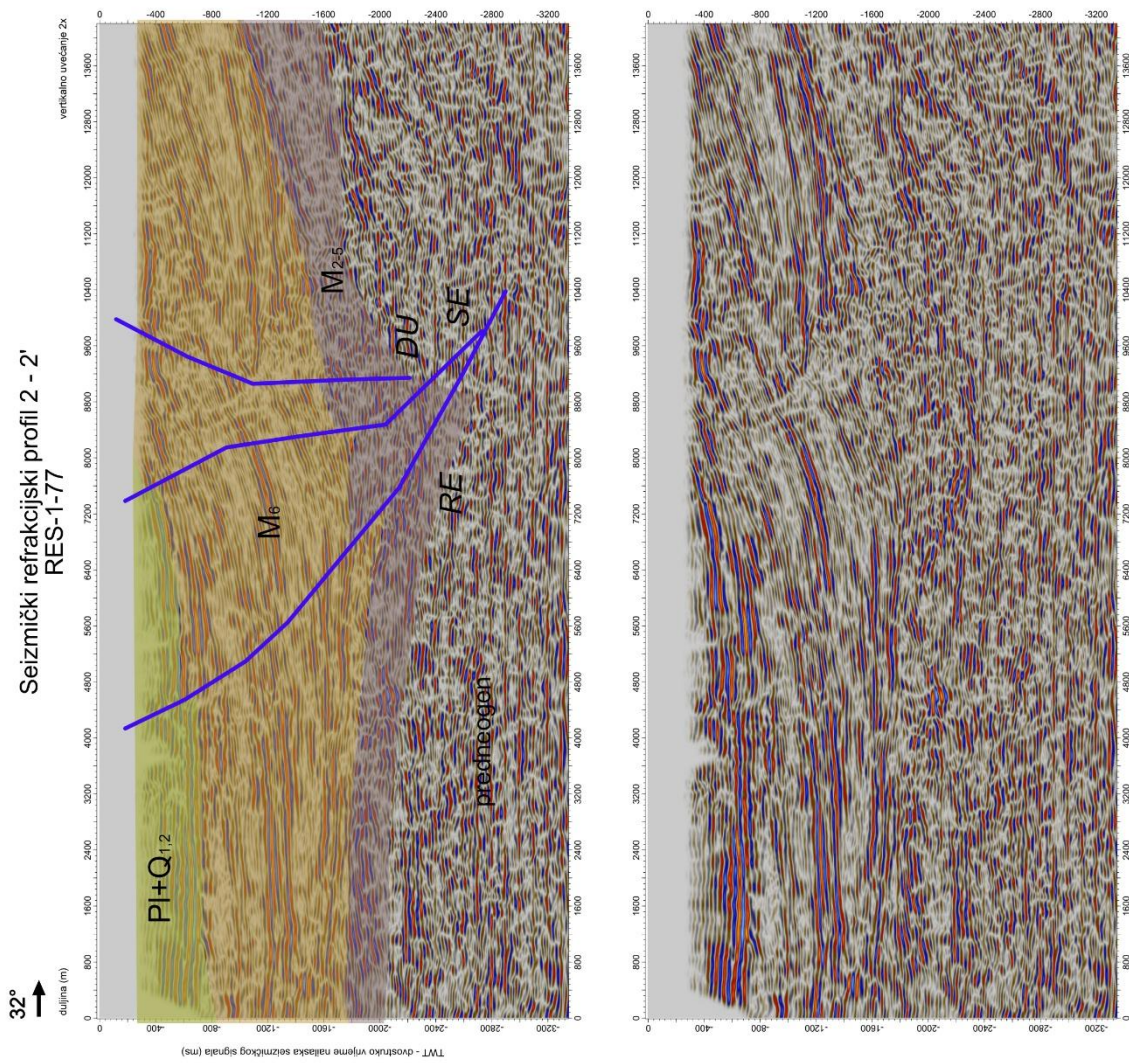
**PRILOG IX. POZICIJE PLITKIH BUŠOTINA I DUBINE PODINE
PLEISTOCENSKIH I HOLOCENSKIH NASLAGA (ARHIVA HGI)**

Naziv	X	Y	Z	Dubina Q ₂ (m)	Dubina Q ₁ (m)	Dubina modeliranog seizmičkog horizonta f ₁
AZL-1	456753.9	5070304	115	50	92	9
Bad-1	468905.5	5076361	117		71.5	27
Bad-2	468991.1	5076393	117		84.4	27
Bu-1	464178.7	5075642	121.32	16	29	27
Bu-13	454629.7	5067240	116.44	9		5
Bu-14	452116.4	5062287	127.78	10.5		5
Bu-15	467592.6	5074238	112.07	26.4		21
Bu-28	458412.2	5068358	114.81	18		8
Bu-29	463974	5073266	106.55	19.8		24
Bu-6	453076.2	5075051	128.47	11.5		10
Bu-8/2	457378	5074050	119.5	11		16
Bu-9	465825.2	5073851	110	25		26
Bu-9	458927	5073991	118.68	13.5		11
Bu-9/1	465580.2	5070925	109.63	27		36
CDP-1	463778.3	5069129	111.67	57.6	90	32
CDP-4	465144.7	5069102	110.25		97	31
CP-23	461487.9	5066193	110.48	37	50	8
CP-24	462157	5067259	110	36.5	60	12
CP-26	462375.9	5070181	110	33.5		16
CT S-2	459057.8	5074861	121	20	50	13
HB-3	448685.5	5074513	128.01	5		10
HEP-6	470343.6	5072146	105.8	29		32
IG-1	469143.8	5073759	108.98	25	55.8	32
IG-2	469130.2	5073039	106.74	23.2		27
JP-11	463011.4	5069937	110	60		25
JP-14/1	463020.5	5069303	110	50.7	90	16
JP-15/1	463215.5	5069038	110.72	51	90	17
MM-307	457136.1	5065963	113.05	16		6
MM-311	457341	5065639	112.78		26.2	8

