

## Zemestrīce, vulkāna izvirdums un cunami

Indonēzija ir kā bīstamo dabas parādību lielveikals. To ir piemēklējušas gandrīz visas iedomājamās dabas katastrofas: vulkānu izvirdumi, zemestrīces un cunami.

### A. Merapi vulkāna izvirdums



**Attēls 1:** Piroklastiskais mākonis Merapi izvirduma laikā. Attēla avots: Volcanological Office of Yogyakarta, BPPTKG.

Merapi vulkāns Jogjakartā ir viens no aktīvākajiem vulkāniem Javas salā. Šī vulkāna izvirdumiem ir raksturīgas piroklastiskās plūsmas. Piroklastiskā plūsma ir sajauktu karstu gāzu un pelnu masa, kas ar lielu ātrumu plūst no vulkāna. 2010. gada 26. oktobrī Merapi kārtējo reizi parādīja savu eksplozīvo dabu, radot pelnu mākonī, kas sasniedza 12 km augstumu (attēls 1) un piroklastiskās plūsmas, kuru dēļ vairāk nekā 20 000 cilvēku vulkāna apkaimē zaudēja pajumti.

---

Aplūkosim Merapi lielākā 2010. gada izvirduma cēloņus. Ģeofiziķi ir noskaidrojuši, ka sprādzienu var izraisīt ūdens pēkšņa iekļūšana magmā (t.s. hidromagmātiskais izvirdums). Tādēļ apskatīsim vulkānu kā sistēmu, kurā magmas daļiņas sajaucas ar ūdeni. Vulkāna kanāli un atmosfēra veido šīs sistēmas robežas. Sprādzienvēda izvirdumam ir divi posmi: (1) momentāna magmas un ūdens mijiedarbība, un (2) sistēmas izplešanās.

Pirmajā posmā magma ar masu  $m_m$  un absolūto temperatūru  $T_m$  sajaucas ar ūdeni ar masu  $m_w$  un absolūto temperatūru  $T_w$ . Termiskais līdzsvars iestājas ātri. Var uzskatīt, ka šajā sajaukšanas procesā tilpums paliek nemainīgs, kā arī neņem vērā ūdens iztvaikošanas un magmas kušanas īpanējos siltumus.

A.1	Izsaki līdzsvara temperatūru pirmā posma noslēgumā, izmantojot dotās masas un ūdens ( $c_{Vw}$ ) un magmas ( $c_{Vm}$ ) īpatnējās siltumietilpības (siltumietilpības uz masas vienību).	0.5 pt.
-----	---	---------

A.2	Izsaki magmas un ūdens savienojuma līdzsvara spiedienu pirmajā posmā, pieņemot, ka savienojumu var tuvināti uzskatīt par ideālo gāzi. Pieņem, ka savienojuma tilpums uz vienu molu ir vienāds ar $v_e$ .	0.3 pt.
-----	--	---------

Sistēmas izplešanās (otrais posms) var notikt vairākos veidos, viens no tiem ir termiskā detonācija. Kaut gan process ir diezgan sarežģīts, ir iespējams empīriski izmērīt izvirdušā savienojuma relatīvo ātrumu. Gāzes ātrums izvirduma laikā ir atkarīgs no spiediena  $p$ , kopējās masas  $m$  un tilpuma  $V$ , kuru savienoums sākotnēji aizņem vulkāna kanālā.

