



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva Opatija, 2021.

SEIZMIČKI UTJECAJ NA PROJEKTE METROA

Davorin KOLIĆ

Dr.Davorin Kolić, dipl.ing.građ., Neuron 4 Consult , Zagreb

Sadržaj

- 1. Uvod
- 2. Primjeri iz prakse - (case studies)
- 3. Los Angeles
- 4. Santiago de Chile, Ciudad de Mexico
- 5. Atena
- 6. Istanbul i Izmit, Turska
- 7. Tokyo i Kobe, Japan
- 8. Potres i podzemne građevine u Zagrebu
- 9. Zaključak
 - Izvori

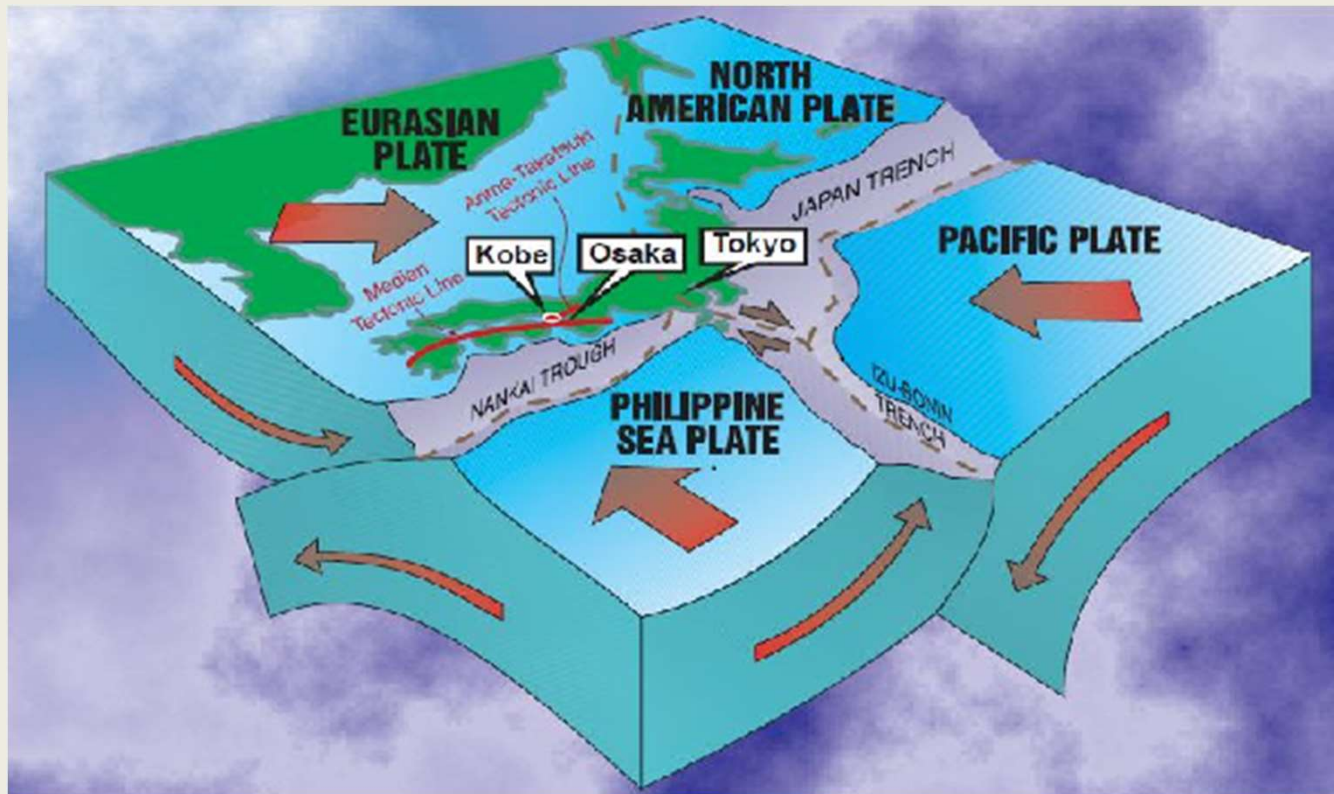


1. Uvod

- „...Osobito u posljednjih nekoliko desetljeća stekli smo puno bolje razumijevanje potresa, ponajviše zahvaljujući konceptu tektonike ploča („plate tectonics“).
- Uz to, praćenjem malih kretanja ploča zemljine kore i kontinuiranim bilježenjem položajastaja putem GPSa („Global Positioning Systems“) u potresnim regijama došli smo do neprocjenjivih podataka za poboljšanje naše sposobnosti u predviđanju potresa.
- Potresi se uglavnom događaju duž rasjeda blizu poznatih granica tektonskih pločae, koji se neprekidno kreću jedne prema drugima. Smatra se da je ovo kretanje pokrenuto konvektivnim procesima u zemaljskom plaštu.
- **Pokreti ploča uzrokuju polagano nakupljanje elastične energije deformacije u stijenama. Kada čvrstoća stijena ne može izdržati nagomilanu deformaciju, čini se da dolazi do naglog olakšanja, bilo puknućem stijena ili proklizavanjem duž ravnina rasjeda. Ova ometajuća prilagodba ili iznenadno popuštanje naprezanjima je POTRES.**
- Dio energije širi se zemljom i generira seizmičko gibanje tla. Od žarišta potresa u u nutrašnjosti zemlje koji se zove "hipocentar" kroz unutrašnjost zemlje do točke na površini koju zovemo "epicentar", seizmički valovi putuju u obliku tjelesnih valova „P“ i „S“. ali na njima se generiraju i površinski valovi zvani "Rayleigh" valovi.
- Rayleighovi valovi imaju retrogradno, eliptično kretanje na površini i najsporiji su, ali često najveći i najrazorniji od seizmičkih valova koji su uzrokovani potresom.
- Praćenje i proučavanje GPS rezultata pomaka ploča izuzetno je važno za predviđanje potresa....“ [1]



1. Uvod



Pomicanja ploca zemljine kore kao uzrok potresa na primjeru spojnice ploča u Japanu gdje se susreću 4 ploče (v.na slici). Spojnice ploča zovemo RASJEDIMA.

1. Uvod

Japan	JMA seismic intensity scale
USA, Korea	Mercalli intensity scale MCS (1-12)
China	China seismic intensity scale, CSIS
EU	European macroseismic scale, EMS (1-12) ljestvica po intenzitetu

Klase seizmičke aktivnosti u raznim dijelovima svijeta.

Kod nas u RH je uobičajena primjena: „Richterove“ ili magnitudna ljestvica (M_W), stupnjevi (1-10) s intenzitetima prema snazi eksploziva TNT, logaritamska.

0	Nobody feels the tremor.
1	Some people indoors may feel a slight tremor.
2	Many people indoors feel the tremor. Hanging fixtures, such as lights, may shake slightly.
3	Most people indoors feel the tremor. Electrical wires may shake slightly.
4	Most people get a shock from the tremor, and hanging fixtures such as lamps shake considerably; dishes in the cupboard may rattle and objects may topple.
Lower 5	Most people get a shock from the tremor and feel a sense of danger. Dishes in the cupboard and books in the shelves may fall. Items that are not supported well may fall. Unsecured furniture may shift.
Upper 5	It is difficult to walk without holding on to something. Heavy furniture, such as bureaus, may fall over. Brick walls that are not supported well may also topple.
Lower 6	Most people get a shock from the tremor and there is a sense of extreme danger. People cannot maintain a standing position. Furniture that is not secured may move or topple over. Many doors cannot open due to obstruction. Glass windows begin to shatter and collapse.
Upper 6	It becomes impossible to move without crawling. Furniture that is not secured may move or topple over. Most brick walls that are not supported collapse.
7	People are unable to move or act by will. Most furniture are displaced and some unsecured objects such as microwaves, books and kettles may seem to fly in all directions.