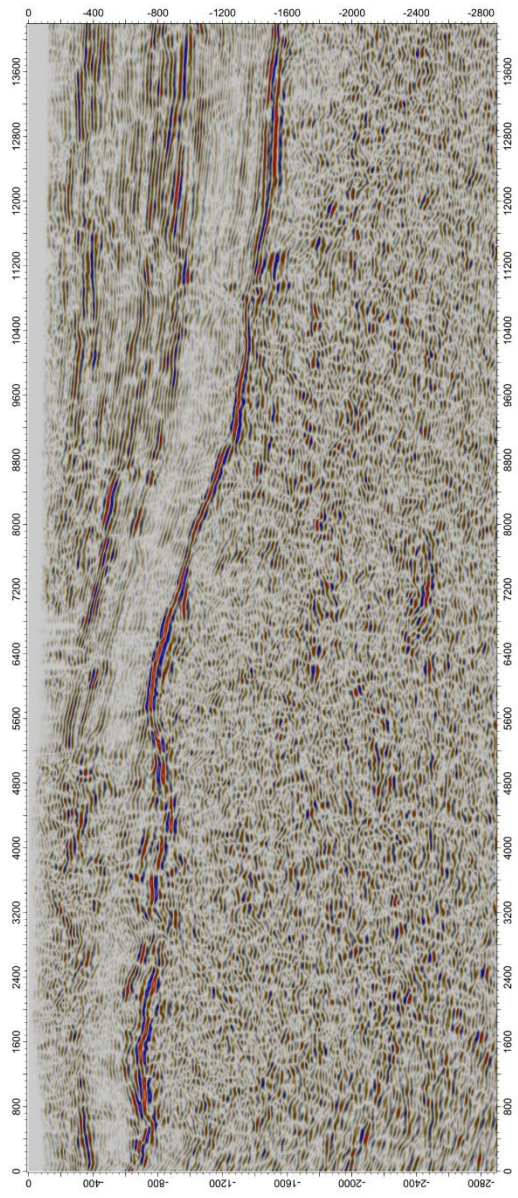
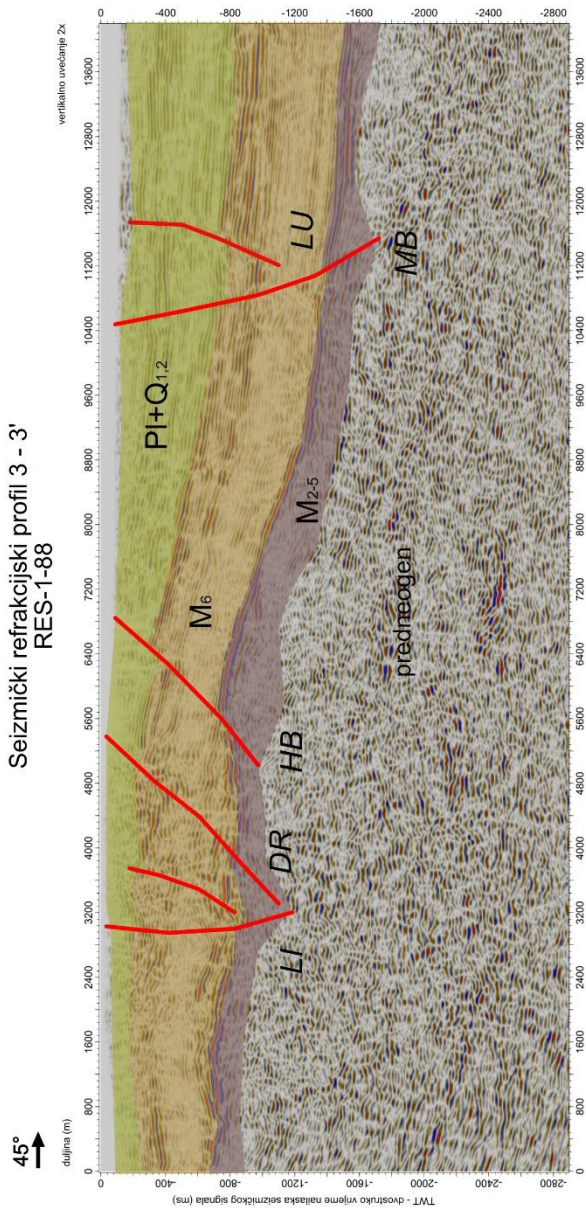
MM-315	459111.5	5066825	113.27	17		7
MM-317	459485.2	5067446	113.11	22	37	6
MM-318	459908.4	5067776	113.31	25	39	7
MM-320	458375.2	5067186	114		26.4	7
MM-321	458746.7	5067692	113.76	15	25.6	6
P2-5	448792.5	5073821	126.17	7.8		
PB-6/1	464533.7	5070319	110	49.2		29
PD-2	470904	5074507	109.08	21		29
PD-4	467746.4	5075077	115	26		37
PI-5	450083.5	5074717	126.84	8		25
PJ-6	454621.4	5071326	116.99	8.2		10
PJ-9	454909.3	5070945	116.68	6.5	21.8	9
PO-1	455682.5	5064185	119.21	7	28.2	9
PP-10	467728.6	5072425	106.81	24		5
PP-12	468409.1	5073512	109.07	24		18
PP-15	471824.4	5073248	104.7	26.5		21
PP-16	464004.5	5070206	110	57.5		30
PP-19	464539.1	5069650	110.11	45		32
PP-2	452781.5	5071795	120.21	11	38.5	8
PP-5	453186.8	5072209	120.22	10.6		8
PP-6	466166.5	5071524	109.31	23.5		33
PZ-3	459614.6	5072102	115.19	12.7		7
R-2	459493.8	5072750	116.36	12.6		15
S-1	456665.7	5071273	115.61	8		10
S-3	457309.5	5073601	118.74	10		15
S-5	462348.3	5074566	114.89	15		24
S-6	460676	5072858	114.42	14.8		11
SAS-S- 10	464604.1	5074334	111.63	24	33	24
SONDA- P	459350	5069458	114.56	17.6		7
SPB-12	451682.2	5072079	120.04	7.2		8
STB-1	466509	5074048	112.26	24		24
Z-56	465594.2	5072205	109.79	21		32