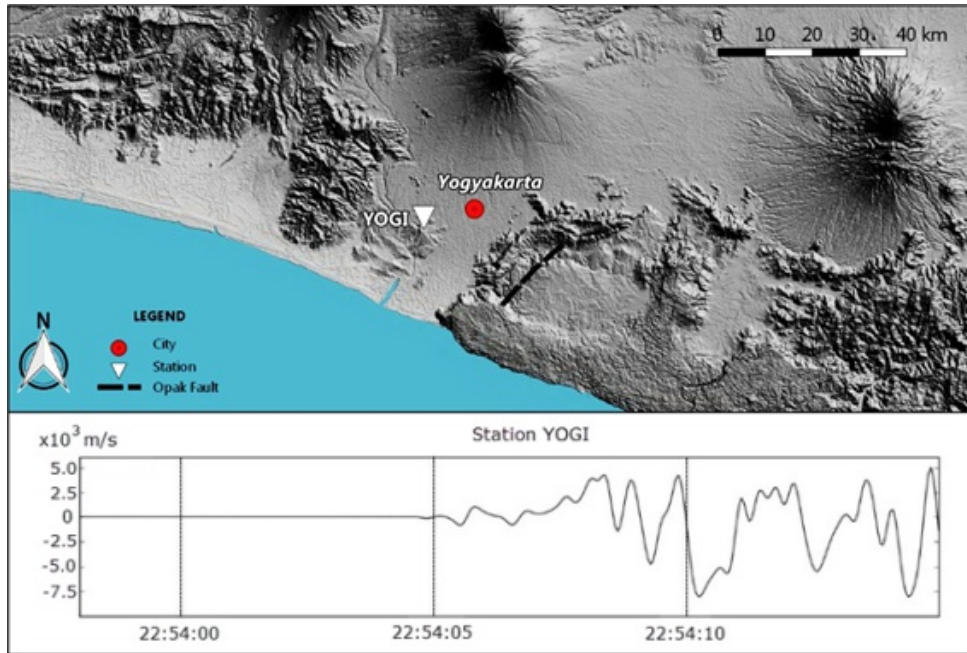
A.3	Izsaki izvirdušās gāzes ātruma atkarību no $p$ , $m$ , $V$ un nenoteiktas bezdimensionālas proporcionalitātes konstantes $\kappa$ .	0.5 pt.
-----	---	---------

Novērotā spiediena lielum kārta ir ap 100 MPa. Izvirdumā sasniegtie ātrumi var sasniegt pirmo kosmisko ātrumu.

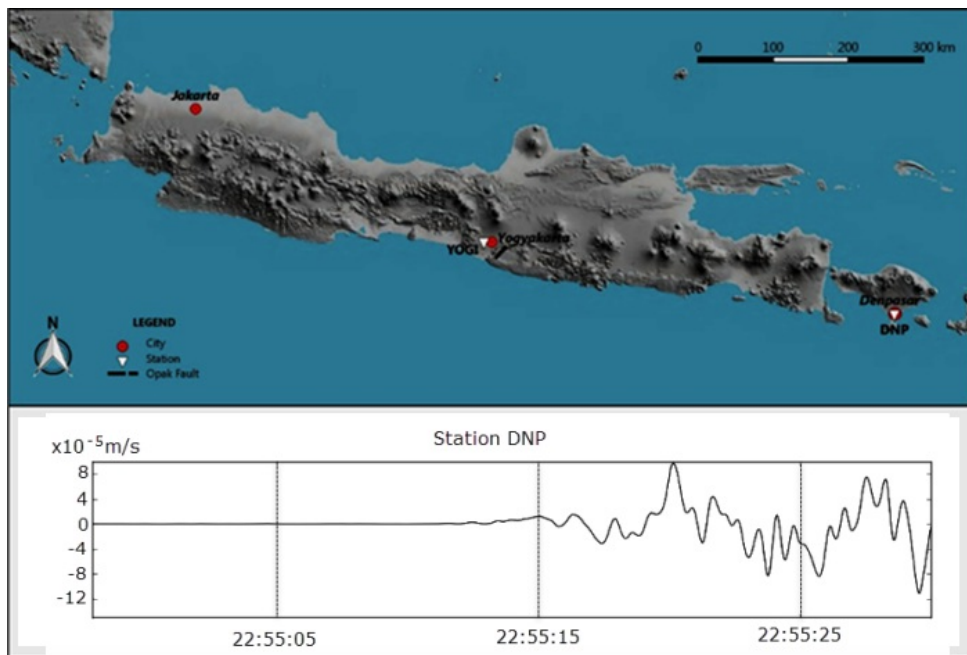
## B. Jogjakartas zemestrīce

2006. gadā 6,4 balles stipra Jogjakartas zemestrīce iznīcināja daudzas ēkas Bantulas un Jogjakartas apkārtnē. Tā notika 05:54:00.00 pēc lokālā laika, kas ir 22:54:00.00 pēc UTC laika. Zemestrīci izraisīja strauja Opakas lūzuma pārvietošanās (skat. att. 2) hipocentrā, kas atradās 15 km zem Zemes virsmas.

