

Zagreb, 22.3.2020, potres M=5.5

PROCJENA AMPLIFIKACIJE POTRESNOGA GIBANJA

UTJECAJ LOKALNIH UVJETA TLA

Izradio dr.sc. Davor Stanko

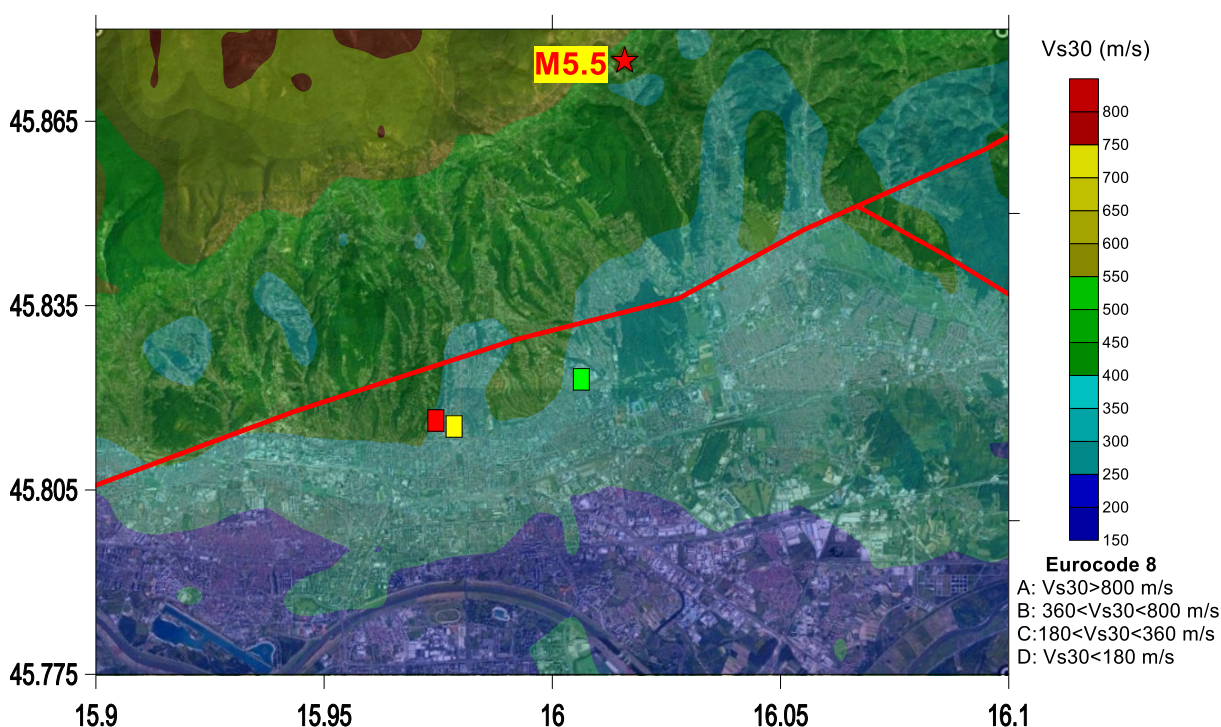
UVOD

Na oštećenja nastala na nekoj lokaciji osim magnitude potresa i epicentralne udaljenosti, znatan utjecaj imaju lokalni uvjeti tla, pri čemu dolazi do amplifikacije (ili de-amplifikacije) zbog promjena značajki upadnog seizmičkoga gibanja (amplituda, frekvencija, duljina trajanja) od osnovne stijene do površine tla. **Naravno, dinamička svojstva i konstrukcija građevine još uvijek igraju najvažniju ulogu!**

Procjena odziva lokalnoga tla radi se u svrhu predviđanja amplifikacije površinskoga gibanja za slučajeve potencijalnih potresa, za potrebe protupotresne gradnje ili rekonstrukcije postojećih građevina, kako bi se u slučaju potresa smanjile materijalne štete i spasili ljudski životi.

Općenito, amplifikacija površinskoga gibanja ovisi o svojstvima lokalnoga tla (osnovni period tla, V_S - smična brzina pojedinačnih slojeva, V_{S30} - prosječna brzina V_S u gornjih 30m profila tla) i ulaznom gibanju (PGA_{ROCK} – vršna akceleracija na čvrstoj stijeni).

Za potrebe analize utjecaja lokalnih uvjeta tla na amplifikaciju seizmičkoga površinskog gibanja u Zagrebu, prikazana je karta V_{S30} prema kategorizaciji tla u Eurokodu 8.