PRILOG X. INTERPRETIRANI SEIZMIČKI PROFILI

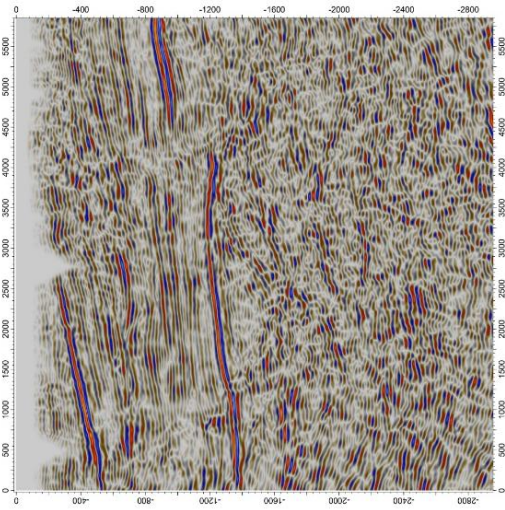
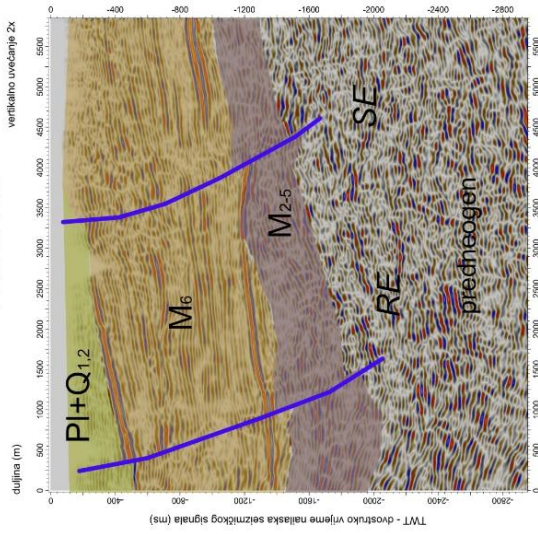




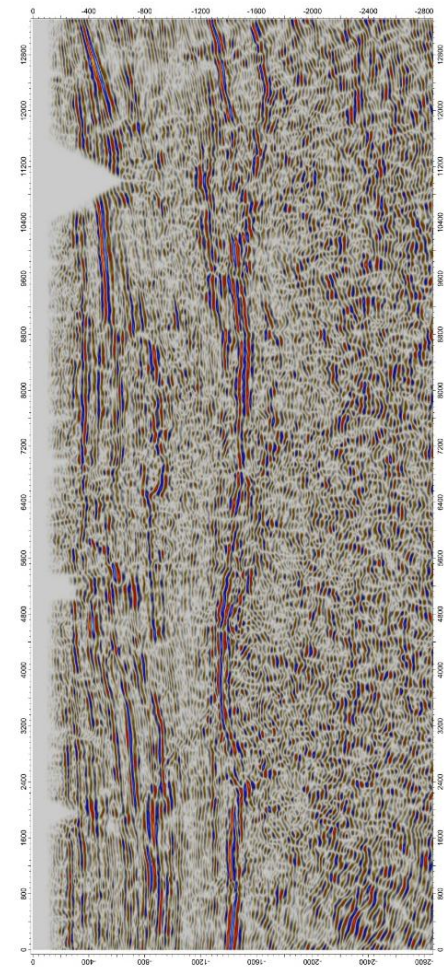
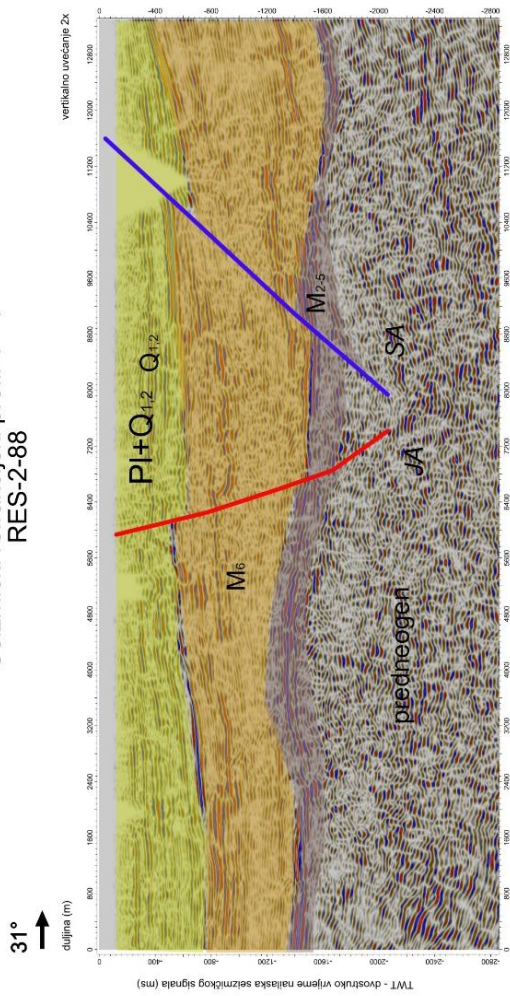
Seizmički refrakcijski profil 3 - 3'
RES-1-88