JMA – ljestvica seizmičke aktivnosti [2]



1. Uvod



Snažni potres i tsunami s valovima i do 40 m visine u Japanu 11.03.2011 uz nuklearnu katastrofu Fukushima.



Potres u Kobeu 1995 razorio je 240.000 domova kojima je osiguran privremeni smještaj u skloništima.

Masivni razorni utjecaj na objekte na **površini** [3].

1. Uvod

Affect of Seismic Activity on Subway Tunnels

Earthquake	Date	Magnitude	Impact on Subway
Mexico City	1985	8.1	No damage to tunnels. Some power disruption. Patrons evacuated safely. Used to transport rescue personnel.
Loma Prieta (SF)	1989	6.9	No damage to tunnels. Subway served as lifeline structure.
Northridge	1994	6.7	No damage
Kobe, Japan	1995	7.2	No damage to tunnels. Damage to station and sewer pipes – attributed to 1962 design with moderate seismic provision
Taipei	2002	6.8	No damage
Chile	2010	8.8	Running next day. Some damage at entrance to stations

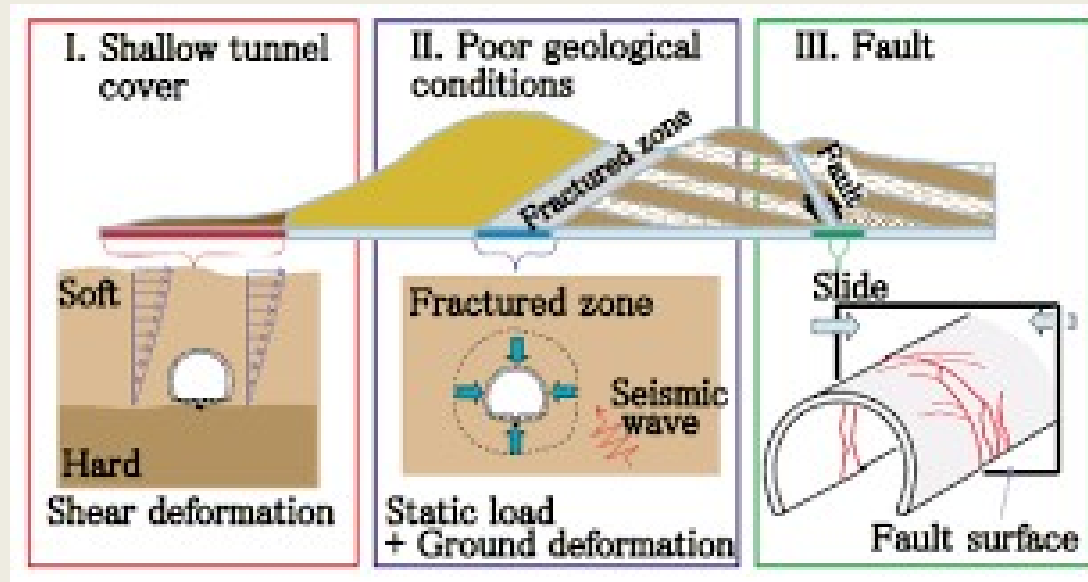


Utjecaj potresa na **podzemne građevine**, posebno na tunele podzemne željeznice (metroa).

Koji je razlog ne imati štete od potresa na podzemnim objektima prema masovnim štetama objekata na površini ?
(ref. [4])



1. Uvod



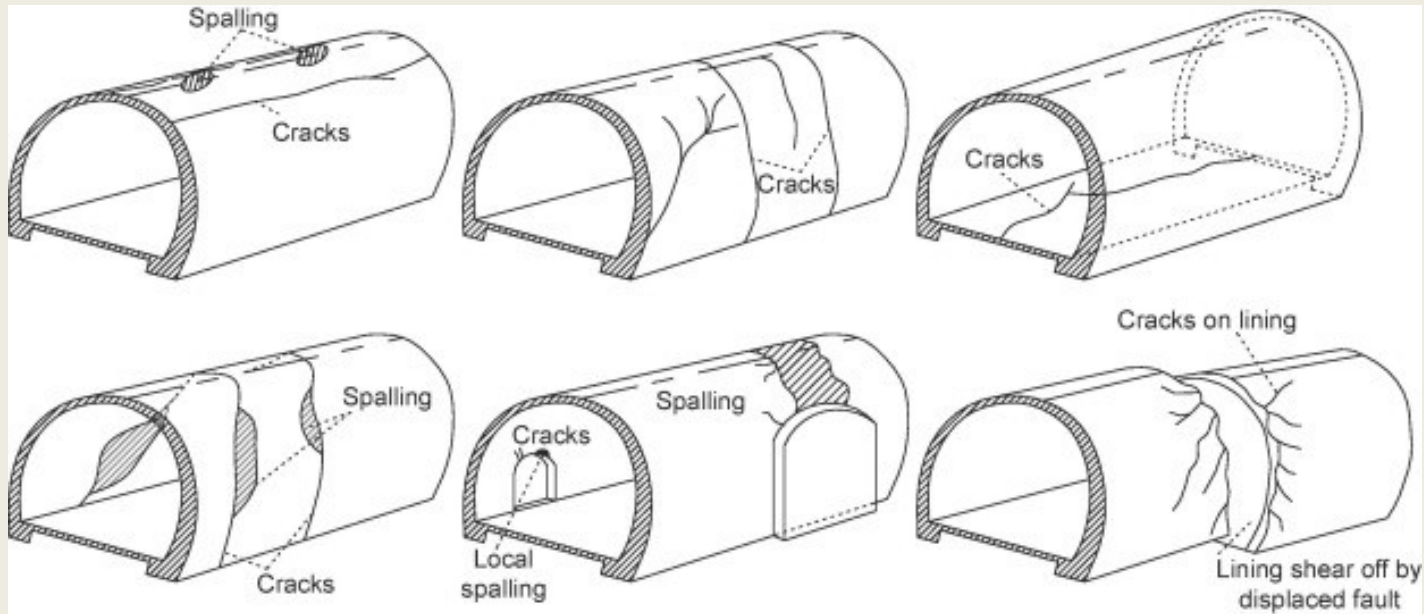
Razlozi mogućeg kolapsa tunela od utjecaja potresa [5]:

1. **Mali nadsloj** : ne dolazi do jednomjerne kompenzacije gibanja okolnog medija
2. **Loši geološki uvjeti** : nestabilna formacija može omogućiti pomake bez kompenzacije medija.
3. **Rasjed** : dvije različite geološke formacije ne osiguravaju kompenzaciju okolnog medija.
4. **Faza izgradnje** : samo primarna zaštita ili nedovršena zaštita iskopa, mogući veliki pomaci.