Slika 1. V_{S30} karta užeg zagrebačkog područja prema USGS modelu V_{S30} -topografije (<https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>).

Žuti pravokutnik označava lokaciju-KATEDRALE, crveni SABORA, zeleni KBC ZAGREB.

Ucrtani su rasjedi prema Ivančić i sur. (2006) (<https://hrcak.srce.hr/16723>)

POTRESNI SCENARIJ, Zagreb, 22.3.2020, potres M=5.5

Random Vibration Theory (seismological source model):

M=5.5, Re= 1 km, h=10 km → $PGA_{ROCK} = 0.159-0.185$ g (u epicentru)

PROCJENA AMPLIFIKACIJE PREMA V_{S30} (EC8)

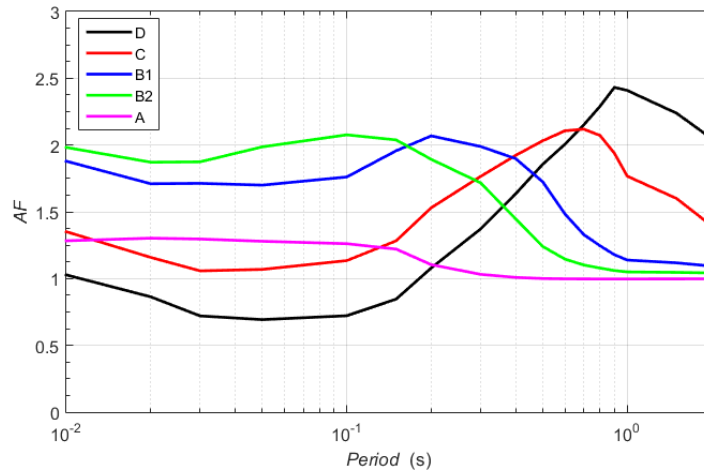
Izrađeno prema modelu Stanko i sur. (2020) (članak u pripremi)

$\ln(AF)$

$$= \begin{cases} a_{D(T)} + b_{1D}(T)\ln(PGA_{ROCK}) + b_{2D}(T)[\ln(PGA_{ROCK})]^2, & V_{S30} < 180 \text{ m/s} \\ a_C(T) + b_{1C}(T)\ln(PGA_{ROCK}) + b_{2C}(T)[\ln(PGA_{ROCK})]^2, & 180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s} \\ a_{B1}(T) + b_{1B1}(T)\ln(PGA_{ROCK}) + b_{2B1}(T)[\ln(PGA_{ROCK})]^2, & 360 \text{ m/s} < V_{S30} < 600 \text{ m/s} \\ a_{B2}(T) + b_{1B2}(T)\ln(PGA_{ROCK}), & 600 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s} \\ a_A(T), & 800 \text{ m/s} < V_{S30} \end{cases}$$

Najvažnije spoznaje o AMPLIFIKACIJI POTRESNOGA GIBANJA zbog utjecaja lokalnih uvjeta tla su:

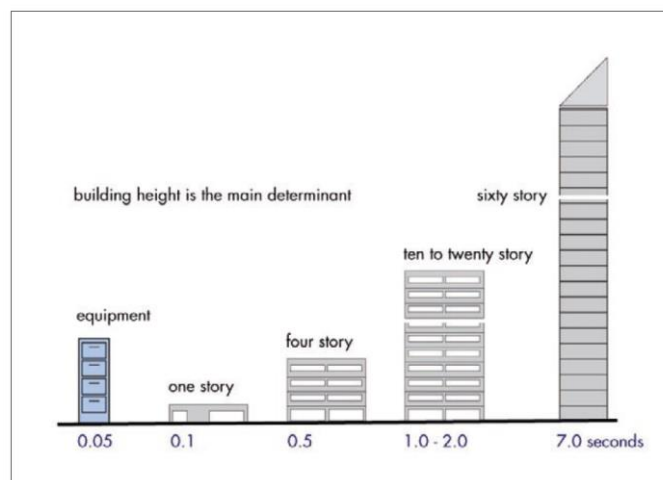
- Za pobudna gibanja manjih amplituda ($PGA_{ROCK} < 0.1$ g), potresno gibanje je najviše amplificirano u gornjim mekim slojevima tla, i vrijednost AF -a je najveća na vlastitom (ili rezonantnom) periodu tla, pogotovo za tla s manjim vrijednostima V_{S30} (najčešće gline, pijesci i šljunci) i debelim aluvijalnim slojevima iznad osnovne stijene.
- Za jača pobudna gibanja ($PGA_{ROCK} > 0.1$ g), tla s malim vrijednostima V_{S30} se ponašaju nelinearno, pri čemu se zbog nelinearnosti AF drastično smanjuje ispod $AF < 1$ na kratkim spektralnim periodima (uključujući $AF@PGA$), dok na vlastitom periodu dolazi do pomaka vrha $AF@PP$ prema većim spektralnim periodima.
- Kod čvrstih tala i stijena s većim iznosima V_{S30} , $AF@PGA$ i $AF@PP$ su najčešće uravnoteženi kroz cijeli raspon spektralnih perioda, i ne pokazuju ovisnost o PGA_{ROCK} , pogotovo iznad 0.10 s je $AF \approx 1.0 - 1.3$. Opažene manje amplifikacije $AF@PGA$ i $AF@PP$ za čvrsta tla i stijene s $V_{S30} > 560$ m/s kod kraćih spektralnih perioda (< 0.20 s), najčešće su rezultat interakcije plitke osnovne stijene i mekih površinskih slojeva tla.
- Za male i velike vrijednosti PGA_{ROCK} tj. slabe ili jake potresne scenarije, $AF(T)$ znatno varira kao funkcija spektralnog perioda s obzirom na vrstu lokalnoga tla (V_{S30}).
- Linearno ili nelinearno ponašanje amplifikacijskih faktora ovisno o spektralnom periodu za određenu vrstu građevine i seizmičko gibanje na osnovnoj stijeni PGA_{ROCK} važno je kod projektiranja protupotresnih građevina kako bi se potencijalno izbjegla rezonancija tlo–građevina ili za protupotresnu rekonstrukciju postojećih građevina za buduće potrese.
- **Poznavanje ovisnosti amplifikacije potresnoga gibanja ovisno o spektralnom periodu (frekvenciji) te poznavanje dinamičkih svojstava građevine (osnovna frekvencija, viši modovi, prigušenje) omogućuje procjenu potresne opasnosti postojećih građevina kao i ulazne parametre za protupotresnu gradnju novih građevina. Također, ti podaci se mogu iskoristiti i za protupotresnu rekonstrukciju postojećih (starijih) građevina.**



Slika 2. Ovisnost amplifikacijskog faktora AF o periodu za $PGA_{rock} = 0.159-0.185$ g. AF(T) krivulja predstavlja prosjek za pojedinu Vs30 kategoriju prema Eurocode 8.

NAJVEĆE ŠTETE (prema dostupnim informacijama) NA UŽEM ZAGREBAČKOM PODRUČJU SU U KATEGORIJI:

- C (crvena krivulja), period 0.4-0.9 s ili frekvencije 2.5-1.11 Hz.
 - Zgrade visine od 4 do 15 katova.
- B1 (plava krivulja), period 0.1-0.5 s ili frekvencije 10-2 Hz.
 - Obiteljske kuće i zgrade visine do 4 kata.