40° Seizmički refrakcijski profil 5 - 5'
RES-2A-88

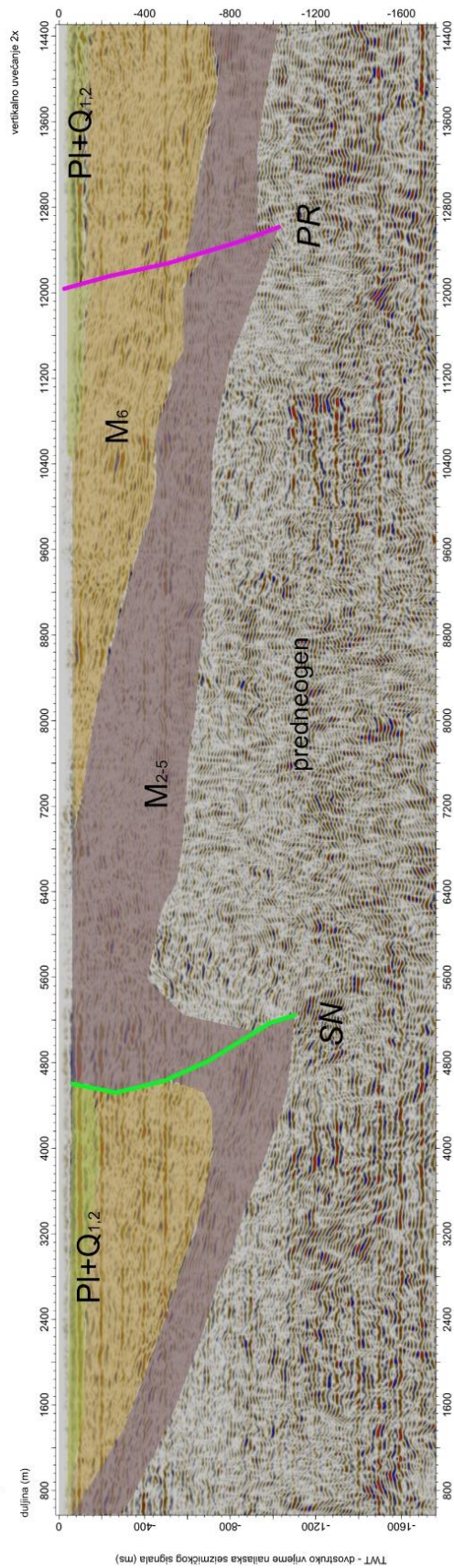


Seizmički refrakcijski profil 4 - 4'
RES-2-88

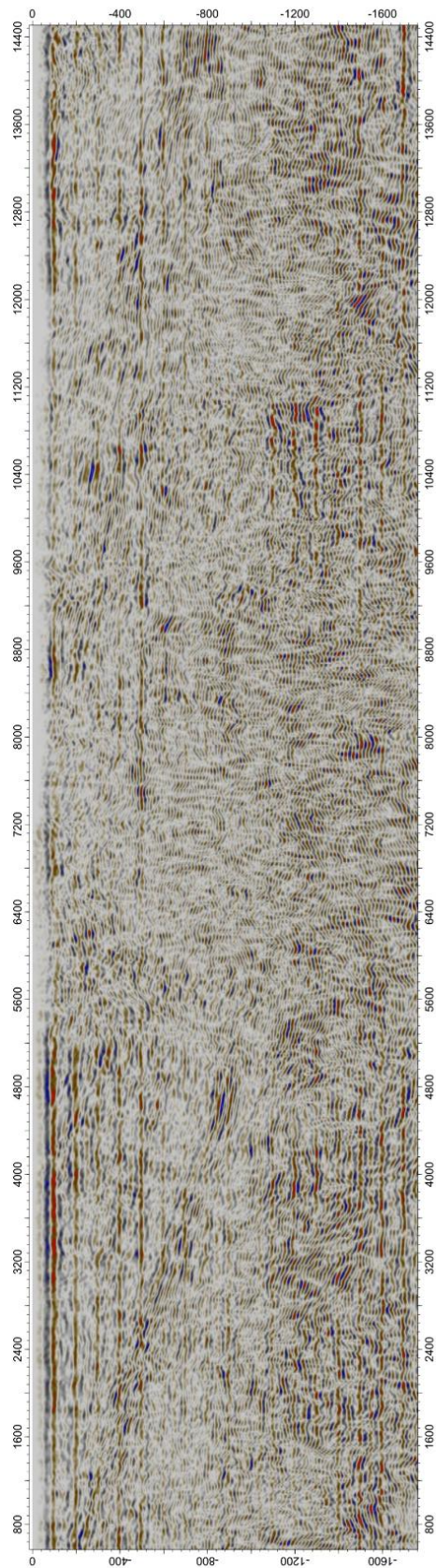


Seizmički refrakcijski profil 6 - 6' SAMOBOR-1-79