U stvarnosti ne dolazi do ovih predviđenih kolapsa (1-3) jer se tokom projektiranja uvode zahvati pojačanja konstrukcije mjerama protiv potresa ili se izbjegavaju geološke zone gdje bi se takvi uvjeti mogli ostvariti koji bi doveli do kolapsa (izbjegava se prolaz



1. Uvod



Tipični oblici loma tunelske obloge kod tunela u planinskim predjelima evidentirani prema potresu u masivu Chi-Chi 1999 u Tajvanu [6].

- a) površinsko ispadanje dijelova obloge u tjemenu i uzdužne pukotine obloge
- b) poprečne pukotine obloge
- c) uzdužne pukotine u temeljnoj ploči
- d) površinsko ispadanje dijelova obloge na bbočnim zidovima obloge
- e) ispadanje površinskih dijelova obloge i pukotine uz poprečne prolaze
- f) posmični lom obloge na mjestu rasjeda i pukotine obloge

2. Primjeri iz prakse (case studies)

- Los Angeles (rasjed San Andreas)
- Santiago de Chile (Ciudad de Mexico)
- Atena
- Istanbul
- Tokyo
- Kobe
- Zagreb



3. Los Angeles

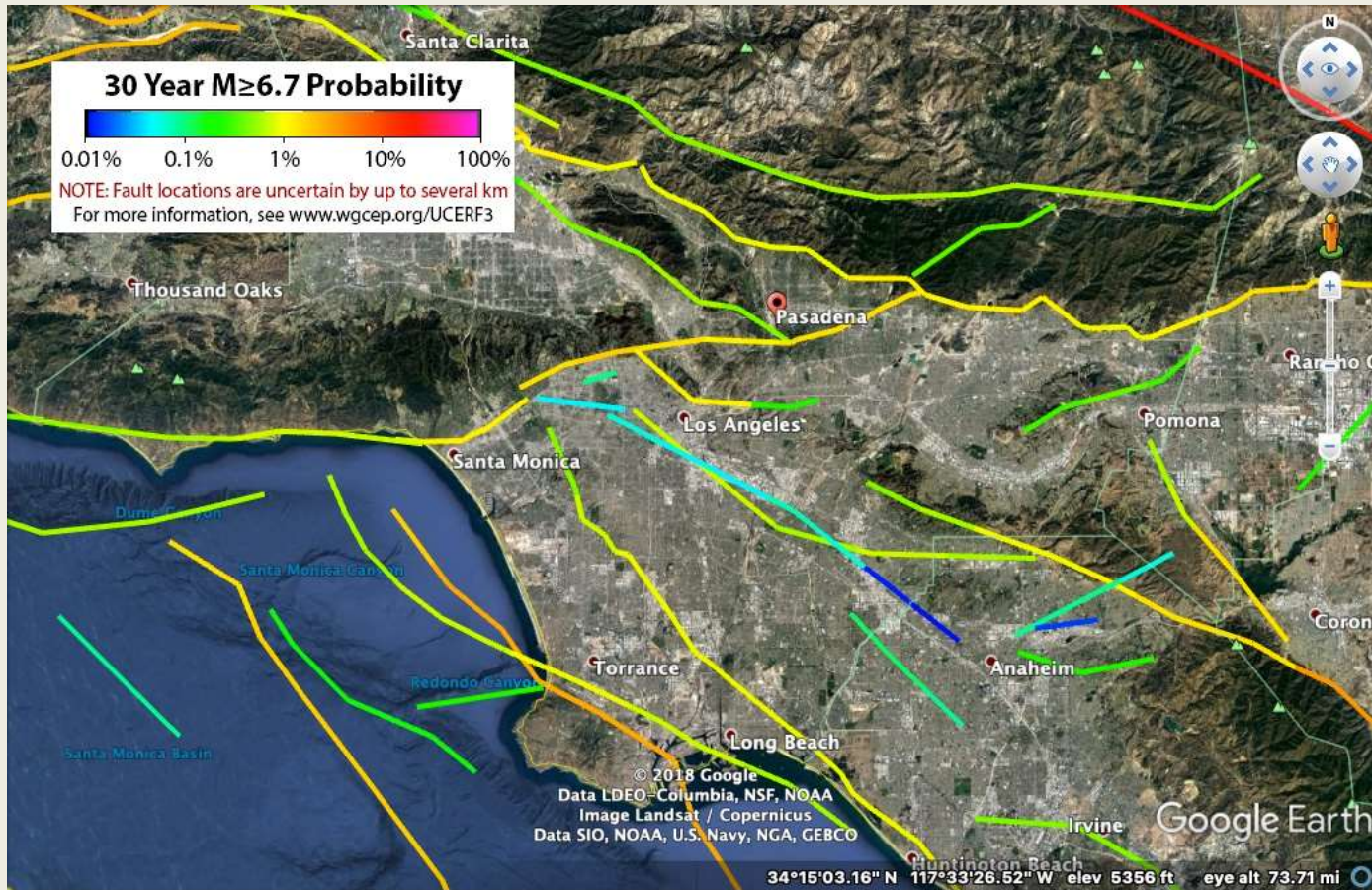


Rasjed SAN ANDREAS [7].

- Formiran je prije 30 miliona godina kao prekid zemljane kore i predstavlja kontakt između Sjeverno-američke i Pacifičke ploče
- Rasjed je jedan od najdužih na svijetu s duljinom od oko 800 milja (1280 km) duž kojeg se nalaze desetine aktivnih i pasivnih manjih seizmičkih rasjeda
- Rasjed je vertikalni lom ploča koji omogućuje horizontalne pomake i skoro je potpuno vertikalan i potres magnitude do oko 8 stupnjeva po
- Simulirani eventualni vjerojatni potres veličine 7.8 stupnjeva MCS imao bi za posljedicu oko 1800 žrtava, 50.000 ozlijeđenih osoba uz gubitak od oko 3.500 domova



3. Los Angeles



Rasjed SAN ANDREAS [7] (područje Los Angeles) :

- Širina generalnog rasjeda varira i sastoji se od desetina manjih aktivnih i pasivnih seizmičkih rasjeda koji se pružaju u raznim smjerovima uzduž i poprijeko osnovnog prostora rasjeda



3. Los Angeles



Metro Los Angeles , Red and Purple Line [8]:

- Više rasjeda u blizini dvije linije metroa , trasa nastoji prelazi rasjed okomito na smjer pružanja
- Likvefakcija : događa kada vlažna, pjeskovita tla tijekom potresa izgube nosivost. To može dovesti do pomicanja okolnog tla oko tunela koje dijelom prestaje djelovati kao amortizirajući medij
- Područja moguće likvefakcije su u Los Angelesu česta
- Dodatni mogući problemi od prodora vode ili plina



3. Los Angeles



Loma Prieta /Northridge potres 1994 [9] :

