



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu

Prof.dr.sc. Stjepan Lakušić

Katarina Vranešić

Doc.dr.sc. Ivo Haladin

Prof.dr.sc. Stjepan Lakušić, Katarina Vranešić, doc.dr.sc. Ivo Haladin
Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Sadržaj

- Uvod
- Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu
 - Utjecaj potresa na donji ustroj kolosijeka
 - Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka
- Utjecaj potresa na signalno-sigurnosne uređaje i gornji vod, signale
- Utjecaj potresa na vlakove u pokretu
- Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu
- Zaključak



Uvod

- Potresna aktivnost opisuje se intenzitetom potresa te maksimalnom akceleracijom tla
- Zabilježene frekvencije potresnih valova u rasponu su **od 0.1 do 30 Hz**
- Magnituda potresa definira kolika količina energije se oslobodi tijekom potresa
- Kada je riječ o oštećenju građevinskih konstrukcija, važniju ulogu igra gibanje tla koje je definirano pomoću vrijednosti vršne akceleracije tla

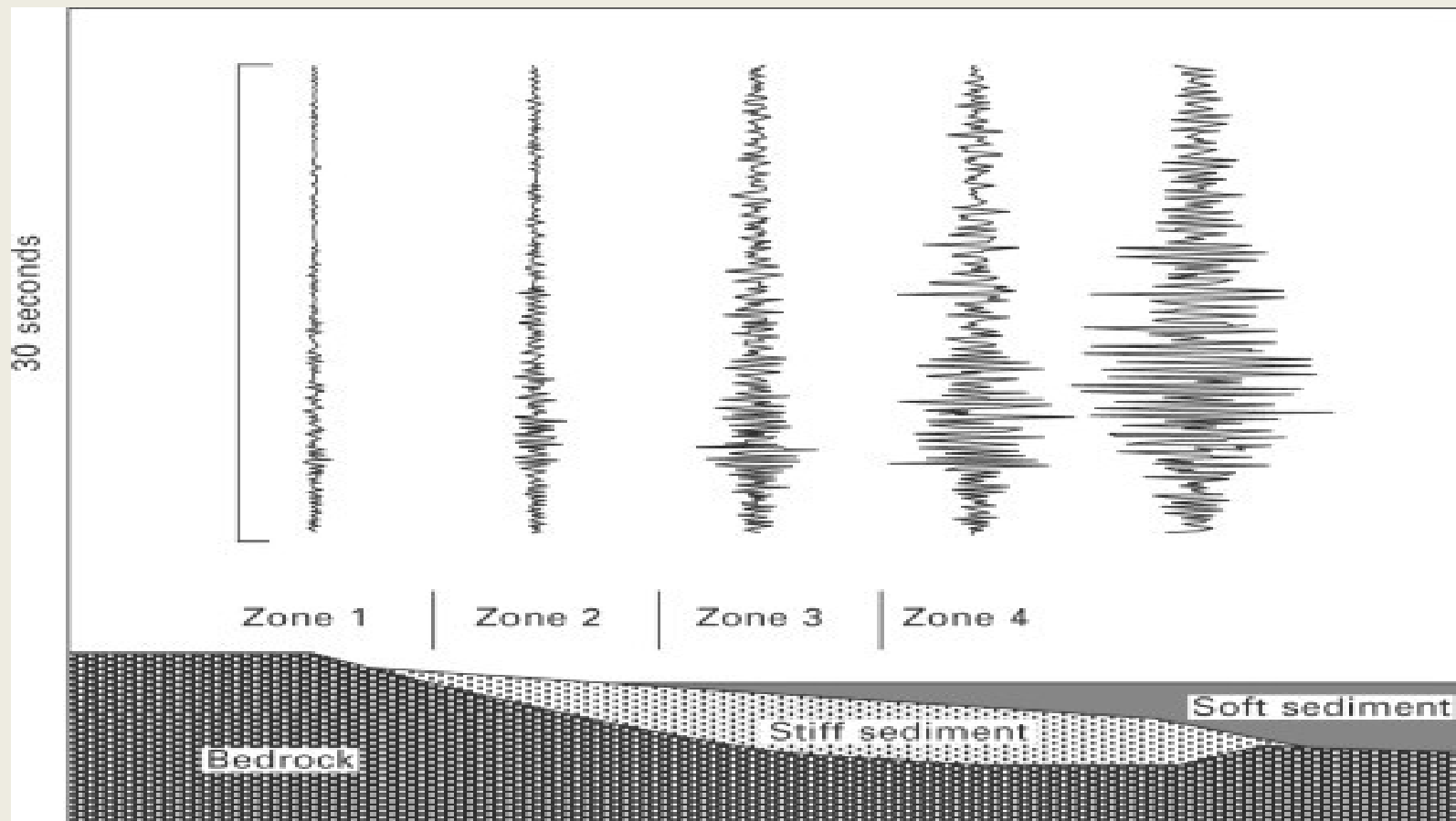
Prikaz pojedinih jačina potresa u odnosu na akceleraciju tla i posljedice koje prouzroči

| Mercallijeva ljestvica | Richterova ljestvica | a_{\max} [m/s ²] | Posljedice |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|--|
| I | 1 | < 0.01 | Potres se može jedino zabilježiti pomoću mjernih uređaja |
| VI | 5.3-5.9 | 0.29 – 0.98 | Moguća su neznatna oštećenja |
| XII | >9 | > 19.6 | Razorne katastrofe na vrlo velikom području |

