

SISUKORD

Sissejuhatus	
Kujutlege Ameerikat ilma Los Angeleseta	9
1. Väävel ja tuli taevast	
<i>Pompei, Rooma impeerium, 79. a pKr</i>	21
2. Matame surnud ja toidame elavaid	
<i>Lissabon, Portugal, 1755</i>	34
3. Suurim katastroof	
<i>Island, 1783</i>	43
4. Unustatud	
<i>California, Ameerika Ühendriigid, 1861–1862</i>	64
5. Süüdlast otsimas	
<i>Tokyo-Yokohama, Jaapan, 1923</i>	81
6. Kui kaitsetamm puruneb	
<i>Mississippi, Ameerika Ühendriigid, 1927</i>	98
7. Taevane ebakõla	
<i>Tangshan, Hiina, 1976</i>	118
8. Katastroofid, millel pole piire	
<i>India ookean, 2004</i>	135
9. Läbikukkumise õppetund	
<i>New Orleans, Louisiana, Ameerika Ühendriigid, 2005</i>	149
10. Katastroofiga flirtides	
<i>L'Aquila, Itaalia, 2009</i>	168

11. Halva õnne saar	
<i>Tohoku, Jaapan, 2011</i>	185
12. Loodud vastu pidama	
<i>Los Angeles, California, kunagi tulevikus</i>	205
Tänusõnad	221
Märkused	223
Kasutatud allikad	235

Sissejuhatus

KUJUTLEGE AMEERIKAT ILMA LOS ANGELESETA

Maavärinaid toimub kogu maailmas pidevalt. Mina elan ja töotan seismoloogina Lõuna-Californias. Sealsel maavärinate mõõtmiseks loodud seismilisel seirevõrgustikul on häiresüsteem, mis käivitub, kui 12 tunni jooksul pole registreeritud ühtegi maavärinat, kuna sel juhul peab registreerimissüsteemis olema rike. Alates seirevõrgustiku kasutuselevõtmisest 1990. aastatel ei ole Lõuna-Californias kunagi möödunud maavärinata rohkem kui kaksteist tundi.

Levinuimad on väiksemad maavärinad. Maavärinad magnituudiga 2 on nii väikesed, et neid tunneb vaid epitsentrile väga lähedal olles, ning üks selline tekib kusagil maailmas iga minut. Maavärinad magnituudiga 5 on piisavalt suured, et kukutada asju riulilt või kahjustada üksikuid hooneid – mõni selline esineb kusagil iga päev. Maavärinaid magnituudiga 7, mis võivad hävitada terve linna, esineb keskmiselt rohkem kui kord kuus, kuid õnneks toimub enamik neist vee all, ning ka maismaavärinad on sageli inimasustusest eemal.

Kuid rohkem kui 300 aasta jooksul ei ole ühtegi, ka pisimat maavärinat toimunud San Andrease murrangu lõunapoolseimas osas.

Ühel päeval see juhtub. Minevikus on San Andrease lõunaosas toimunud suuri maavärinaid. Laamtektoonika liikumine ei ole peatunud – see surub ikka veel Los Angelest San Francisco poole sama kiiresti, kui kasvavad sõrmeküüned – peaaegu 5,08 cm aastas. Kuigi need kaks linna asuvad samas osariigis ja samal mandril,

paiknevad nad erinevatel mandrilaamadel. Los Angeles asub Vaikse ookeani mandrilaamal, mis on maailma suurim mandrilaam, ulatudes Californiast Jaapanini, Alaska Aleuudi saarestikust Uus-Meremaani. San Francisco asub Põhja-Ameerika mandrilaamal, mis laiub Kesk-Atlandi ahelikust ja Islandist idas. Nende laamade piir on San Andrease murrang. Just seal liiguvad kaks mandrilaama teineteisest aeglaselt mööda, ning neid peatada on sama võimatu kui kustutada Päike.

Veidra paradoksina tekib San Andreases *ainult* suuri maavärinaid – seismoloogide arvates on tegemist nn nõrga murranguga. Miljonite aastate jooksul on maavärinad selle nii siledaks lihvinud, et pole enam karedaid kohti, mis takistaksid rebendi tekitatud maa-lihke edasiliikumist.

Selle mehaanika mõistmiseks kujutage ette toapõrandale laotatud suurt vaipa. Äkki otsustate, et tahate seda pool meetrit kaminale lähemale nihutada. Kui see oleks asetatud puitpõrandale, oleks vaipa lihtne liigutada – võtaksite lihtsalt kaminapoolsest vaibaservast kinni ja tõmbaksite. Aga vaip asub omakorda vaipkattel, nii et vaiba ja alusvaiba hõõrdumine muudab selle võimatuks. Mida teha? Saate minna vaiba kaugemasse otsa, selle alusvaibalt üles tõsta ja asetada vaibaserva pool meetrit kamina poole. Tekib suur volt, mida saate vaipa mööda kuni servani edasi suruda, ja nii liigub kogu vaip lõpuks poole meetri võrra kaminale lähemale.