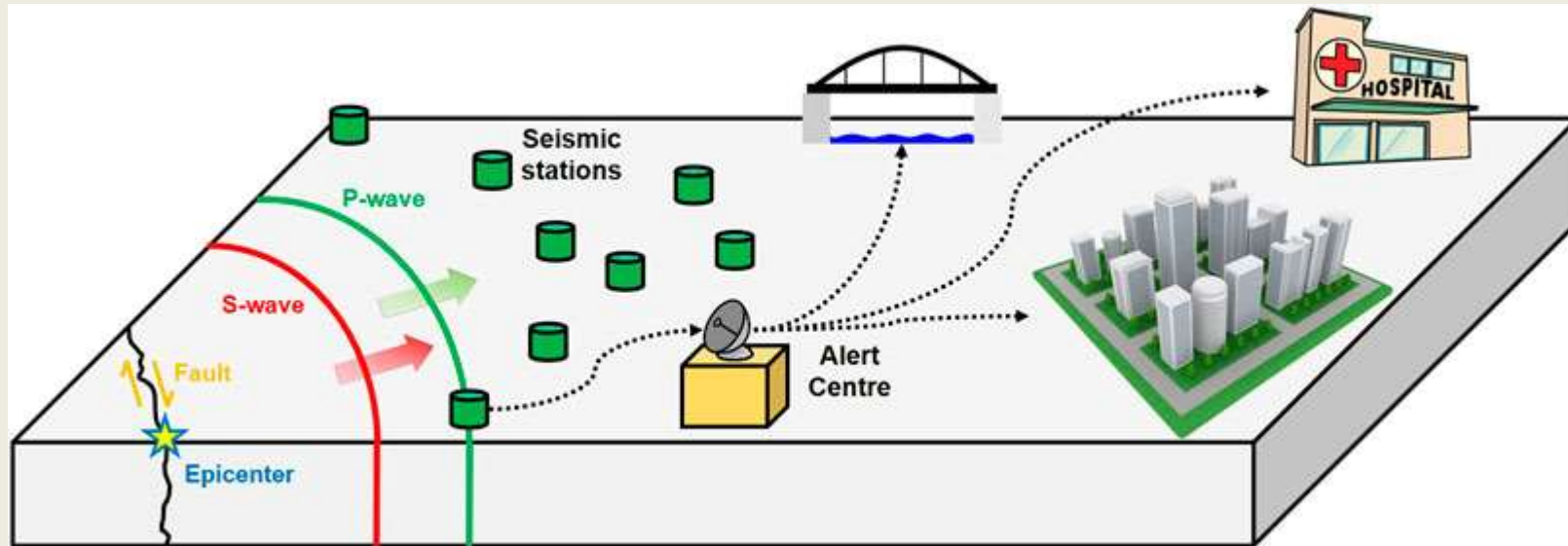
- Sekcija vijakdukta prema Santa Monici se srušio uzrokovan potresom intenziteta 6.7 stupnjeva MCS, uz 16 žrtava i velike materijalne štete
- Podzemni dio linije Red otvoren 1993 nije imao šteta



E.Musk LOOP project [10]:

- Upiti u vezi planova za izgradnju brzog podzemnog sustava transporta u LA po projektu LOOP E.Muska
- Zaključak geologa je „...da se osjećaju sigurnije u tunelu nego u neboderu...”

3. Los Angeles



Sustavi promatranja i dojave [11]:

- „Seismic Early Warning System” : bazirano na uređajima za identifikaciju seizmičkih pomaka u realnom vremenu te programskoj podršci za prepoznavanje, obradu i signalizaciju nadolazećih potresa prije glavnih udara
- Sociološki čimbenici : različita percepcija reakcija i razumijevanja potresa i potrebe treninga
- Početne primjene u Japanu (1960), Mexicu (1991), Italiji (2005), SAD-Kalifornija (2007)

4. Santiago de Chile



Masivni potresi, 27.02.2010, jačine 8.8 stupnjeva MCS [12]:

- Više od 700 mrtvih i masivne štete na površini
- Najveći potres u istom području dogodio se 22.05.1960 uz 1655 žrtava pri čemu je 2.0 mio stanovnika ostalo bez domova, tsunami je izazvao žrtbe na Havajima, Japanu i Filipinima
- **Metro je bio zatvoren 48 sati radi pregleda**, ali kako nije bilo oštećenja otvoren je za promet jer to nije bilo lako po prometnicama na površini koje su bile zatrpane ruševinama

4. Santiago de Chile



Geologija Santiaga de Chile : šljunci, prašnaste gline, pumicite [14]

4. Ciudad de Mexico



Masivni potresi, 20.03.2011, jačine 7.4 stupnjeva MCS [13]:

- Osim rušenja oko 700 kuća i prekida instalacija vode, električne energije izazvano je i više klizanja kosina
- Oštećenja vijadukata cestovnih prometnica na širem području grada Ciudad de Mexico kao posljedica potresa
- Oštećenja na trasi Metroa Mexico na linijama na površini (desno) zbog horizontalnih pomaka površine, podzemni objekti bez oštećenja

5. Atena



Jači potresi, 19.07.2019, jačine 5.3 stupnjeva Richter [15], te 3.03.2021 jacine 6.3 stupnjeva :

- Seizmički vrlo aktivno područje s više jačih potresa u proteklih par desetljeća
- Sjećanja na katastrofalni Parnitha potres od 7.09.1999 jačine 5.9 stupnjeva Richtera, s širokim posljedicama po stambene objekte uz niz aktiviranih klizanja kosina
- Potresi nisu imali utjecaj na podzemne građevine u potresu 1999 iako **su tri stanice podzemne željeznice bile u gradnji po metodi cut-and-cover [16]** (otvoreni kop, dijafragma zidovi sa zategama)

5. Atena



Athens Metro – Holargos station

Podzemne građevine tunela i stanica Athens Metro-a nisu tokom potresa pretrpile nikakva oštećenja i promet se odvijao nesmetano nakon pregleda nakon svakog potresa. Zastoji radi pregleda nakon potresa su u pravilu od 24-48 sati.