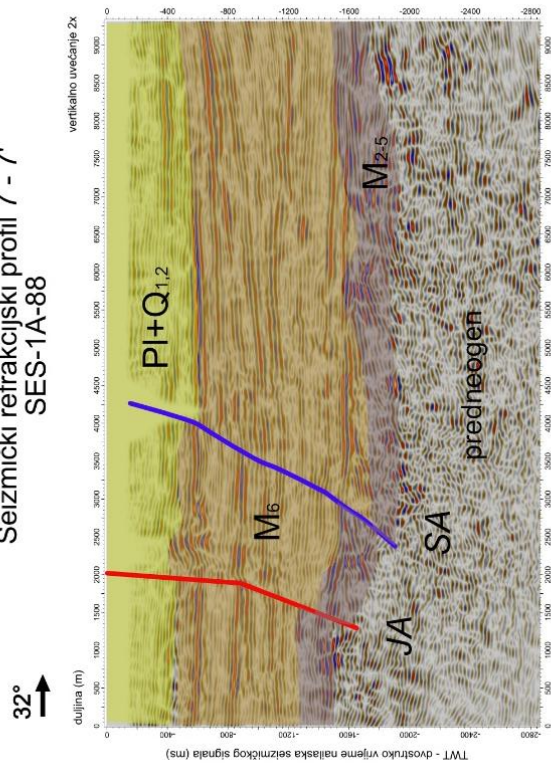
117° ↑



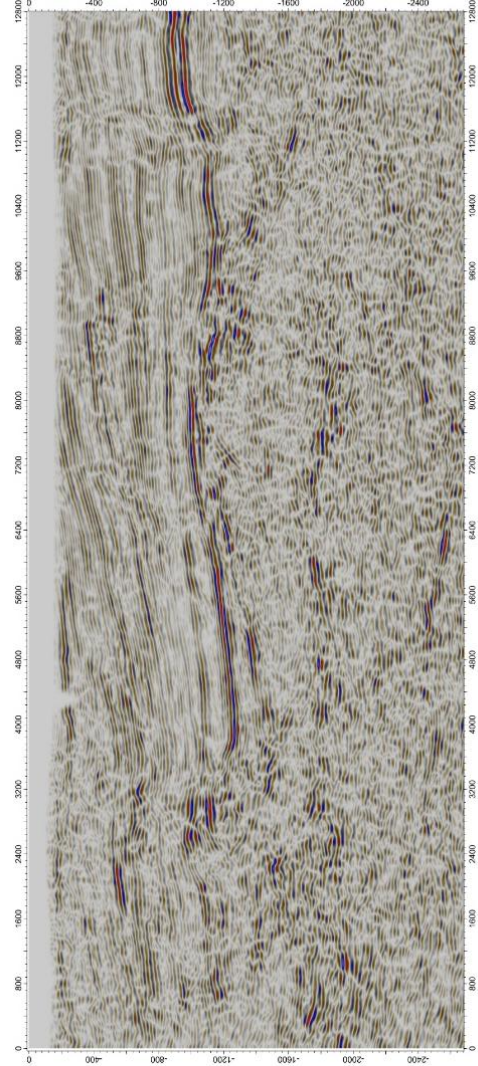
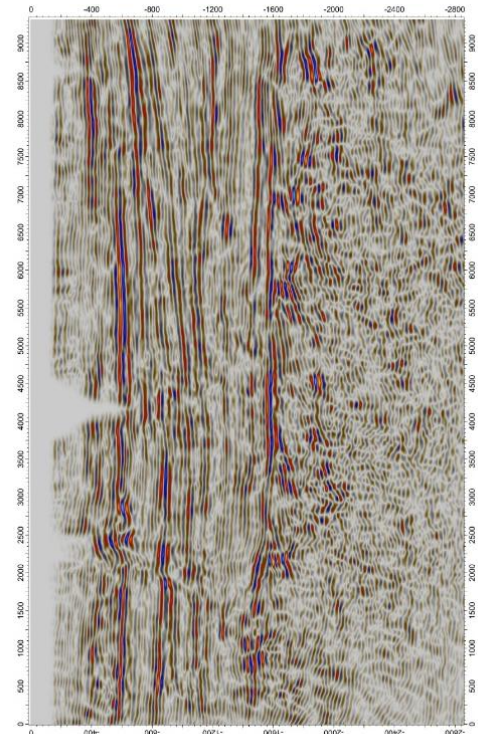
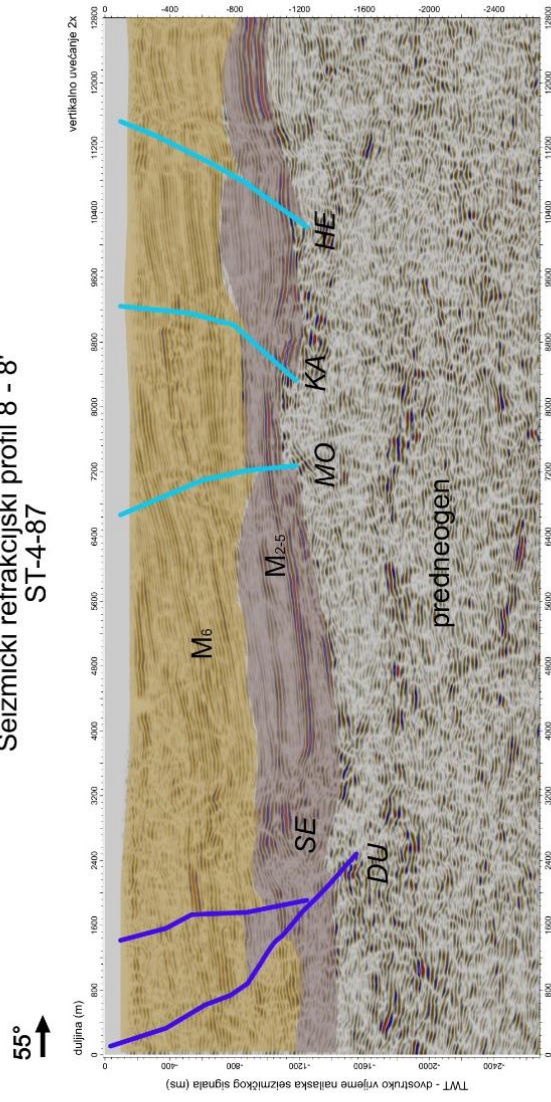
TWT - dvostruko vrijeme nalaska seizmičkog signala (ms)