Seismisko vilni, kas pārvietojas zemes garozā, var detektēt ar seismometru. Seismometra izveidoto diagrammu sauc par seismogrammu (Attēlu 2 un 3 apakšējās daļās). Seismogrammas parāda zemes vertikālo ātrumu kā funkciju no laika, kas izmērīts Gampingas stacijā Jogjakartā (YOGI) (att. 2) un Denpasarā, Bali (DNP) (att. 3). Vispārīgā gadījumā seismiskais vilnis sastāv no trīs viļņu veidiem: gareniskā (longitudinālā, primārā  $P$  viļņa), šķērseniskā (transversālā, sekundārā  $S$  viļņa) un virsmas viļņa.  $P$  un  $S$  viļņi pārvietojas zem Zemes virsmas, bet virsmas vilnis pārvietojas gar Zemes virsmu. Seismiskie viļņi, kas pārvietojas zem Zemes virsmas un sasniedz novērošanas stacijas var tikt sadalīti tajos, kas pārvietojas pa taisni, un tajos, kas atstarojas no zem Zemes virsmas esošā robežslāņa, un tajos, kas tiek laužti, pārejot nākamajā slānī. Gareniskais vilnis jeb primārais vilnis pārvietojas ar vislielāko ātrumu, savukārt virsmas vilnis ir vislēnākais ar ātrumu, kurš ir 60% no  $P$  viļņa.



Attēls 2: YOGI novietojums uz kartes.



Attēls. 3: DNP (Denpasara) novietojums uz kartes.

Attālums starp epicentru (hipocentra projekciju uz Zemes virsmas) un YOGI un DNP stacijām ir attiecīgi 22,5 un 500 km. Zemes garozas slāņa dziļums Javas salā Indonēzijā ir 30 km. Zem zemes garozas ir Zemes mantijas slānis. Līdzīgi kā citiem viļņiem arī seismiskiem viļņiem izpildās gaismas laušanas (Snellusa) likums. Seismiskais vilnis var arī atstaroties no mantijas slāņa robežvirsmas. Šajā uzdevumā mēs pieņemsim, ka Zemes liekums ir neievērojami mazs.

B.1	Attēls 2 parāda seismogrammu no YOGI stacijas. Aprēķini $P$ viļņa ātrumu Zemes garozā, izmantojot informāciju no attēla.	0.5 pt.
-----	--	---------

B.2	Aprēķini laikus, kas nepieciešami, lai tiešs $P$ vilnis un atstarots vilnis no Jogjakartas zemestrīces sasniegtu DNP staciju Denpasarā.	0.6 pt.
-----	---	---------

Pieņemsim, ka Zemi veido tikai divi slāņi: garoza un mantija. Primārais vilnis pārvietojas garozā un mantijā ar atšķirīgiem ātrumiem. Ātrums mantijā ir lielāks nekā garozā. Ņem vērā ka  $P$  vilnis, kas tiek laužts no garozas mantijā ar laušanas leņķi praktiski vienādu ar  $90^\circ$  (taisnu leņķi) var pārvietoties gar robežvirsmu starp garozu un mantiju. Tas tiek laužts atpakaļ garozā visā gar robežvirsmu starp garozu un mantiju pārvietošanās laikā.

B.3	Aprēķini $P$ -viļņa izplatīšanās ātrumu mantijā.	1.2 pt.
-----	--	---------

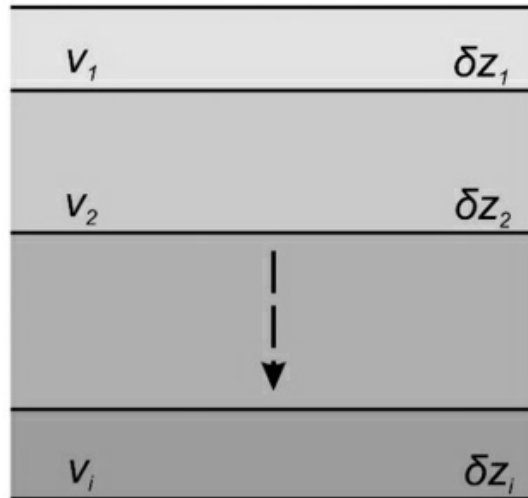
Reālistiskā Zemes iekšējās struktūras modelī Zemes garozu sadala vairākos plānos slāņos tā, ka seismiskā viļņa ātrums kā funkcija no dziļuma  $z$  ir aprēķināma kā  $v(z) = v_0 + az$ , kur  $a$  ir konstante un hipocentrs atrodas uz Zemes virsmas. Šajā modeli viļņa stars ir liekts.

B.4	Ieviesīsim stara parametru $p = \sin\theta(z)/v(z)$ , kur $\theta(z)$ is leņķis starp vilni un robežvirsmu normāli. Pieņem, ka seismiskais vilnis ierodas stacijā ar viļņa parametru $p$ . Izsaki attālumu līdz hipocentram ar $p$ , $v_0$ , un $a$ . Pieņem, ka hipocentrs ir pie Zemes virsmas.	1.4 pt.
-----	---	---------

B.5	Atrodi laiku, $T$ , ceļošanai no epicentra uz staciju kā integrāli pa lielumu $z$ ..	1.0 pt.
-----	--	---------

Zemi veido homogēnu slāņu kārtojums, kurā katram slānim atbilst ātrums  $v_i$  un slāņa biezums ir  $\delta z_i$ , attēls 4.