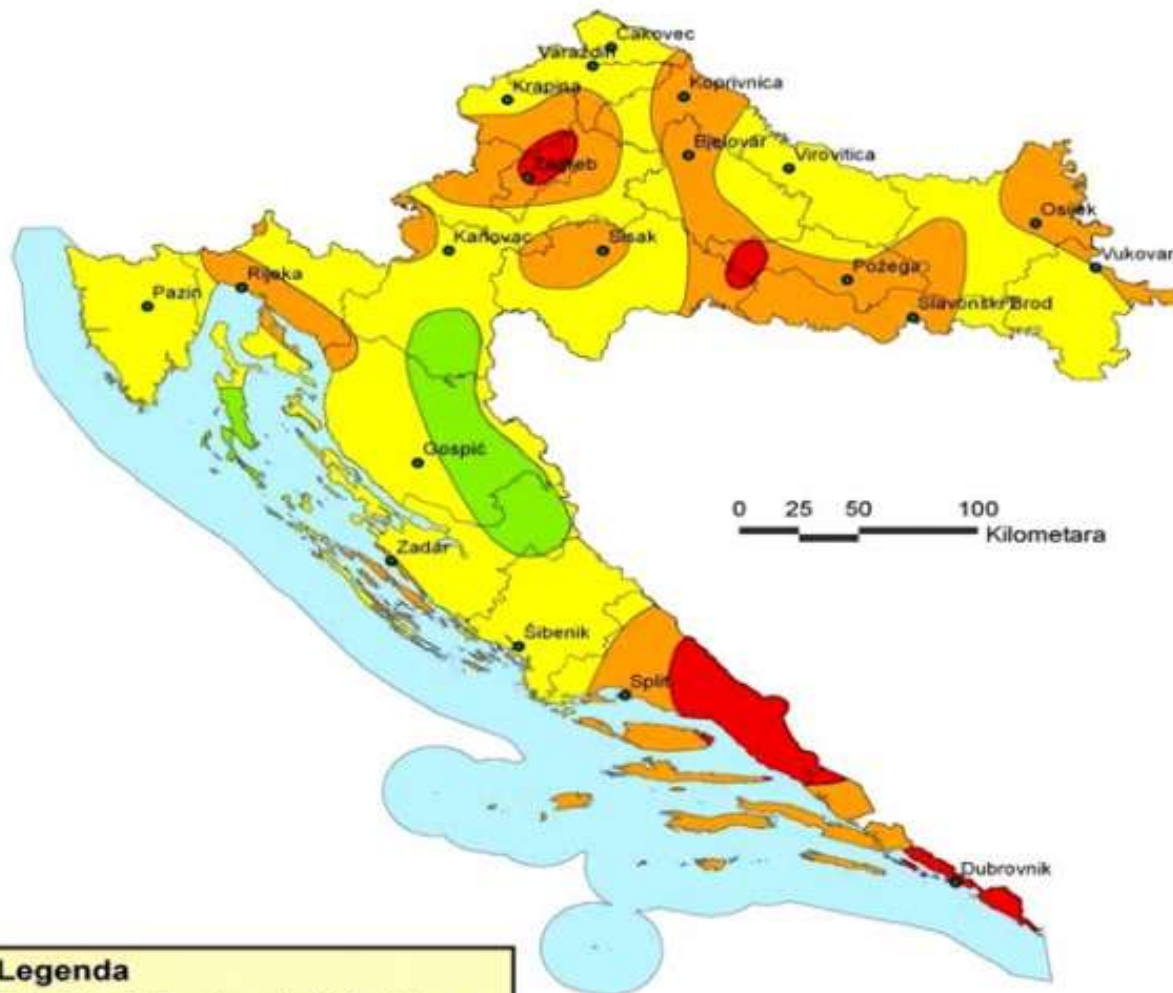


Uvod

- Jačina potresa ovisi o tipu tla



Seizmološka karta za povratni period 500 godina



Legenda

Područja s očekivanim maks. intenzitetom (MSK-64) uz vjerovatnost premašaja navedenih vrijednosti od 10 % u 50 god. razdoblju

- Područje intenziteta 6
- Područje intenziteta 7
- Područje intenziteta 8
- Područje intenziteta 9
- Granice županija
- More

1:3.000.000

Uvod

| Datum | Mjesto | Magnituda |
|-------------|--------------------|-----------|
| 08.10.1909. | Pokuplje | 5.8 |
| 12.03.1916. | Vinodol | 5.8 |
| 27.03.1938. | Novigrad Podravski | 5.6 |
| 29.12.1942. | Imotski | 6.2 |
| 11.01.1962. | Makarska | 6.1 |
| 13.04.1964. | Dilj Gora | 5.7 |
| 05.09.1996. | Ston-Slano | 6.0 |
| 22.03.2020. | Zagreb | 5.5 |





OŠTEĆENJE KONSTRUKCIJA



OŠTEĆENJE DONJEG I GORNJEG USTROJA



LIKVEFAKCIJA TLA



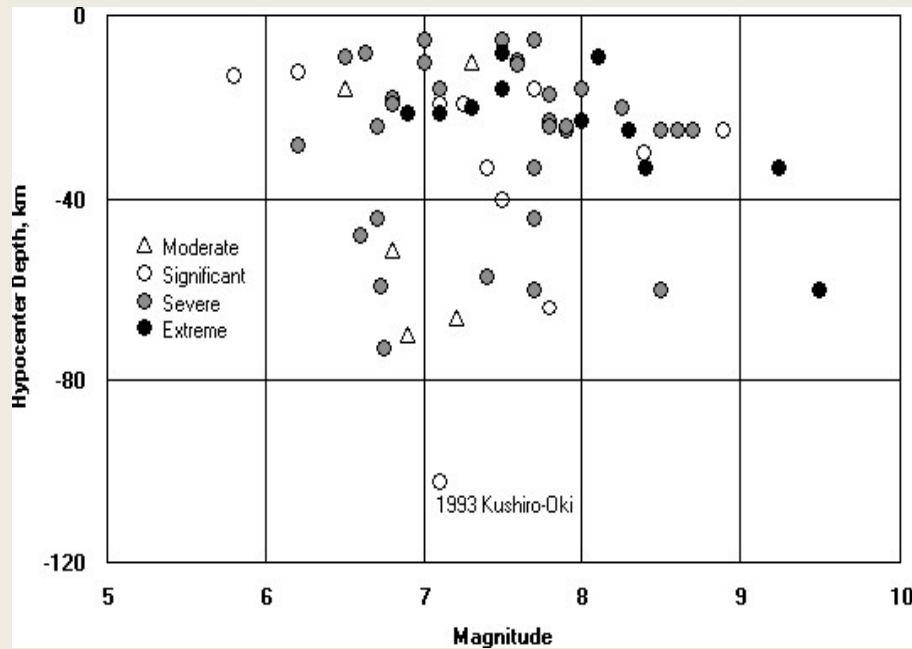
ISKLIZNUĆE VLAKOVA

Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu

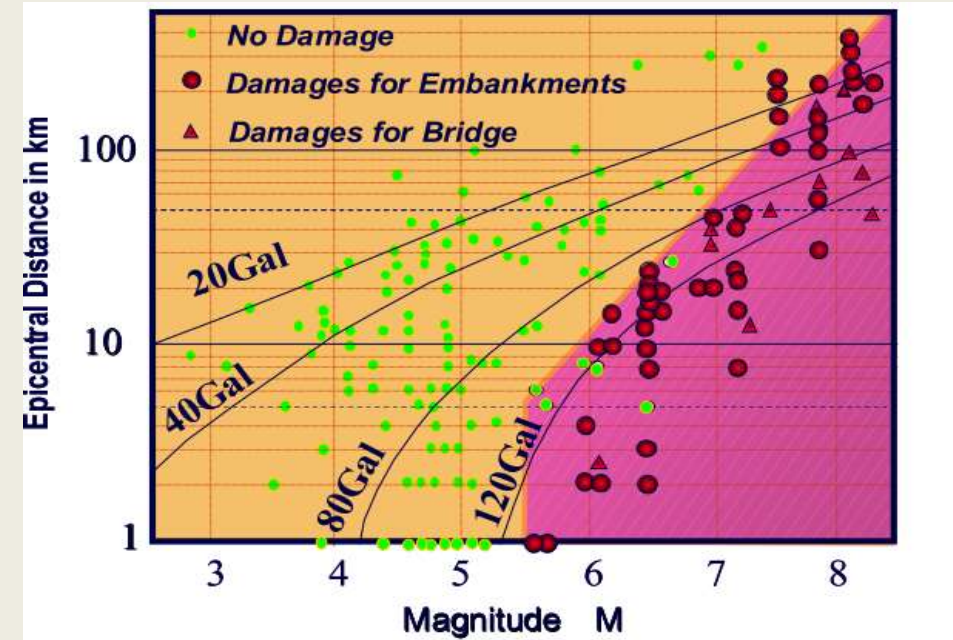


KLIZIŠTA

Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu



Analiza potresa različite magnitude i dubine hipocentra s obzirom na oštećenja koja su izazvali na kolosiječnim konstrukcijama



Utjecaj magnitude i udaljenosti epicentra na oštećenje željezničke infrastrukture

Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu

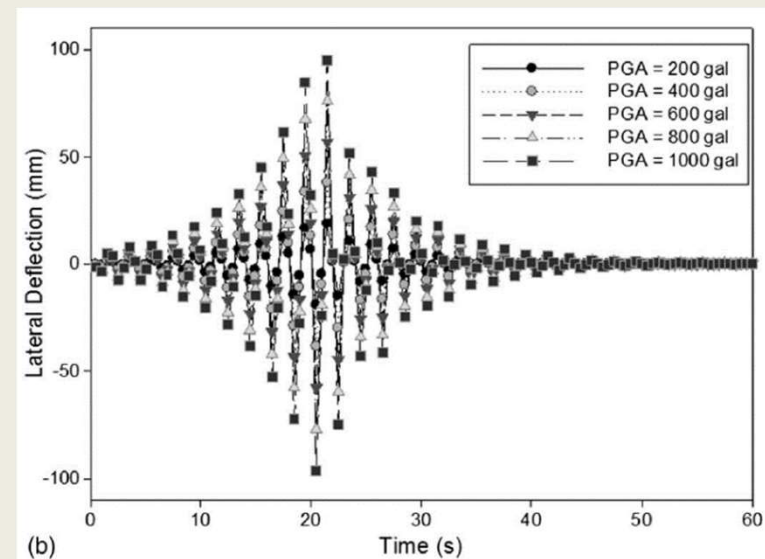
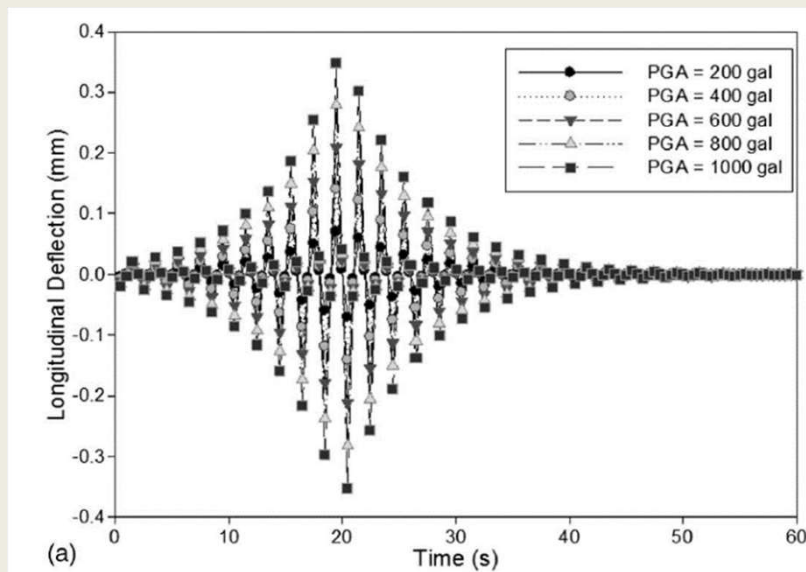
- Snažni potresi - velika oštećenja na donjem ustroju kolosijeka
 - **Velike degradacije gornjeg ustroja**
 - **Promet nije moguć bez velikih mjera sanacija**
- Kod potresa koji neće uzrokovati degradacije donjeg ustroja, potrebno je obaviti kontrolu gornjeg ustroja kolosijeka kako bi se detektirala potencijalna oštećenja nastala uslijed djelovanja potresa



Utjecaj potresa na tračničku infrastrukturu

- S povećanjem vrijednosti akceleracije tla, dolazi do povećavanja izvijanja kolosijeka
 - Linearan rast uzdužnog (slika a) i bočnog izvijanja (slika b)

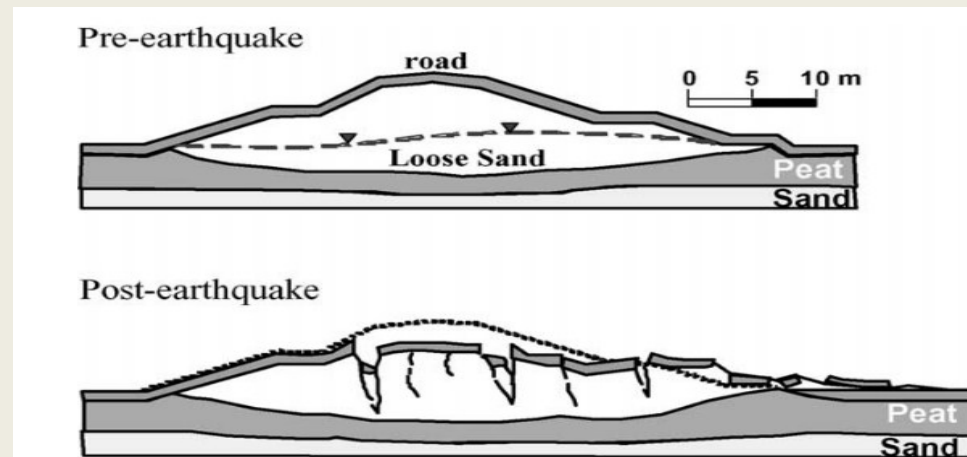
| Vrijednost akceleracije tla [m/s ²] | Uzdužno izvijanje [mm] | Bočno izvijanje [mm] |
|---|------------------------|----------------------|
| 2 | 0.07 | 20.35 |
| 10 | 0.35 | 101.80 |



Utjecaj potresa na donji ustroj kolosijeka

NASIPI

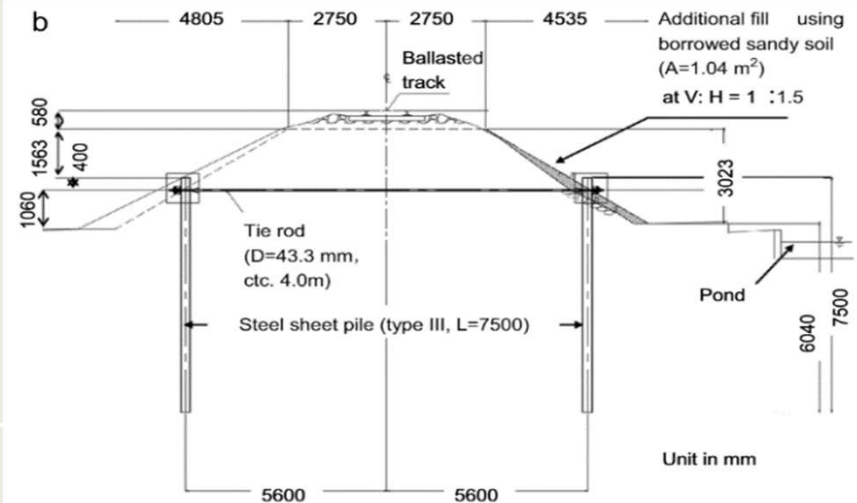
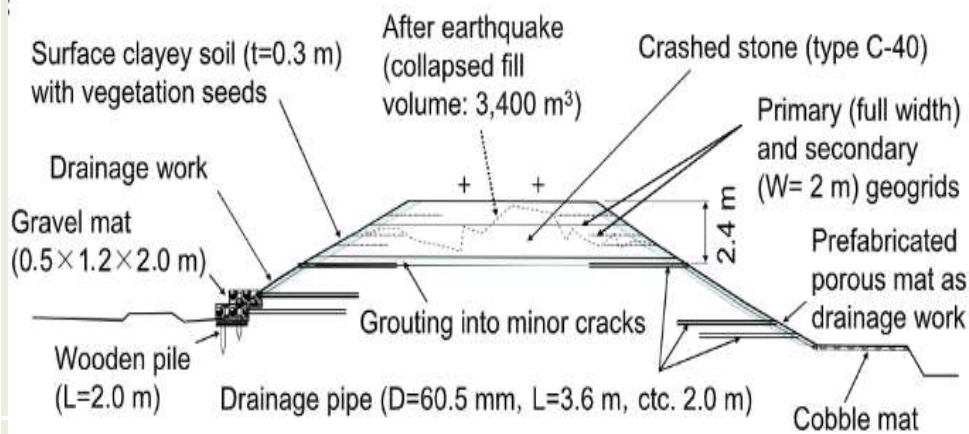
- Kada je riječ o seizmičkom djelovanju, nasipi predstavljaju znatno veću opasnost od usjeka, pri čemu je najbitniji parametar stabilnost pokosa nasipa
- Prirodna frekvencija željezničkog nasipa iznosi od 1 do 10 Hz
 - Širenje seizmičkog vala unutar ili oko željezničkog nasipa može izazvati **rezonancu nasipa**, što će se manifestirati pomacima u nasipu
- Česta pojava na cestovnim ili željezničkim nasipima je likvefakcija tla
 - Likvefakcija temeljnih slojeva može oštetiti sve konstrukcije koje se nalaze iznad njih
 - željeznički kolosijeci iznimno osjetljivi na ovakva oštećenja