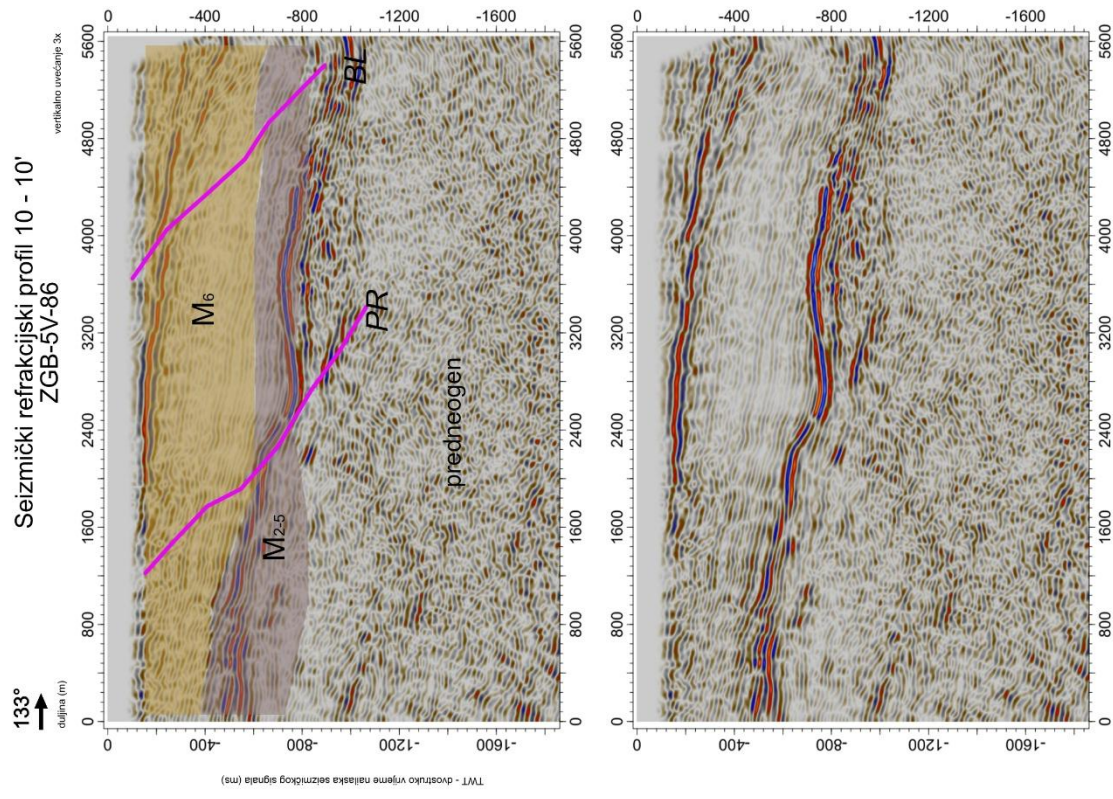
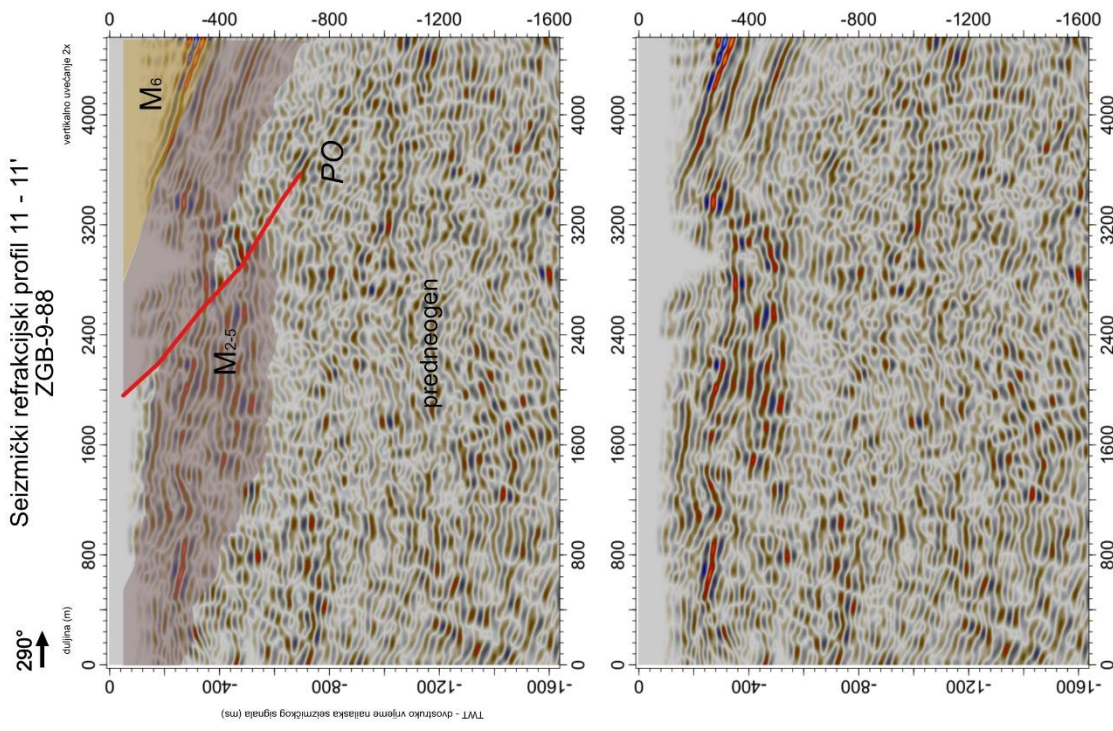