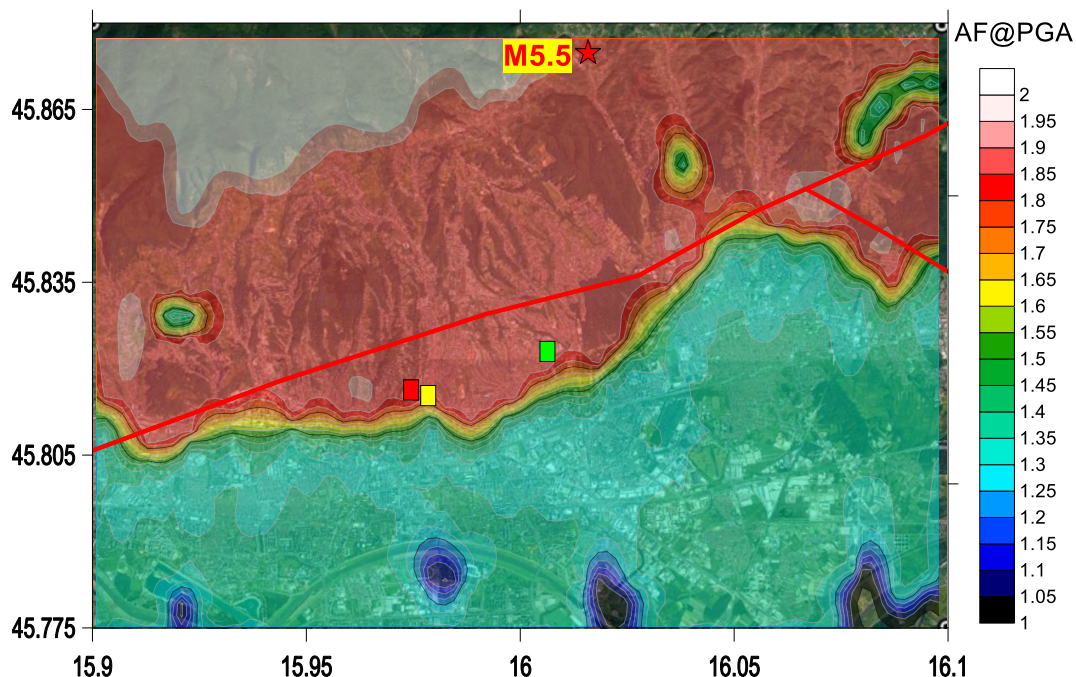


Slika 3. Ovisnost rezonantnog (osnovnog) perioda o visini građevine, $T=0.016H$ (Gallipoli et al. 2010).

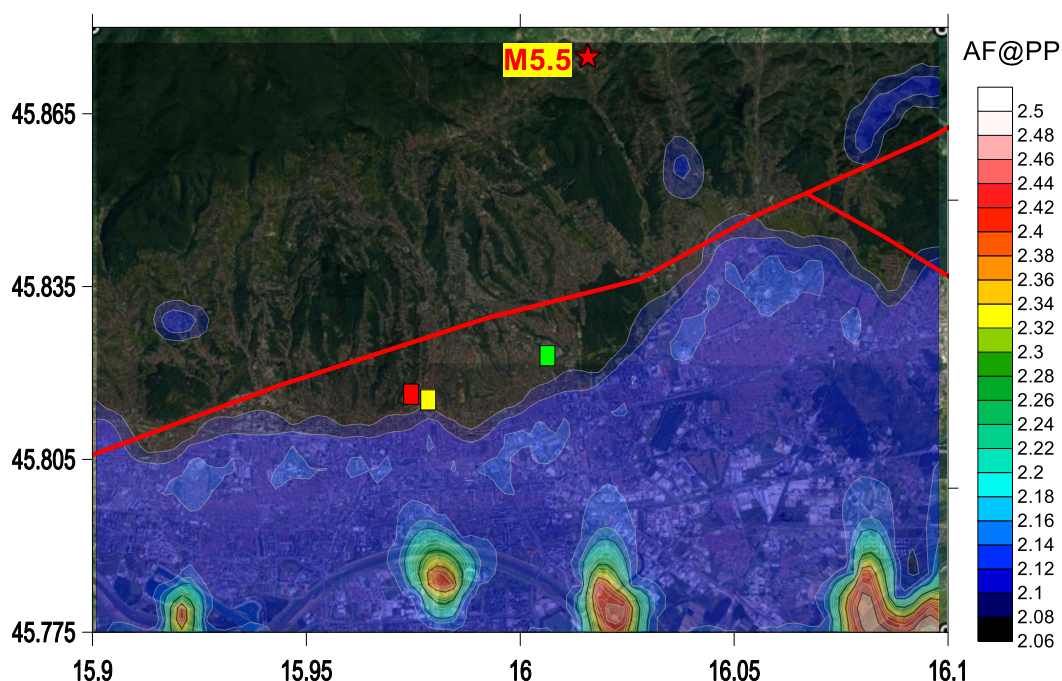
ZA IZBJEGAVANJE **REZONANCIJE POTRESNO GIBANJE-TLO-GRAĐEVINA**, na „mekom tlu“ koje ima manje vrijednosti Vs30 tj. veći period (nižu frekvenciju) najbolje je graditi građevine niskog perioda (visoke frekvencije). U slučaju gradnje visokih građevina na određenom lokalnom tlu, potrebno je uzeti u obzir poznavanje osnovnog perioda tla i amplifikacije potresnoga gibanja kako bi se smanjila mogućnost pojave rezonancije.

Godina izgradnje, vrsta građevnog materijala, temelji građevine te starija tipična gradnja ili novija protupotresna gradnja uz poznavanje rezonantnih svojstava građevine igraju veliku ulogu u nastaloj šteti od potresa što se moglo uočiti u kod ovog potresa!