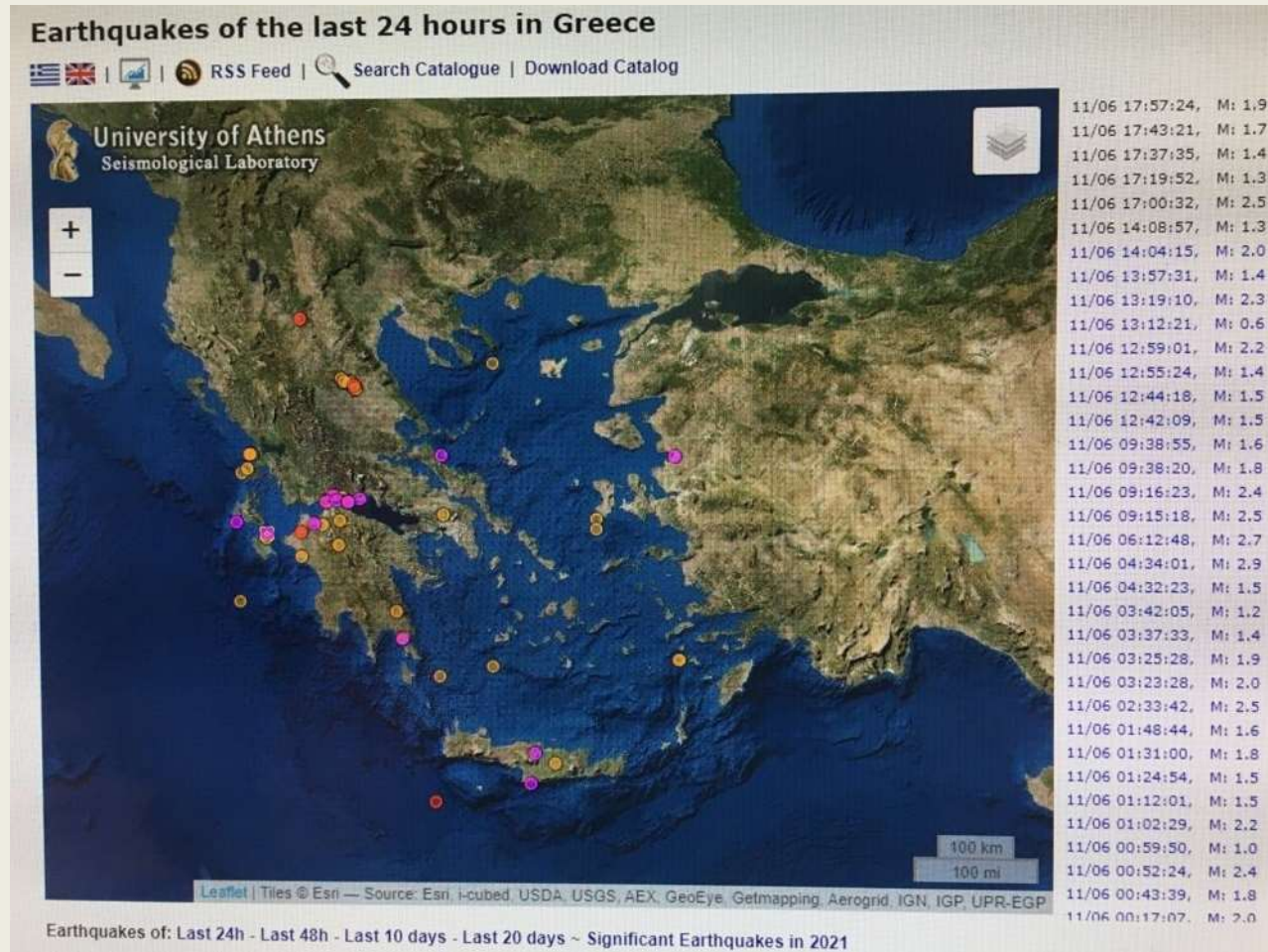
Athens Metro - Airport station



Athens Metro - Akropoli station

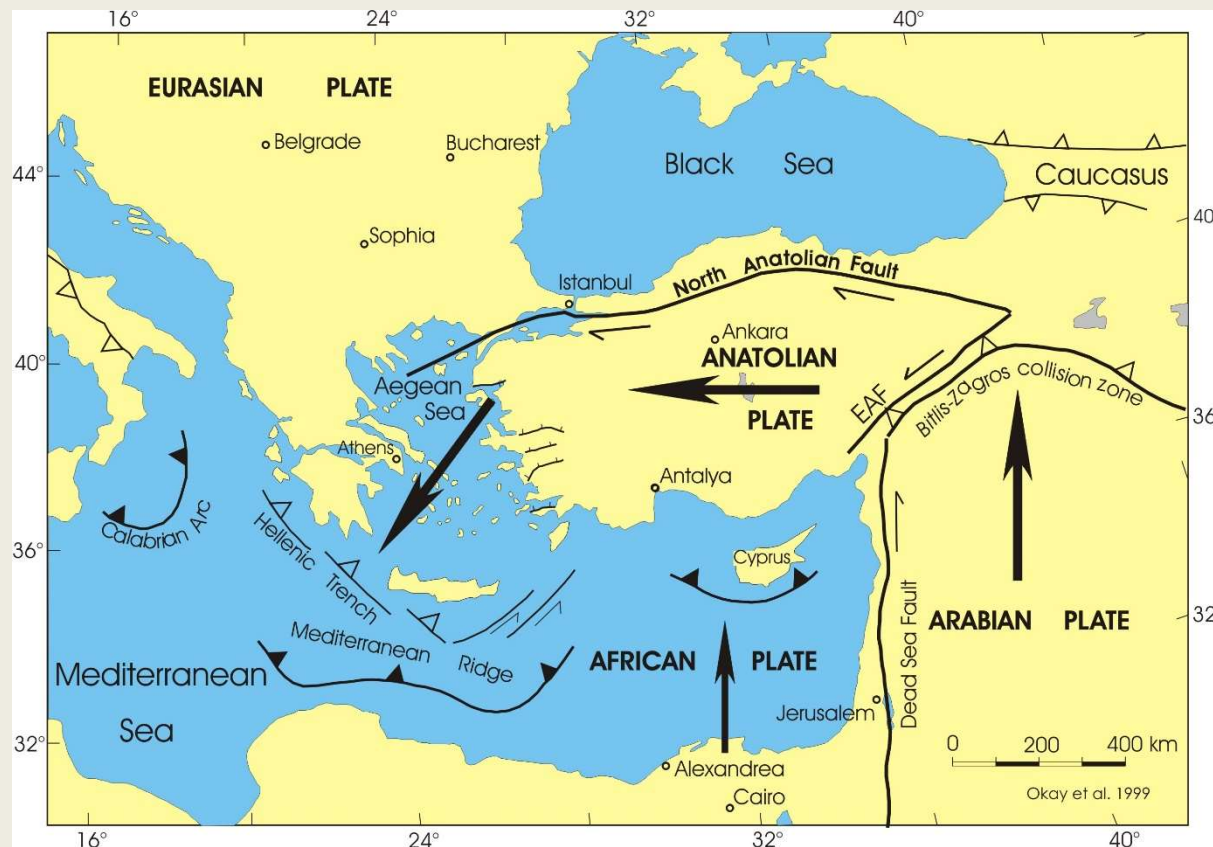


5. Atena



Mjerenja podrhtavanja tla u realnom vremenu :
u području Grčke je intenzitet dešavanja potresa svakih par minuta kao što pokazuju mjereni podaci.