Utjecaj potresa na donji ustroj kolosijeka

NASIPI

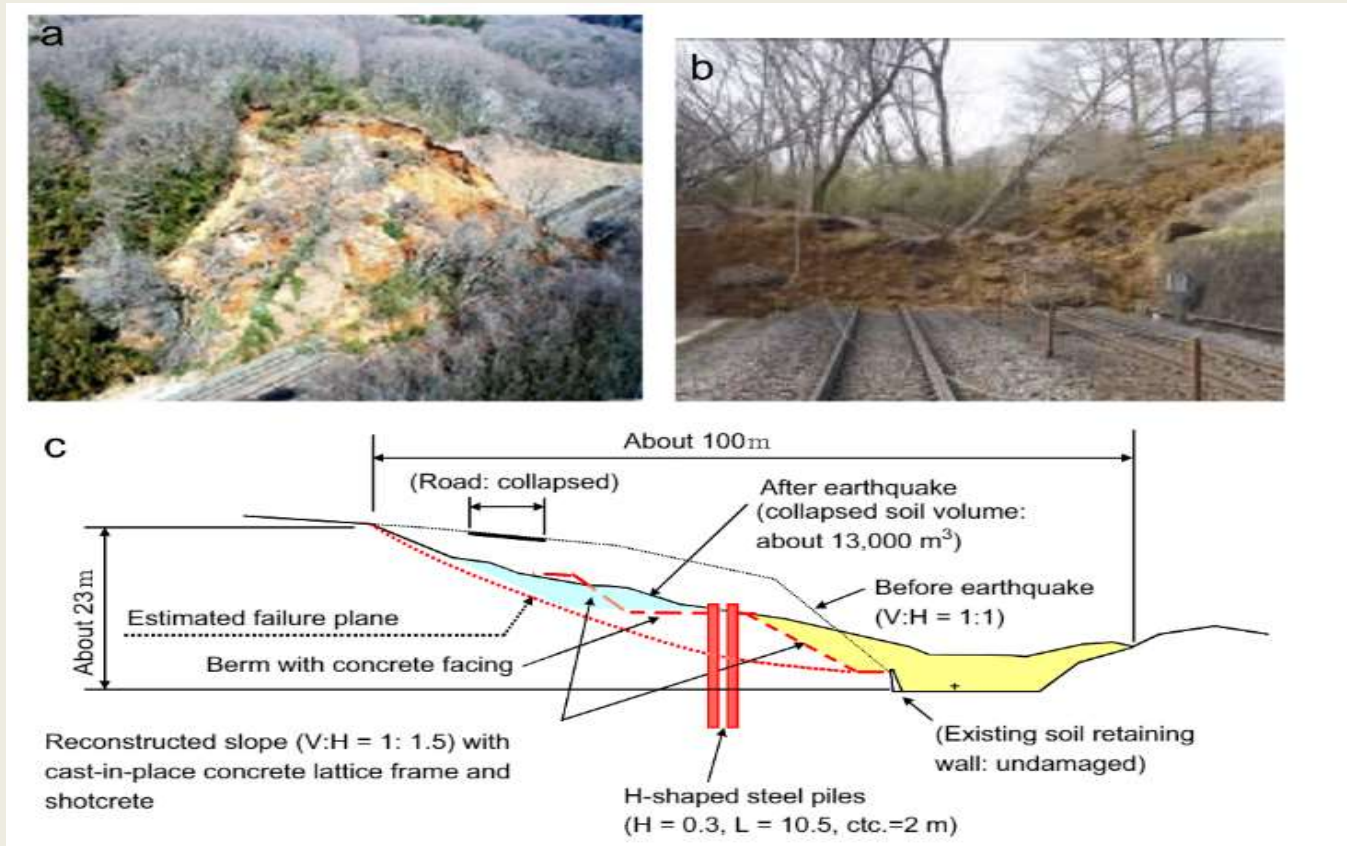
- Primjer propadanja nasipa uslijed potresa te rekonstrukcija



Ime i prezime predavača

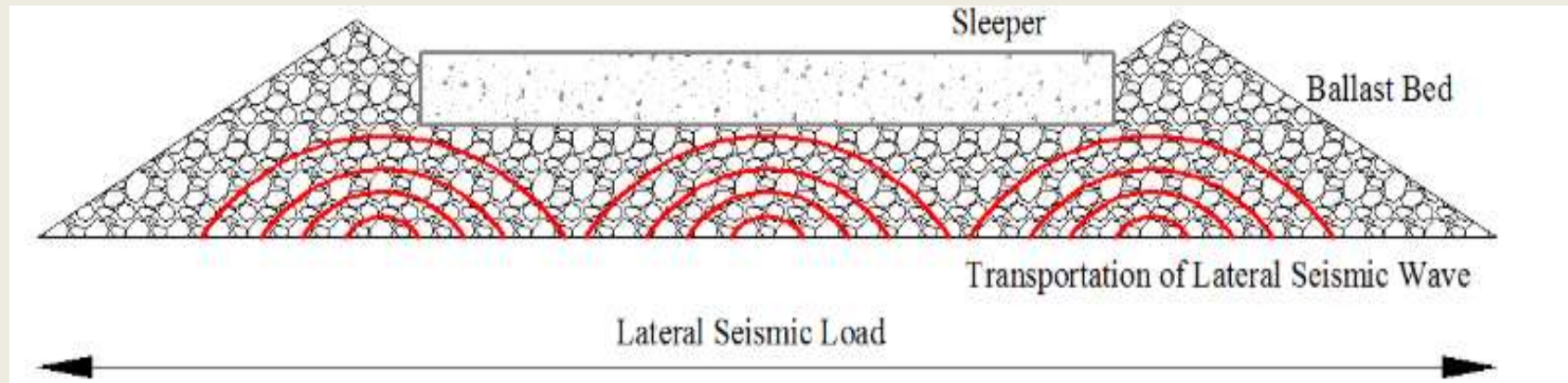
Utjecaj potresa na donji ustroj kolosijeka

USJECI



Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

ZASTORNA PRIZMA



- Pomicanje i premještanje materijala zastorne prizme
 - Slabiji kontakt između materijala, promjena lanca sile
 - Smanjuje se maksimalna i prosječna kontakta sila (zbog čega dobro zbijena zastorna prizma postaje rastresita)
- Klizanja materijala zastorne prizme
- Relativni pomaci između praga i čestica zastorne prizme



Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

ZASTORNA PRIZMA

- Kod akceleracije 6 m/s², uočene su određene promjene na bankinama zastorne prizme i na njezinom pokosu
- Kod akceleracije od 7 i 8 m/s², vidljive su značajne razlike između vibracija pragova i zastorne prizme
 - Znatna oštećenja zastorne prizme na pokosu i bankinama



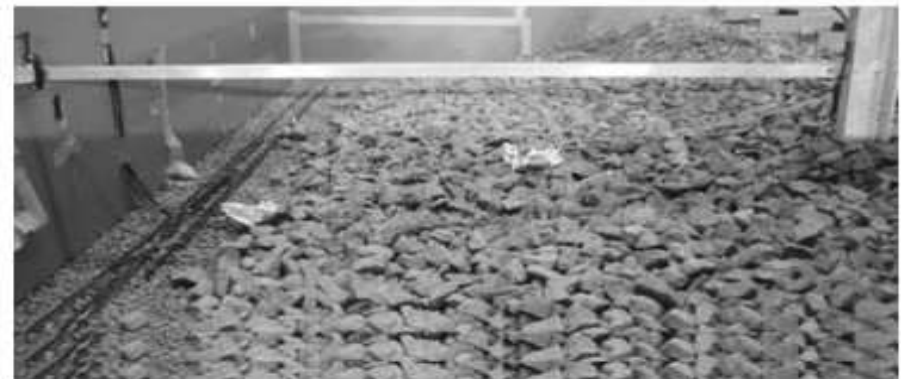
(1 Hz frequency, 500 gal maximum acceleration)



(1 Hz frequency, 700 gal maximum acceleration)



(1 Hz frequency, 600 gal maximum acceleration)