**PROCJENA AMPLIFIKACIJE POTRESNOGA GIBANJA
NA UŽEM ZAGREBAČKOM PODRUČJU**



Slika 4. Amplifikacija potresnoga gibanja na površini: AF@PGA. Amplifikacija potresnoga gibanja Podsljemenske zone je otprilike 1.6–1.8 ulaznog gibanja od 0.185g, dok je amplifikacija centralnog dijela oko 1.4–1.6, a aluvijalnog savskog dijela nešto niža (oko 1.3) zbog nelinearnog ponašanja pijeska i šljunka na upadno potresno gibanje od 0.185g.



Slika 5. Amplifikacija potresnoga gibanja na rezonantnom periodu: AF@PP. Amplifikacija potresnoga gibanja na rezonantnom periodu lokalnog tla prema Vs30 kategoriji je od 2.1 u Podsljemenskoj zoni do 2.2 u centralnom i do 2.4 u aluvijalnom savskom dijelu.

ŠTO TO ZNAČI ZA ZAGREBAČKE GRAĐEVINE?

- **Hrvatski sabor (izvor Begović Pejić, Višnjević, 2012)**
 - frekvencija = 3.16 Hz, period = 0.31 s
 - B1 kategorija, period 0.1–0.5 s ili frekvencije 10–2 Hz.
 - AF@PGA \approx 1.8 (na površini)
 - AF@PP \approx 2.08 (na rezonantnom periodu)
 - Godina gradnje: 18.stoljeće, renovirana mnogo puta.
 - Rezonancija potresnog gibanja-tlo-građevina + starija gradnja – **uzrok štete.**
- **Katedrala-južni toranj (izvor Begović Pejić, Višnjević, 2012)**
 - frekvencija = 1.08 i 1.4 Hz, period = 0.92 s i 0.71 s
 - C kategorija, period 0.4–0.9 s ili frekvencije 2.5–1.11 Hz.
 - AF@PGA \approx 1.75 (na površini)
 - AF@PP \approx 2.10 (na rezonantnom periodu)
 - 1880-1902. Obnova katedrale. Katedrala s dva visoka zvonika izvana i vitkim stupovljem iznutra dobiva današnji neogotički izgled. Do danas je katedrala mnogo puta obnovljena i ojačana.
 - Rezonancija potresnog gibanja-tlo-građevina (vrh tornja) – **potencijalni uzrok štete.**
- **KBC Zagreb (podaci o frekvenciji i periodu nepoznati)**
 - C kategorija, period 0.4–0.9 s ili frekvencije 2.5–1.11 Hz.
 - AF@PGA \approx 1.75 (na površini)
 - AF@PP \approx 2.08 (na rezonantnom periodu)
 - Godina gradnje: 1942
 - **Uzrok štete** – urušavanje starijih građevnih elemenata zbog jače potresne trešnje.

ZAKLJUČAK

Procjena amplifikacije potresnoga gibanja na zagrebačkom području za potres 22.3.2020. magnitude 5.5 i procijenjene vršne akceleracije 0.159-0.185g iznosi:

- Amplifikacija potresnoga gibanja na površini u Podsljemenskoj zoni i centralnom zagrebačkom području je otprilike 1.5–1.8,
- Amplifikacija potresnoga gibanja na površini aluvijalnog savskog dijela je oko 1.3 zbog nelinearnog ponašanja pijeska i šljunka na jako upadno potresno gibanje,
- Amplifikacija potresnoga gibanja na rezonantnom periodu lokalnog tla prema Vs30 kategoriji je oko 2.1–2.2 u Podsljemenskoj zoni i centralnom zagrebačkom području,
- Amplifikacija potresnoga gibanja na rezonantnom periodu lokalnog tla prema Vs30 kategoriji je oko 2.4 u aluvijalnom savskom dijelu,

Očigledno je šteta na starijim građevinama (građene prije 1964.godine) uzrokovana jakom amplificiranom potresnom trešnjom u odnosu na novije građevine koje su građene prema seizmičkim proračunima u kojima je amplifikacija potresnoga gibanja djelomično uzeta u obzir prema Eurocode 8 normi i Vs30 kategoriji lokalnog tla. Nažalost, i mnogo stradalih obiteljskih kuća nije protupotresno građeno, pogotovo uzimajući u obzir seizmičke proračune i utjecaj lokalnih uvjeta tla tj. lokalnu amplifikaciju.

Neophodno je da se za svaku građevinu radi seizmički proračun i procjena lokalne amplifikacije. U konačnici, takvi proračuni i njihova implementacija u protupotresnu gradnju će smanjiti štetu nastalu od budućih potresa, kao i spasiti ljudske živote. Također, ti podaci se mogu iskoristiti i za protupotresnu rekonstrukciju postojećih (starijih) građevina.