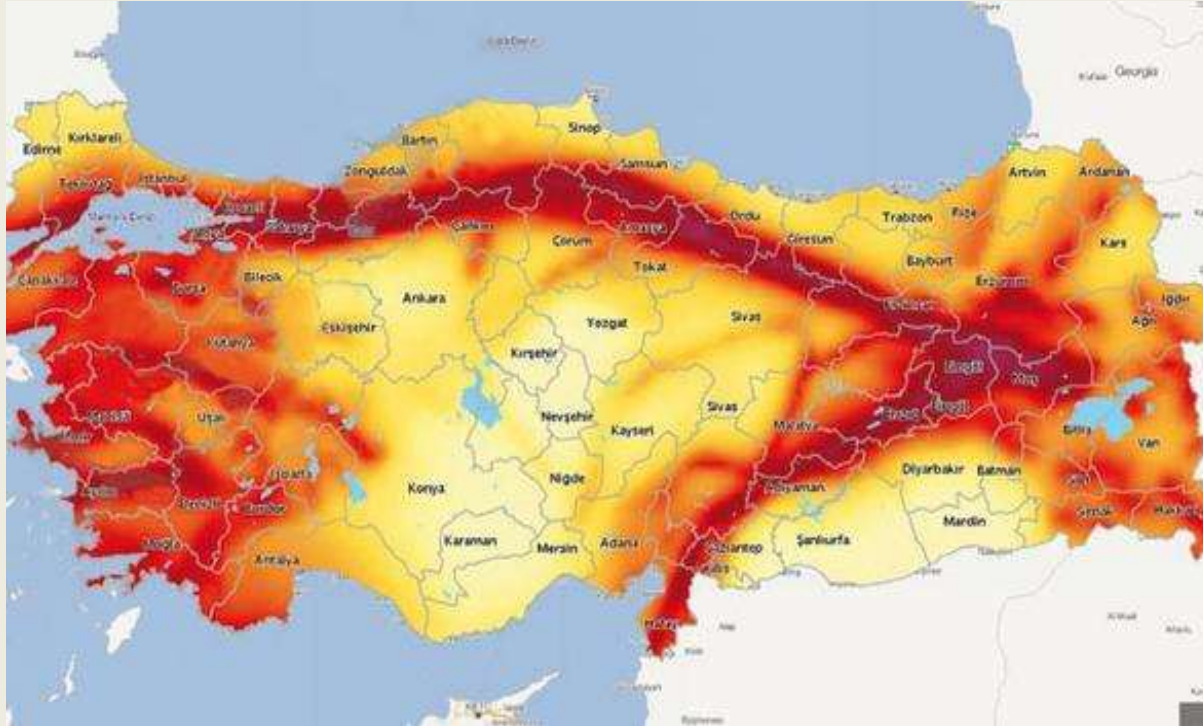
6. Istanbul



Tektonskim okvirom regije istočnog Sredozemlja i Bliskog istoka dominira sudar Arapske i Afričke ploče s Euroazijom. Tektonski modeli ploča sugeriraju da se arapska ploča kreće u smjeru S-SZ u odnosu na Euroaziju brzinom od oko 18-25 mm/god., a afrička ploča kreće se prema sjeveru do Euroazije brzinom od ~ 10 mm / god. dok mu je prednji rub potiskivanje. Smještenost usred svih ovih kretanja ploča stvara složenu kinematiku anatolske (turske) ploče.



6. Istanbul



Sjevernoanatolski rasjed je glavni, desno-bočni, kontinentalni klizni rasjed. Pojavljuje se kao bliski analog Kalifornijskog rasjeda San Andreas, s dvije kontinentalne transformacije koje dijele slične brzine klizanja, ukupnu duljinu i ravnost u odnosu na polove rotacije. Oboje imaju isti intenzitet magnitude od 8 stupnjeva : 1908. San Francisco i 1939. Ercinzan.

No dok je rasjed San Andreas u ovom stoljeću proizveo tri velika potresa, sjevernoanadolski rasjed pretrpio je dvanaest takvih potresa.

6. Istanbul



Masivni potresi, 24. i 26.09.2019, jačine 5.8 stupnjeva Richtera [17]:

- Nije bilo rušenja objekata na površini ili zarudavnja podzemnih građevina u radu
- U trenutku potresa više je tunela metro linija Istanbula bilo u izgradnji, posebno Metro Line Bostanci-Dudullu, radovi su privremeno obustavljeni dok se ne provjere eventualni kvarovi
- Posebne mjere su oglašene koje potiču više pažnje za radnike koji su uključeni u gradnji te za stanovnike okolnih predjela gdje se gradnja izvodi, posebice je ukazano na važnost rezultata stalnog promatranja i mjerenja slijekaganja idrugih pomaka na gradilištima i površini iznad tunela

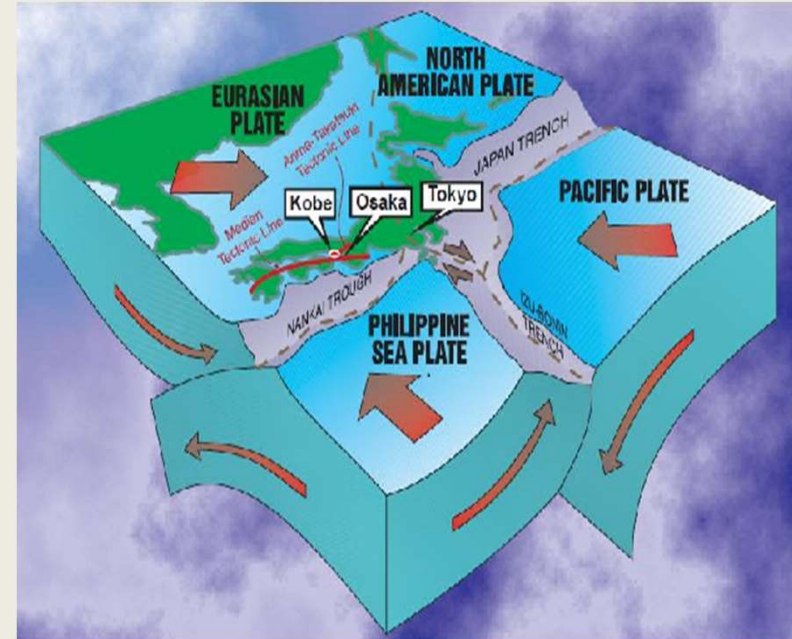
6. Izmit



Masivni potresi, 17.08.1999, jačine 7.4 stupnjeva Richtera [1] ,oko 100 km istočno od Istanbula:

- Više od 30.000 mrtvih i ogromne štete od rušenja objekata na površini
- Lijevo : utjecaj na prugu, bočni pomak od 3 m; desno : više srušenih mostova na prometnicama
- Potres je bio 11. veliki potres u XX stoljecu magnitude $M > 6.7$ stupnjeva
- Bez utjecajaja na podzemne građevine u široj regiji uključujući i metro linije u Istanbulu.

7. Tokyo i Kobe



Masivni potresi se mogu očekivati s velikom vjerojatnosti [3]:

- Postoji vjerojatnost veća od 70% po kojoj će se masivni razarajući potres dogoditi u području središnjeg Japana i Tokija u narednih 30 godina
- Japan je na sjecištu 4 tektonske ploče i potresi su snažni nego i mogu dugo trajati (10 min)
- Osim samog direktnog potresa opasnost je i od tsunamiji za sve gradove na obali kao što je bio slučaj i 2011 sa potresom i nuklearnom katastrofom Fukushima 03.2011, magnitude 9 i s 18.000 žrtava
- Procjene su da se očekuje više 10.000 žrtava i 300.000 razrušenih domova [18]



7. Tokyo i Kobe



Masivni potresi do 2050 u očekivanju:

- Više nije pitanje da li će se dogoditi nego kada
- Populacija je stalno u vježbama reakcija za slučaj potresa koji se i najave neposredno pred dolazak sustanom rane najave
- Djeca u školama su u redovnom trenitgu za ponašanje i mjere koje trebaju poduzeti u slučaju potres



7. Tokyo i Kobe



Za vrijeme potresa:

- Upute za ponašanje u trenutku događanja potresa u stanicama i vlakovima metroa
- Vlakovi se automatski zaustavljaju s najavom prvim vibracija

Nakon potresa:

- Nakon potresa vlak ce nastaviti do prve stanice
- Slijedi evakuacija putnika iz vlaka i stanice na površinu
- U slučaju potresa cijelo osvjetljenje se prebacuje na generatore