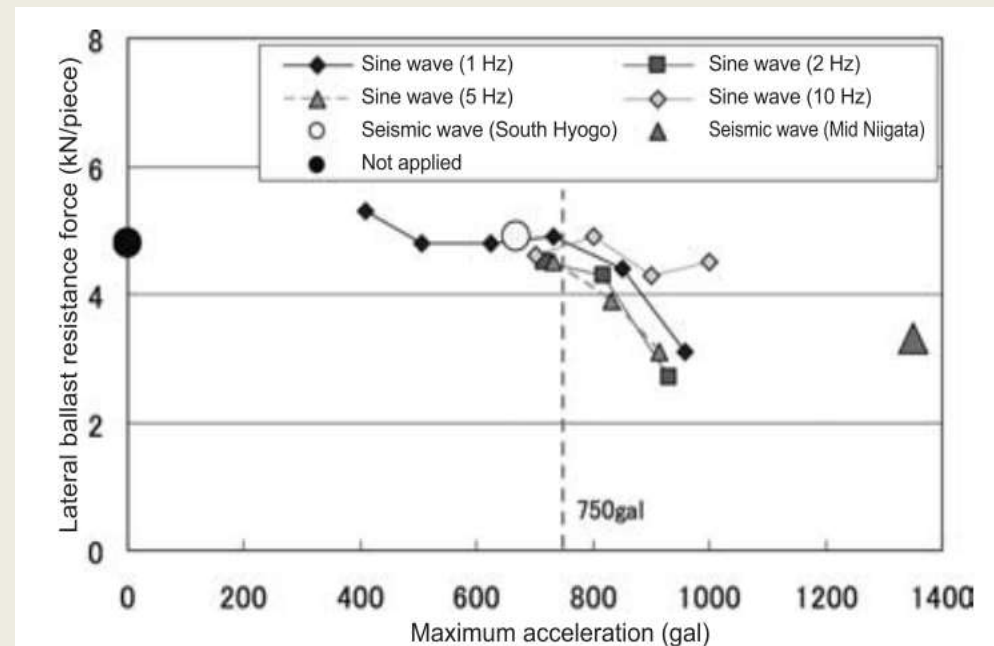


(1 Hz frequency, 800 gal maximum acceleration)

Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

ZASTORNA PRIZMA

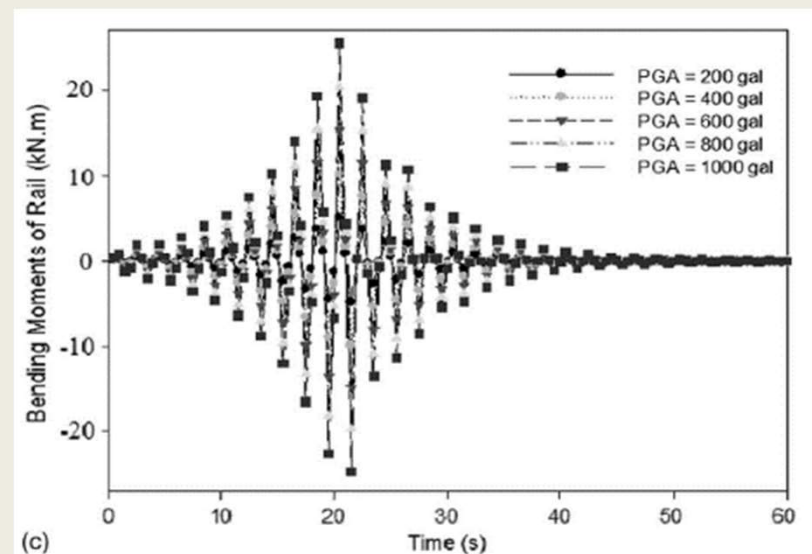
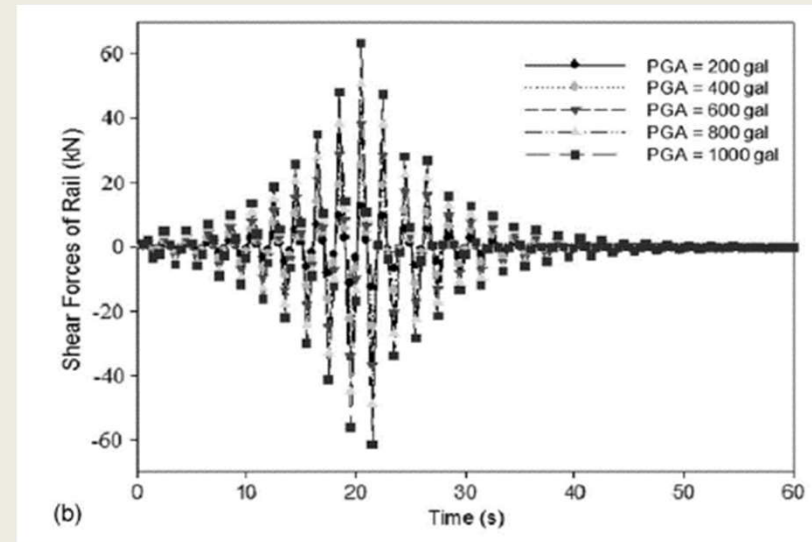
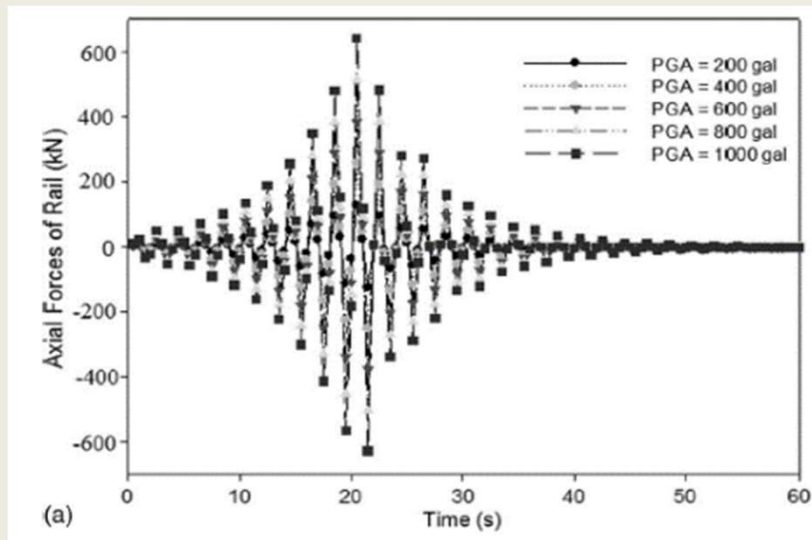
- Bočni otpor zastorne prizme smanjuje se s porastom maksimalne akceleracije
 - Kod akceleracije od 8 m/s² smanjenje iznosi 15%, dok nikakvo smanjivanje nije uočeno kod akceleracija do 7 m/s²
- Ne postoji značajna razlika u tendenciji smanjenja bočnog otpora zastorne prizme kod različitih frekvencija
- Kod materijala zastorne prizme koji nisu oštrobridni te imaju manji koeficijent trenja, smanjivanje bočnog otpora rezultira i ugrožavanjem stabilnosti kolosijeka



Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

TRAČNICE

- Aksijalne sile, sile smicanja, moment savijanja raste s povećavanjem akceleracije
 - I najveće vrijednosti manje od maksimalnih



Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

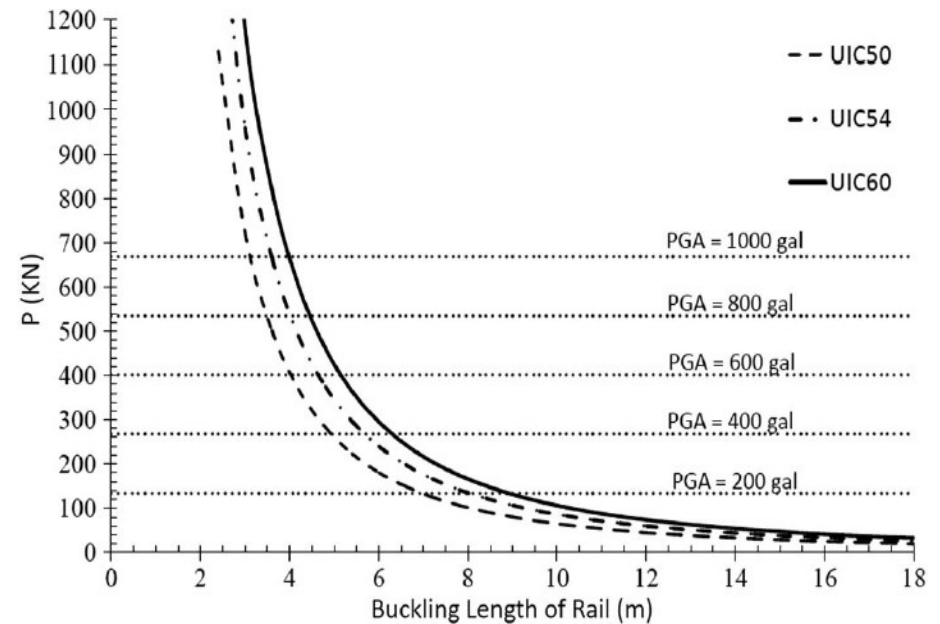
TRAČNICE

- Ukoliko su aksijalne sile veće od kritičkih sila tračnice, izvijanje će uzrokovati promjene u geometriji kolosijeka i odstupanju od njegove početne pozicije

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_e^2}$$

Pri čemu je:

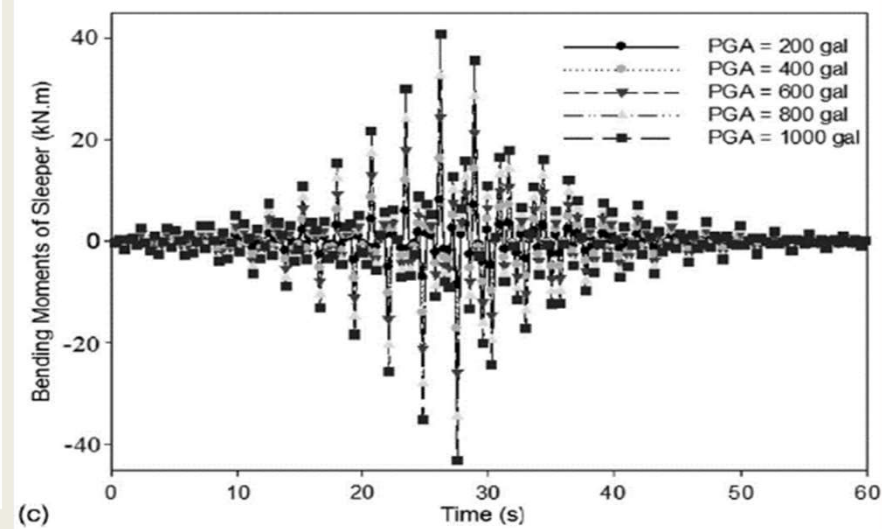
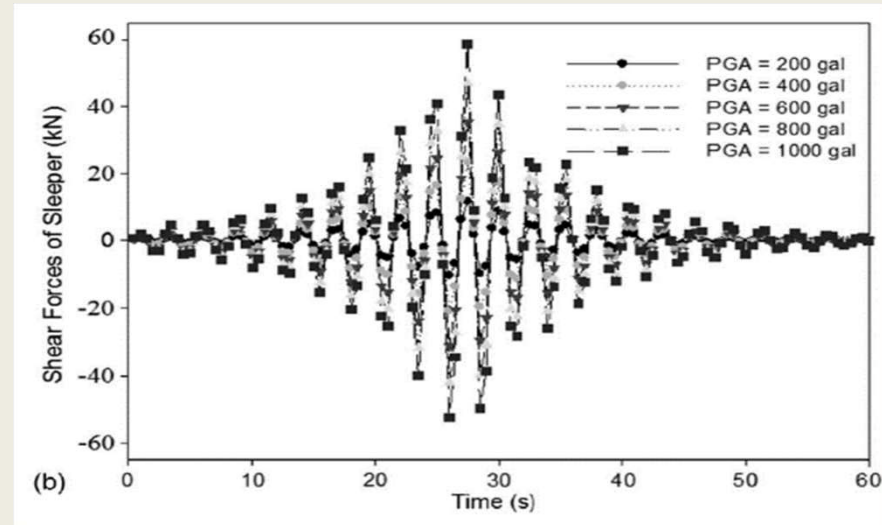
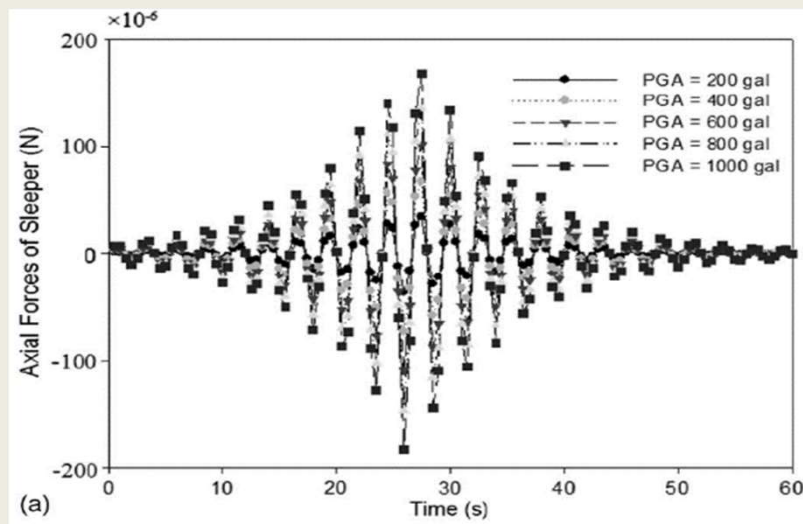
- P_{cr} – kritična sila tračnice
- E – modul elastičnosti tračnice
- I – moment inercije tračnice
- L_e – duljina izvijanja tračnice koja ovisi o geometrijskim karakteristikama i kvaliteti tračnice



Utjecaj potresa na gornji ustroj kolosijeka

PRAGOVI

- Bez obzira na jačinu seizmičke aktivnosti, pragovi neće imati nikakvih konstrukcijskih oštećenja
 - I najveće vrijednosti aksijalne sile, sile na smicanje i momenta savijanja manji od maksimalnih



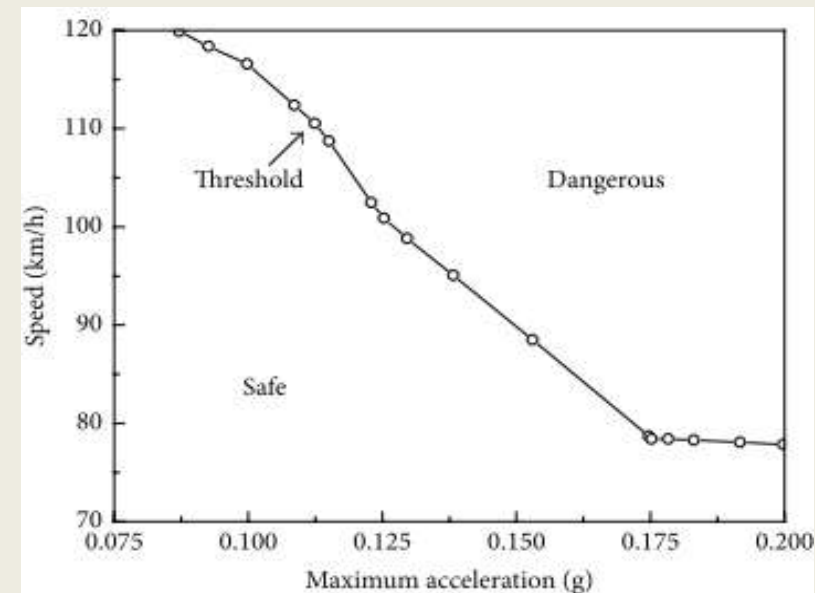
Utjecaj potresa na signalno-sigurnosne uređaje i gornji vod, signale