Seizmički refrakcijski profil 7 - 7'
SES-1A-88



Seizmički refrakcijski profil 8 - 8'
ST-4-87





**PRILOG XI. KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA S
POTENCIJALNO AKTIVNIM RASJEDIMA**

KARTA SEIZMIČKE MIKROZONACIJE GRADA ZAGREBA S POTENCIJALNO AKTIVNIM RASJEDIMA ŠIREG PODRUČJA

Doktorski rad: Nikola Belić, 2026

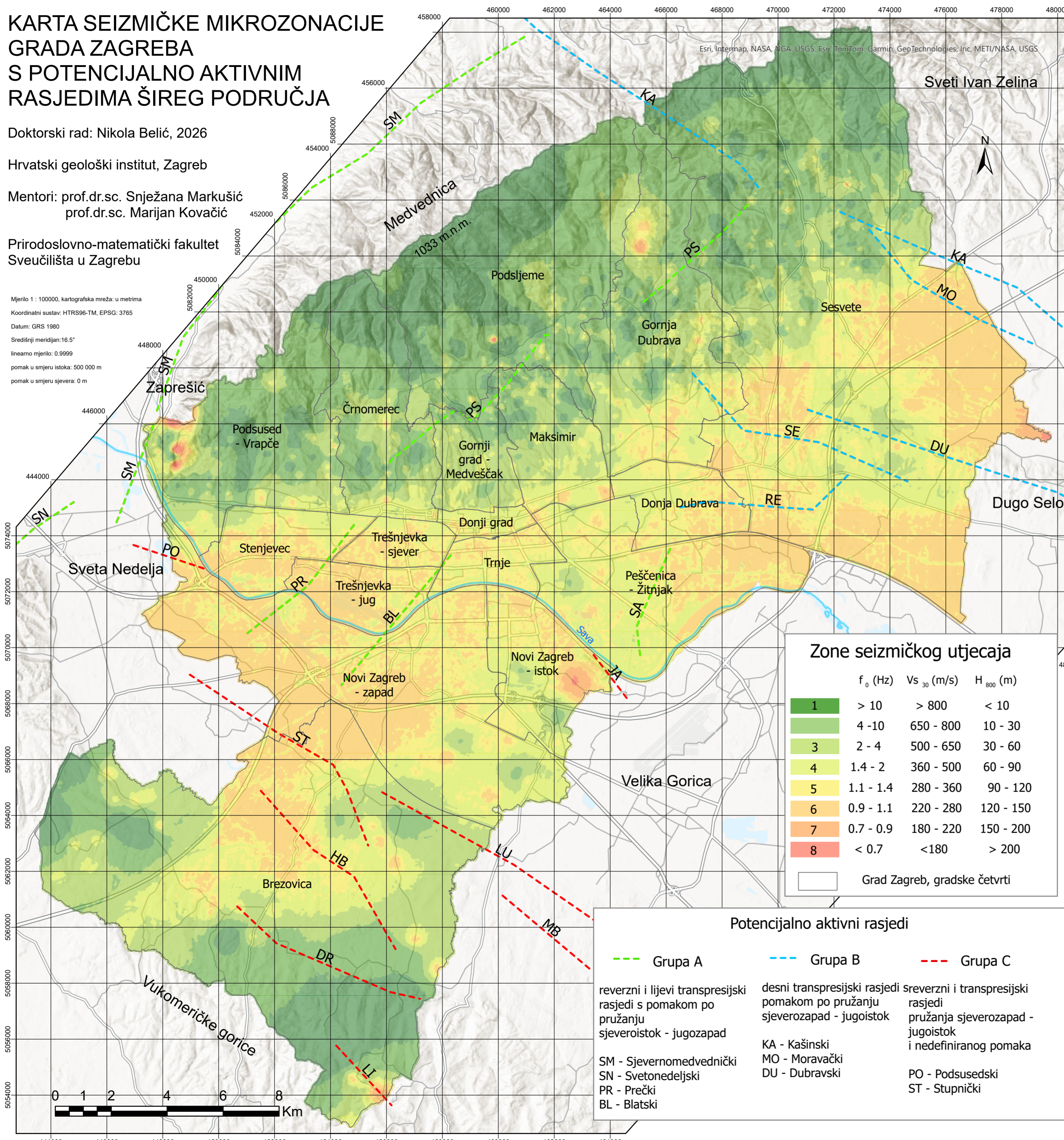
Hrvatski geološki institut, Zagreb

Mentori: prof.dr.sc. Snježana Markušić
prof.dr.sc. Marijan Kovačić

Prirodoslovno-matematički fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

Mjerilo 1 : 100000, kartografska mreža: u metrima
Koordinatni sustav: HTRS96-TM, EPSG: 3765

Datum: GRS 1980
Središnji meridijan: 16.5°
linearno mjerilo: 0.9999
pomak u smjeru istoka: 500 000 m
pomak u smjeru sjevera: 0 m



Zone seizmičkog utjecaja

	f_0 (Hz)	V_{s30} (m/s)	H_{800} (m)
1	> 10	> 800	< 10
2	4 - 10	650 - 800	10 - 30
3	2 - 4	500 - 650	30 - 60
4	1.4 - 2	360 - 500	60 - 90
5	1.1 - 1.4	280 - 360	90 - 120
6	0.9 - 1.1	220 - 280	120 - 150
7	0.7 - 0.9	180 - 220	150 - 200
8	< 0.7	< 180	> 200

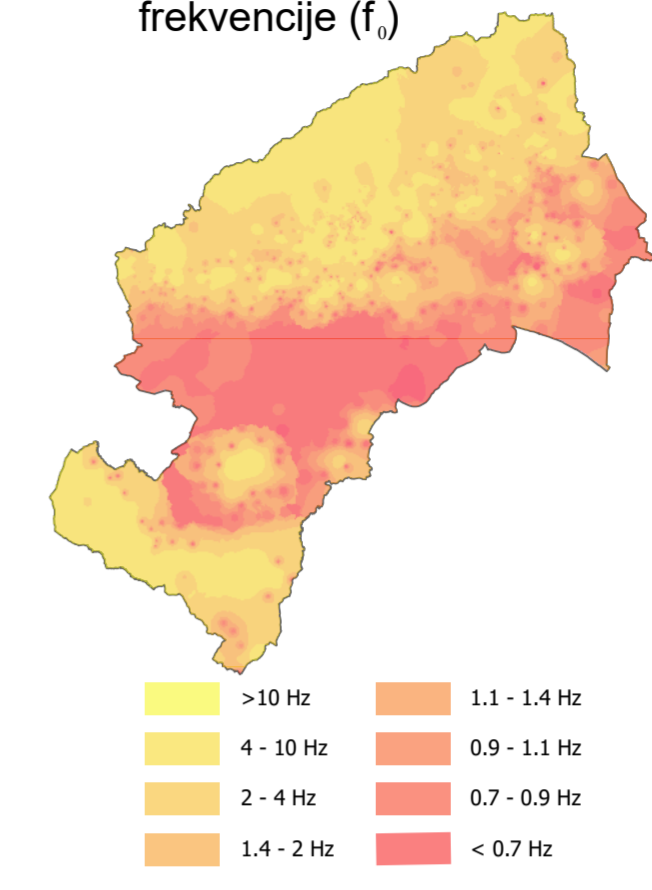
Grad Zagreb, gradske četvrti

Potencijalno aktivni rasjedi

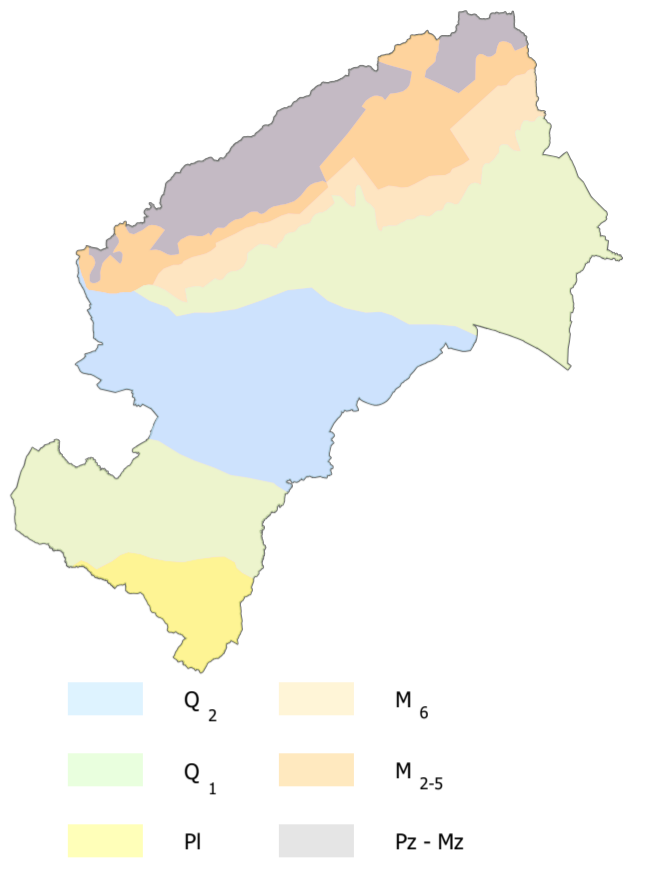
Grupa A	Grupa B	Grupa C
reverzni i lijevi transpresijski rasjedi s pomakom po pružanju sjeveroistok - jugozapad	desni transpresijski rasjedi pomakom po pružanju sjeverozapad - jugoistok	sreverzni i transpresijski rasjedi pružanja sjeverozapad - jugoistok i nedefiniranog pomaka
SM - Sjevernomedvednički SN - Svetonedeljski PR - Prečki BL - Blatski	KA - Kašinski MO - Moravački DU - Dubravski	PO - Podsusedski ST - Stupnički