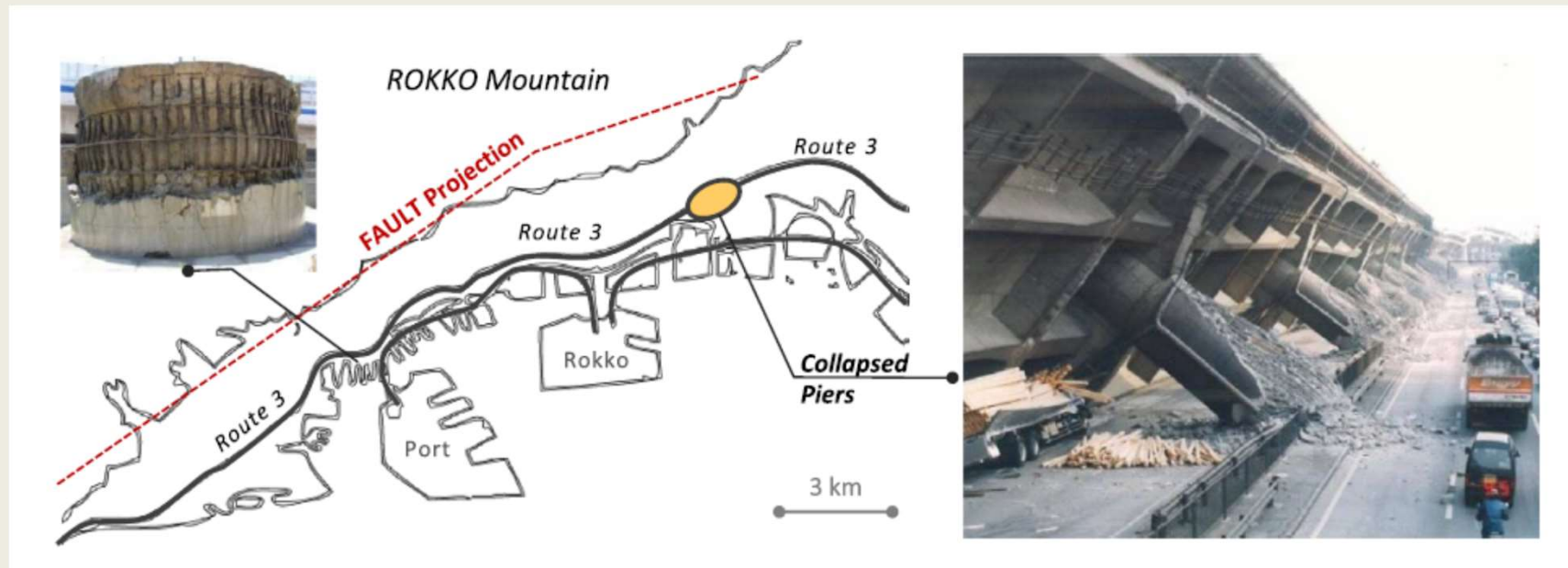
7. Kobe



Masivni potresi u Kobeu (1995) [19]:

- Dio viadukta Hansin brze ceste koji je urušen u području Fukae
- U potresu je srušen dio viadukta preko 18 raspona
- Razlika između srušeng dijela i dijela koji nije bio pod utjecajem potresa je u razlici u projektiranju gdje je dio projektiran koa potresno otporan a dio koji se urušio nije

7. Kobe



Potres u Kobeu (1995) [19]:

- Prikazana je ruta 3 Hansin brze ceste koja se protezala skoro usporedno s protezanjem zone rasjeda
- Prikazana je i pozicija dijela viajukt koji se urusio na dijelu brze ceste (žuto polje) u sektoru Fukae
- Prikaz nakon potresa urušenog dijela viadukta te slika plastičnog zgloba na dnu jednog od stupova viadukta

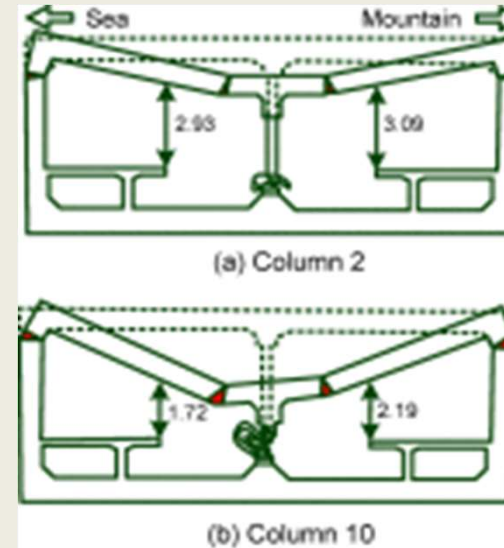
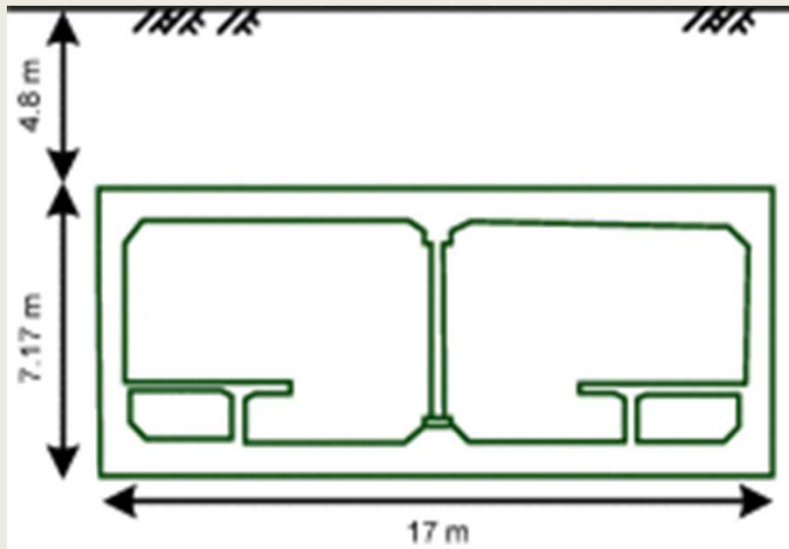
7. Kobe



Urušavanje Dakai stanice metra [19]:

- U sklopu potresa u Kobeu 1995 god. Urušavanje stanice Dakai je bio prvi slučaj utjecaja potresa na metro
- Razlog urušavanja je bio :
- A) plitka pozicija stanice bez dovoljno nadsloja za kompenzaciju pomaka okolnog medija
- B) ne-seizmički projekt konstrukcije stanice gdje je centralni stup bio osjetljiv na horizontalne pomake

7. Kobe



Urušavanje Dakai stanice metra [19]:

- U sklopu potresa u Kobeu 1995 god. Urušavanje stanice Dakai je bio prvi slučaj utjecaja potresa na metro
- Razlog urušavanja je bio :
- A) plitka pozicija stanice bez dovoljno nadsloja za kompenzaciju pomaka okolnog medija
- B) ne-seizmički projekt konstrukcije stanice gdje je centralni stup bio osjetljiv na horizontalne pomake

8. Potres i podzemne građevine u Zagrebu



Potresi su pogodili Zagreb 22.03.2020 jačine 5.5 stupnjeva Richtera i Petrinju jačine 6.4 stupnjeva:

- Uz ljudske žrtve značajna je imaterijalna šteta na objektima
- Podzemne građevine koje postoje u tom području nisu imale šteta (garaže Cvjetni trg, Langov trg, Tuškanac i druge podzemne garaže, pothodnik Glavni kolodvor)