B.6	No iepriekšējās problēmas rezultātiem atrodi ceļošanas laiku ( $T$ ) no hipocentra uz DNP staciju, pieņemot, ka garozu veido tikai trīs diskrēti slāņi, ( $i = 1, 2, 3$ ), kuriem $v_1 = 6.65$ km/s, $v_2 = 6.97$ km/s, $v_3 = 6.99$ km/s, $p = 0.143$ s/km, $\delta z_1 = 6.0$ km, $\delta z_2 = 9.0$ km, $\delta z_3 = 15$ km.	1.0 pt.
-----	--	---------

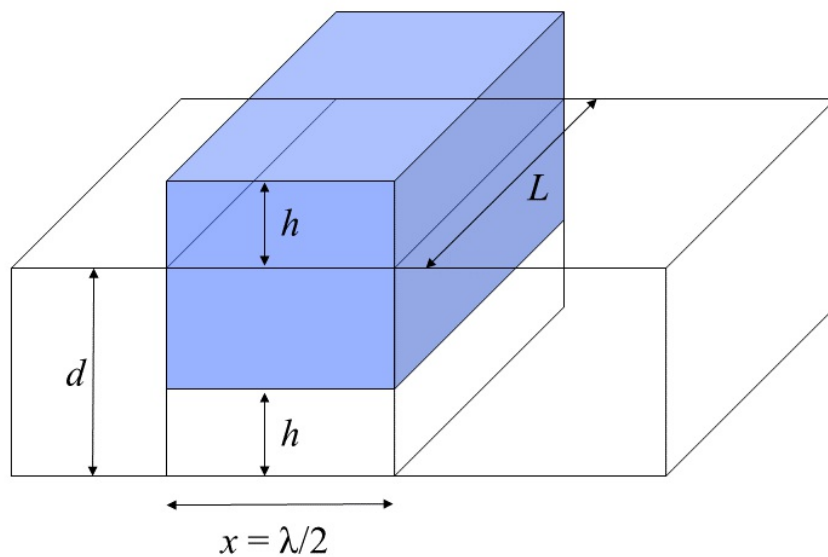


**Attēls 4:** Vienkāršots zemes slāņu kārtojuma attēlojums

## C. Javas cunami

2006. gada Pangandaranas zemestrīce un cunami notika 17. jūlijā plkst. 15:19:27 pēc vietējā laika pie Javas krastiem. Zemestrīces laikā, kurā epicentra lūzums ir okeāna dibenā, lūzums ar lēcieni pārvietojas, izveidojot ārkārtīgi lielu viļņi, kuru sauc par cunami. Cunami ir ūdeņu viļņi, kurus rada sākotnēji mazas amplitūdas ārkārtīgi liela viļņa garuma ierosinājums.

Apskatīsim pēkšņu lūzuma lēcieni, kas paceļ okeāna dibenu kā parādīts attēlā 5. Pieņem, ka zemestrīces enerģija pāriet pacelta okeāna ūdens potenciālajā enerģijā. Vienkāršībai pieņemsim, ka paceltā ūdens tilpums veido taisnstūra paralēlskaldni ar augstumu  $h$  un pamata laukumu  $\lambda L/2$ , kur  $L \gg \lambda$ .



**Attēls 5:** Cunami vilnis okeānā ar dziļumu  $d$ .

C.1	Atrodi potenciālo enerģiju zemestrīces rezultātā virs okeāna virsmas paceltajam ūdens tilpumam. Potenciālo enerģiju meklē attiecībā pret okeāna virsmu. Pieņem, ka okeāna ūdens blīvums ir $\rho$ .	0.5 pt.
-----	---	---------

C.2	Izsaki cunami ātrumu ar precizitāti līdz bezdimensionālai konstantei.	1.2 pt.
-----	---	---------

C.3	Izmantojot enerģijas pārnese argumentus, izsaki cunami viļņa amplitūdu kā funkciju no dziļuma, pieņemot, ka dziļums mainās lēni un zinot, ka kādā dziļumā $d_0$ viļņa amplitūda ir $A_0$ .	1.3 pt.
-----	--	---------