- **Potresi malih magnituda**
 - Signalno sigurnosni uređaji imat će mala oštećenja koja se vrlo brzo mogu sanirati
- **Potresi većih magnituda:**
 - **Lomovi signala** (nakon Gujrat potresa došlo je do oštećenja signalno sigurnosnih uređaja, zbog čega se nakon potresa skretnicama moralo upravljati ručno, a brzine vlakova bile su znatno ograničene)
 - **Naginjanje ili lom stupova kontaktne mreže**
 - **Prekid opskrbe strujom putem gornjeg voda** (slučaj u velikom potresu u Japanu 2011. godine)
 - **Oštećenja ispravljačkih stanica i opreme**
 - **Oštećenja na signalnoj opremi** (oštećenje signalnih kablova, releja zabilježeno je u mnogim potresima u Japanu)
 - **Deformacije tla uzrokuju naginjanje stupova za telekomunikaciju te ispadanje kablova**



Utjecaj potresa na vlakove u pokretu

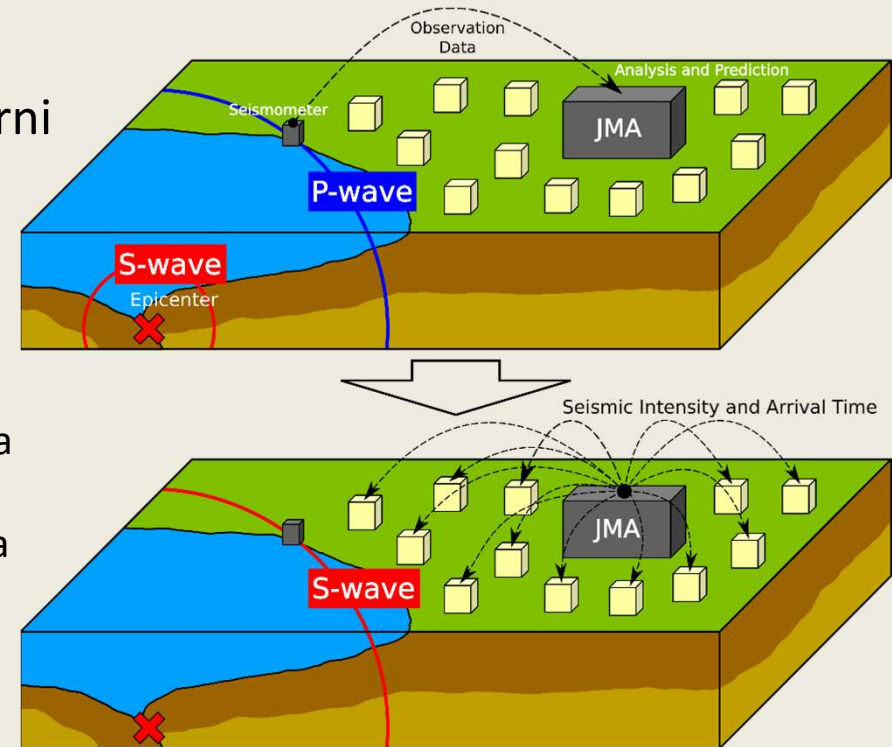
- Djelovanje potresa može uzrokovati penjanje vijenca kotača vozila na tračnicu i iskliznuća vozila
 - Kada na kotač vozila djeluju velike bočne sile, a vertikalne kontaktne sile su reducirane
 - Sigurnost vožnje definirana omjerom bočne i vertikalne kontaktne sile
 - Granične vrijednosti ovog omjera prema Europskim tehničkim specifikacijama za interoperabilnost (TSI) iznosi 0.8.
- Faktor iskliznuća povećava se s povećavanjem brzine
 - Kada brzina vlaka iznosi 90 km/h, faktor iskliznuća kod maksimalne akceleracije od 19.62 m/s^2 (2 g) premašuje dopuštenu vrijednost od 0.8
 - **Vlak s brzinom 70 km/h sigurno može prolaziti čak i kod maksimalnih vrijednosti akceleracije tla**



Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu

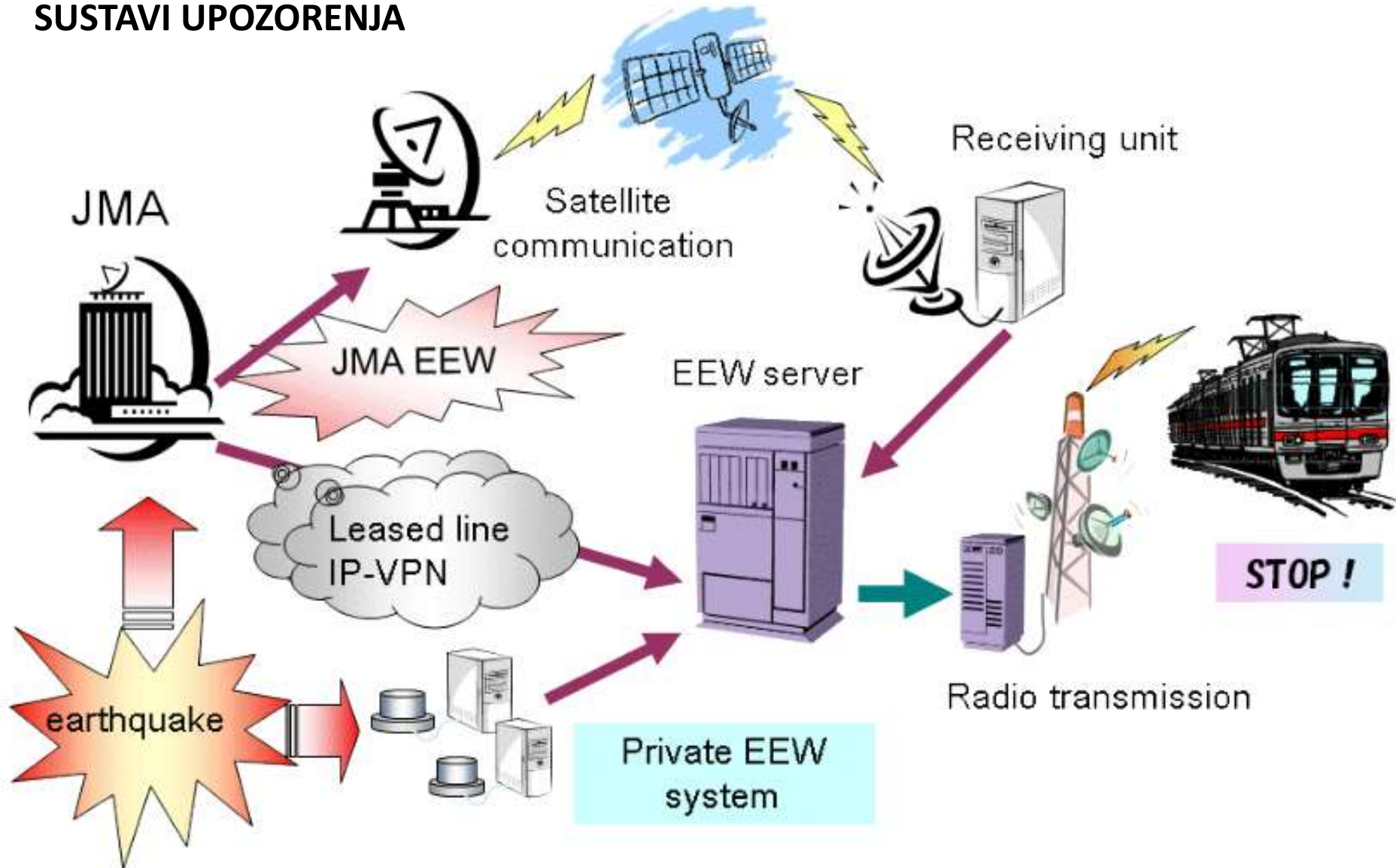
SUSTAVI UPOZORENJA

- Prilikom potresa P valovi, odnosno primarni valovi koji uzrokuju preliminarna podrhtavanja, kreću se znatno brže od S valova (sekundarnih) čije širenje rezultira oštećenjima koja nastaju od potresa
 - Razvijani su sustavi upozoravanja i zaustavljanja željezničkog prometa u slučaju potresa koji na temelju P valova detektiraju parametre potresa poput amplitude, udaljenosti epicentra i hipocentra potresa
 - Prekida se napajanje iz ispravljačkih stanica prema tračničkim vozilima i aktivira se sustav kočenja u slučaju nužde kod svih vozila na pruzi
 - Vozila se zaustavljaju prije nadolaska S valova, čime se smanjuje mogućnost iskliznuća vlaka s tračnica



Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu

SUSTAVI UPOZORENJA



Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu

- **SUSTAVI UPOZORENJA**

- Prema *Manual for Railway Engineering (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way-Association)* nakon potresa potrebno je provesti kontrolu kolosijeka, konstrukcija, signalnih i komunikacijskih uređaja unutar radijusa određenog s obzirom na jačinu potresa

| Magnituda potresa | Razina odgovora | Kalifornija i Baja Kalifornija | Ostatak Sjeverne Amerike |
|-------------------|-----------------|--|--------------------------|
| 0.0-4.99 | 1 | | |
| 5.0-5.99 | 2 | 80 km | 160 km |
| 6.0-6.99 | 3 | 160 km | 320 km |
| | 2 | 240 km | 480 km |
| ≥7.0 | 3 | Prema uputama, ali ne manje nego kod 6.00-6.99 | |
| | 2 | Prema uputama, ali ne manje nego kod 6.00-6.99 | |

RAZINA ODGOVORA:

1. Smanjiti maksimalnu brzinu kretanja vlaka, potreba za daljnjim provjerama kolosijeka bit će razmotrena
2. Svi vlakovi unutar definirane udaljenosti od epicentra vozit će smanjenom brzinom dok se ne provede kontrola kolosijeka i definira nova prikladna brzina
3. Svi vlakovi na prugama unutar definirane udaljenosti od epicentra potresa moraju se zaustaviti. Promet se ne smije nastaviti sve dok se ne provede kontrola kolosijeka te definira brzina vožnje.



Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu

SEIZMIČKO PONAŠANJE KONSTRUKCIJA

- Sprječavanje deformacija i pomaka uzrokovanih potresom je korištenje alternativnih agregata u kombinaciji s materijalom zastorne prizme ili posteljice

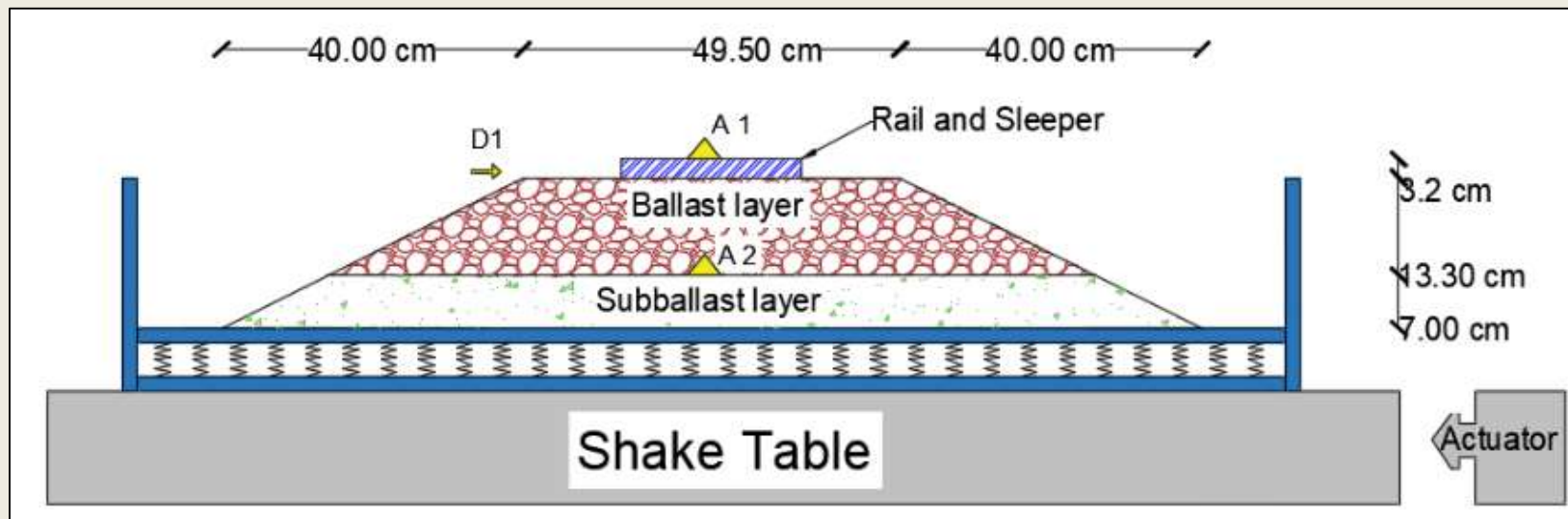


- Provedena ispitivanja na tri uzorka s različitim tipovima dodataka u materijal posteljice
 1. Klasična željeznička konstrukcija sa zastornom prizmom, gdje je zastorna prizma postavljena na čvrsto tlo, odnosno posteljicu
 2. Materijal posteljice u iznosu od 20% zamijenjen s agregatom dobivenim preradom automobilskih guma (*eng. tire-derived aggregates*)
 3. Posteljica sačinjena od agregata ekspanzirane gline u iznosu od 70%, agregata dobivenog preradom automobilskih guma u iznosu od 20% te čvrstog tla u iznosu od 10%.

Mjere smanjivanja utjecaja potresa na željezničku infrastrukturu

SEIZMIČKO PONAŠANJE KONSTRUKCIJA

- Ispitivanje provedeno za potres magnitude 6,4 prema Richeteru (odgovara Northridge potresu 1994. godine)



| | Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Izmjerena akceleracija [g] | 0,085 | 0,074 | 0,067 |

| | Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| Maksimalni zabilježeni pomak[cm] | 1,575 | 1,523 | 1,502 |

Zaključak

- Nakon potresne aktivnosti potrebno je provesti pregled željezničke infrastrukture kako bi se detektirala eventualna nastala oštećenja
 - U brojnim su smjernicama definirane mjere koje je potrebno provoditi na željezničkoj infrastrukturi s obzirom na udaljenost od epicentra potresa, kao i jačinu potresa
- Kod jakih potresa oštećenja nastaju na donjem ustroju
 - **Potrebno provesti sanaciju cjelokupne kolosiječne konstrukcije**
- Kod slabijih potresa potrebno je provesti kontrolu gornjeg ustroja kolosijeka kako bi se detektirala eventualne promjene u geometriji kolosijeka
- Do oštećenja zastorne prizme dolazi kod akceleracije tla od 6 m/s^2 i više, a bočni se otpor počinje smanjivati kod akceleracije $7,5 \text{ m/s}^2$
- Kod tračnica najveću opasnost predstavlja stvaranje velikih aksijalnih sila za vrijeme potresa
 - Ukoliko su aksijalne sile veće od kritičkih, izvijanje će uzrokovati promjene u geometriji kolosijeka i odstupanju od njegove početne pozicije
- Na pragovima neće nastati nikakva konstrukcijska oštećenja bez obzira na jačinu seizmičke aktivnosti