9. Zaključak

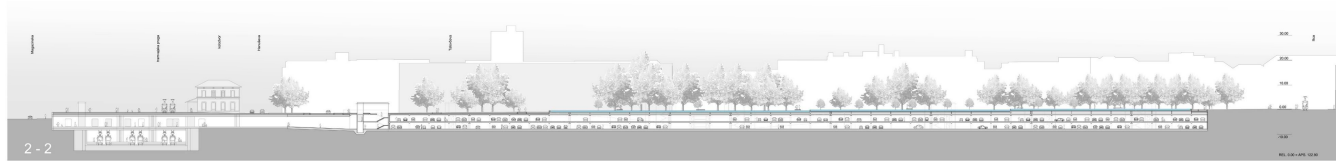
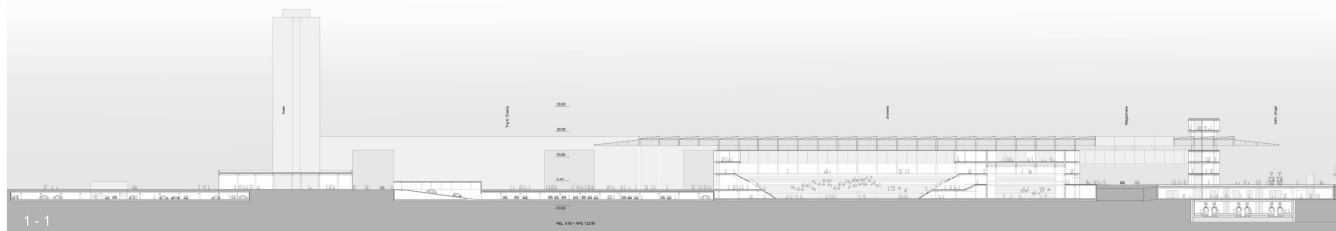
Podzemne građevine nisu osjetljive na potres uz uvjete :

- Dovoljan nadsloj
- Da ne prolaze zonama rasjeda
- Ako su projektirane prateći protuseizmičke propise
- Ako se ne nalaze izravno u izvođenju uz veće dijelove koji nisu primarno osigurani

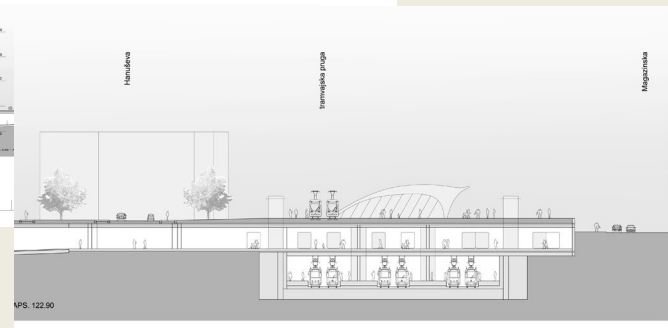


9. Zaključak za Zagreb

URBANISTIČKO - ARHITEKTONSKA STUDIJA / TRG DR. FRANJE TUĐMANA - TRG KREŠIMIRA ČOŠIĆA



PRESJECI _____ 0 100



Projektiranje podzemnih građevina u Zagrebu:

- Osigurati dovoljan nadsloj
- Pratiti povoljne geološke slojeve
- Projektirati prateći protuseizmičke propise
- (Negativni primjer studije „Integrirani grad” Fabijanić/Pološki u prometnom i seizmički otpornom smislu, na slici)



Izvori

- [1] T.Ogut : „Izmit – Turkey Earthquake August 1999“, RECORDER, Jun 2000, Vol.25, No.6, Canadian Society of Exploration Geophysicists, pp.1-7, www.csegrecorder.com
- [2] ***** : „Japan and Earthquakes: Why They Happen and How They are Measured“, <https://www.realestate-tokyo.com/living-in-tokyo/emergency-disaster/earthquakescale>
- [3] J.Sturmer, Y.Asada : „Tokyo will face will probably face a massive earthquake in the next 30 years. The only thing they can do is prepare“, <https://www.abc.net.au/news/2020-06-15/japan-is-preparing-for-day-x-earthquake/12339476>
- [4]] S.Hymon: „Designing a subway to withstand an earthquake“, Aug.10, 2012,pp. 1-3
<https://thesource.metro.net/2012/08/10/designing-a-subway-to-withstand-an-earthquake/>
- [5] S.Rajyaswori, X.LI, Y.Luo, M.A.Kumar, K.XU : „The Effect of Overburden Depth on hte Damage of Underground Structure during Earthquake“, 6th Int.Conf. On Envirion.Science and Civ.Engineering“, 2020, 455 012067, pp.1-12
- [6] G.Tsinidis, F.de Silva, K.Pitilakis et alt.: „Seismic behaviou of tunnels : From experiments to analysis“, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.99 (2020), 103334, pp.1-20
- [7] ***** : „What is the San Andreas fault ?“, California Earthquake Authority, <https://www.earthquakeauthority.com/>
- [8] E.Chiland: „Earthquake faults crisscross LA. Is it safe to tunnel here?“, Jan. 16, 2019, <https://la.curbed.com/2019/>
- [9] S.Hymon: „Designing a subway to withstand an earthquake“, Aug.10, 2012, <https://thesource.metro.net/2012/08/10/>
- [10] *****: „Is tunnelling safe in Los Angeles“,Feb. 1, 2019, <https://www.geoengineer.org/news/is-tunneling-safe-in-los-angeles>
- [11] O.Velazquez et alt.: „A Review of the Technical and Socio-Organizational Components of Earthquake Early Warning Systems“, Front.Earth.Sci, Oct. 21, 2020, pp.1-45, <https://www.frontiersin.org/articles/>
- [12] *****: „Massive 8.8 magnitude earthquake rocks Chile“, Feb. 27, 2010, pp.1-4, <https://nypost.com/2010/02/27/massive-8-8-magnitude-earthquake-rocks-chile/ps://www.frontiersin.org/articles/>
- [13] *****: „Major earthquake strikes Guerrero and Oaxaca states (20 March 2011“, <https://geo-mexico.com/?p=6194>
- [14] A.Gomez et alt.: „Experiences with the Use of the Conventional Mined Excavation Method in the Santiago Metro –Chile“, 2019 SA-NT Symposium, Tunnelling under Adelaide, Oct.28, 2019, pp. 1-10
- [15] R. Hartley-Parkinson: „Strong earthquake hits Athens sending people running into streets“, Jul. 19,2019, pp.1-3, <https://news.sky.com/story/strong-earthquake-felt-in-athens-people-run-out-into-the-streets-11766386>



Izvori

- [16] G.Gazetas et alt.: „Response of three Athens metro underground structures in the 1999 Parnitha earthquake“, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25 (2005) pp. 617-633
- [17] *****: „TMMOB, Earthquake Affected Metro Projects Stopped in Istanbul“ , Vol. 24 | 26.09.2019,pp.1-3
<https://www.raillynews.com/2019/10/tmmob-earthquake-affected-the-metro-projects-stopped-in-istanbul/>
- [18] ***** : „How prepared is Tokyo for giant earthquake that could kill 10.000 people and destroy 300.000 buildings?“, Guardian, June 12, 2019, <https://www.scmp.com/news/asia/east-asia/article/>
- [19] Sekellariadis L. et alt.: „Fukae bridge collapse (Kobe 1995) revisited : New insights“, Soils and Foundations Vol.60, (2020, pp.1450-1467