Set ulaznih podataka

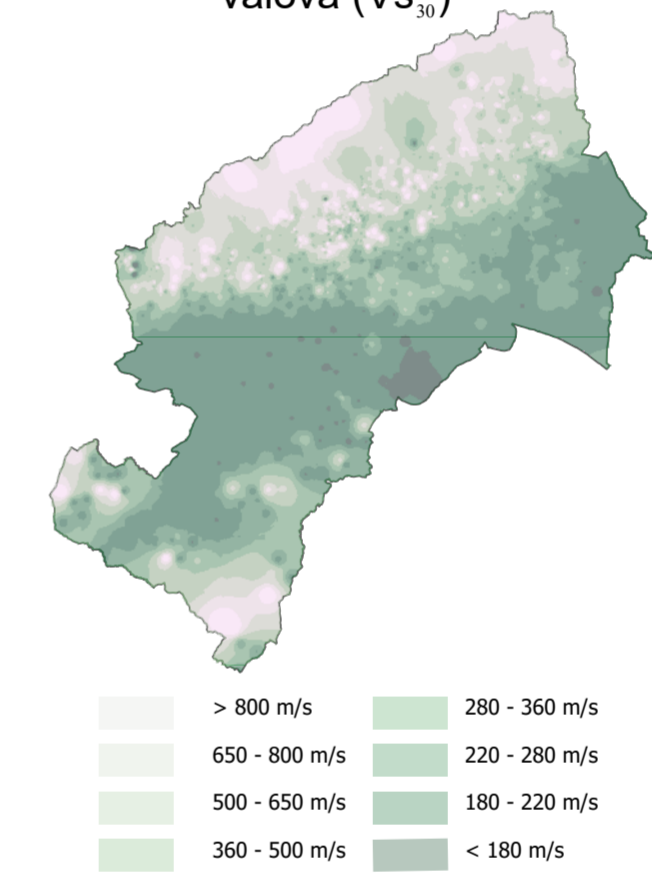
Karta temeljne rezonantne frekvencije (f_0)



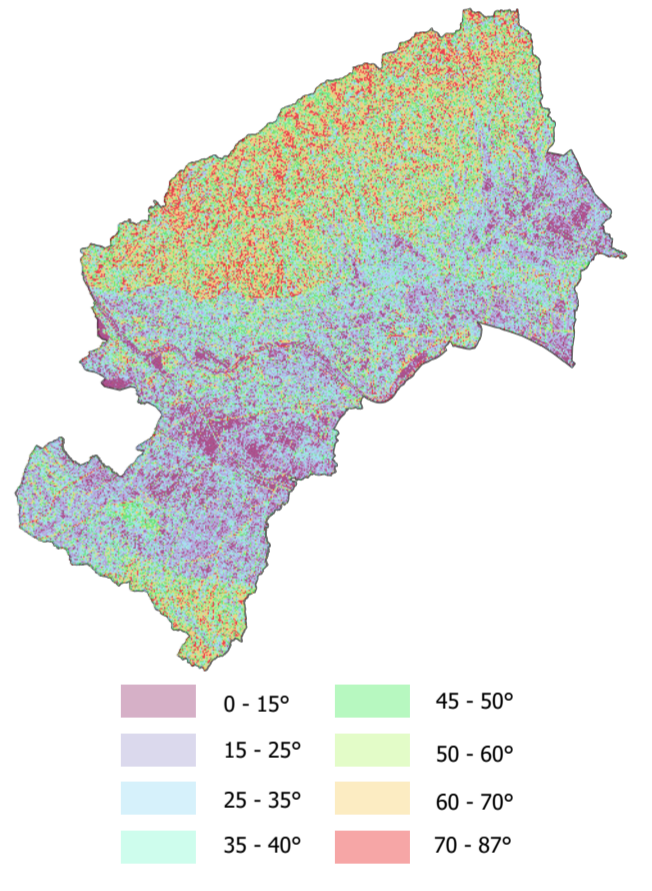
Pojednostavljena geološka karta



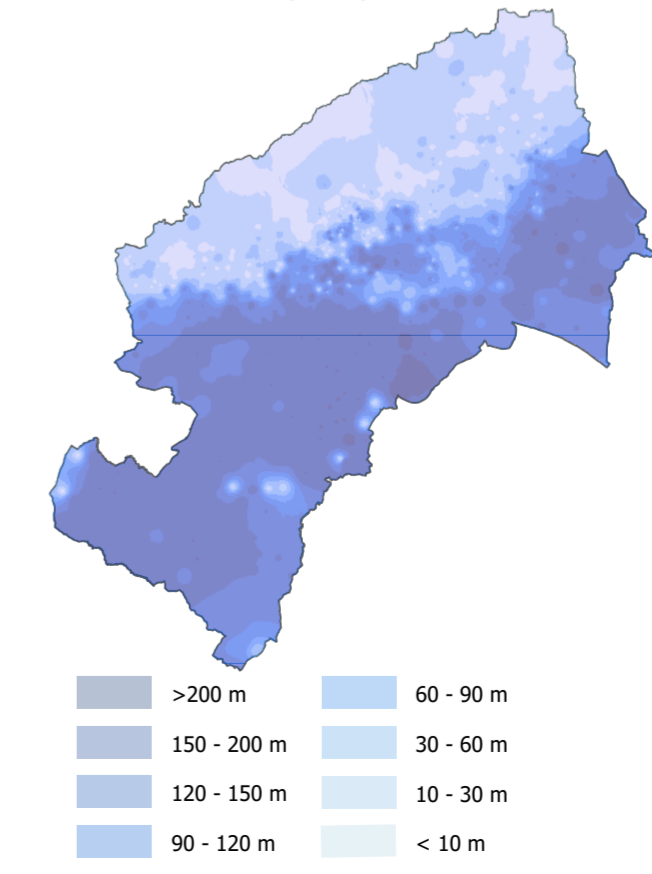
Karta prosječne brzine posmičnih valova (V_{s30})



Karta nagiba terena



Karta dubina do osnovne stijene (H_{800})



Karta distribucije magnituda potresa