Maavärina korral ei näe seismoloog lainetust, vaid *rebendifronti*. Sellise laine liikumine San Andrease murrangu „vaipa” mööda tekitab seismilise energia, mida kogetakse maavärinana. See on *ajutine hõõrdumise lokaalne vähenemine*, mis võimaldab murrangul liikuda *väiksema pingega*. Samamoodi nagu vaip ei saanud liikuda korraga, peab ka maavärin algama maapinna ühes kindlas kohas, värina epitsentris, ning laine rullub üle kogu vaiba teatud kauguseni.

Vahemaa, mille rebendifront läbib, on maavärina suurusjärgu ehk magnituudi määramise peamisi tegureid. Kui see liigub enne peatumist vaid 0,9 m, siis on tegemist 1,5-se maavärinaga, mis on tajumiseks liiga väike. Kui see liigub mööda murrangut edasi 1,6 km

võrra, siis on tegemist 5-se maavärinaga, mis põhjustab väiksemaid kahjustusi. Kui see liigub edasi 160 km, on selle magnituud 7,5, mis põhjustab ulatuslikke purustusi.

San Andrease murrang on lihvitud nii siledaks, et maavärina tekkimise korral pole enam järel midagi, mis võimaldaks magnituudi väiksemana hoida. Laine jätkab liikumist piki murrangut ning kiirgab energiat igast läbitud kohast, tekitades maavärina, mis kestab minuti või kauem, ja magnituudi 7 või isegi 8. Alles pärast seda, kui maavärin on murrangu lõhkunud ja uued sakilised servad loonud, saavad seal toimuda väiksemad, vähem hukatuslikud maavärinad.

Nii me siis ootame seda suurt maavärinat. Ootame ikka veel.

Murrangu lõunapoolseimas osas toimus viimane maavärin umbes 1680. a paiku. See teadmine põhineb eelajaloolise Cahuilla järve kontuuril, mis täitus veega ulatuses, millest suure osa moodustab praegune Coachella org, kus toimub iga-aastane Coachella muusikafestival. Nagu varasemad maavärinad jättis seegi maha geoloogilise jälje, mistõttu on teada, et 800. kuni 1700. a pKr toimus seal kuus maavärinat. See tähendab, et San Andrease selles osas toimunud viimasest maavärinast on möödunud 330 aastat, seega umbes kaks korda rohkem kui varasemate maavärinate keskmine ajavahemik. Ei ole teada, mis nii pikka vaheaega põhjustab. Kindel on vaid see, et laamtektoonika jätkab oma aeglast, ühtlast lihvimistööd, kogudes rohkem energiat, mida järgmisel korral vallandada. Viimasest Lõuna-Californias toimunud maavärinast alates on kuhjunud umbes 7,92 m jagu suhtelist liikumist, mida murrangu hõõrdumine paigal hoiab ning mis lõpuks ühe suure värinaga vallandub.

Ühel päeval, võib-olla homme, võib-olla kümne aasta pärast, ent tõenäoliselt paljude selle raamatu lugejate eluea jooksul murrangu hõõrdumisest tingitud haare lõtvub ja see hakkab liikuma. Kui see sünnib, siis pole nõrgal murrangul mingit võimalust kogu talletatud energiat tagasi hoida. Rebend kulgeb piki murrangut kiirusega 3,22 km sekundis, selle liikumine loob seismilisi laineid, mis läbivad maapinna, raputades Lõuna-California hiidlinnastut. Kui meil veab, siis põrkab murrang millegi vastu, mis peatab selle juba umbes

160 km pärast, andes maavärina magnituudiks 7,5. Kuid juba kogunenud energia hulka arvestades on paljud seismoloogid seisukohal, et see liigub kuni 322 või isegi 563 km, ja seega võib registreeritud magnituud olla vastavalt 7,8 või 8,2.

Kui rebend jõuab Kesk-Californiani, läbides kogu tee Paso Roblesi ja San Luis Obispo lähedal asuva murrangu lõiguni, siis tabab see San Andrease teistmoodi käituvat osa. See nagu murrangu ülejäänud osa kogub tektoonilist nihkepinget sõrmeküüne kasvamise kiirusel. Kuid seda tuntakse ka nn hiiliva lõiguna. Selle asemel, et salvestada energiat, mis vabaneb ühe suure maavärina käigus, immitseb energiat siin väikestes kogustes, mõnikord väikeste maavärinatena, mõnikord ilma igasuguse seismilise energiata. Me arvame, me loodame, et hiiliv lõik toimib teatud surveventiilina ega lase maavärinal kasvada suuremaks kui 8,2.

•

2007–2008 juhtisin ma Ameerika Ühendriikide geoloogiauringu riskiohje teaduskonsultandina rohkem kui kolmesajast eksperdist koosnevat meeskonda projektis, mis sai nimeks ShakeOut¹ ning mille eesmärk oli anda aimu sellest, milline oodatav suur maavärin võiks olla. Koostasime maavärina mudeli, mis läbib 322 km San Andrease lõunaosas, ulatudes Mehhiko piiri lähistelt kuni Los Angelesest põhja pool asuvate mägedeni – tõenäoline, kuigi siiski mitte halvim stsenaarium.

Oma maavärina mudelis leidsime, et Los Angeles kogeks intensiivset värinat viie sekundi jooksul (võrrelge seda 1994. a toimunud Northridge'i maavärinaga, mis kestis seitse sekundit ja tekitas 40 miljardi dollari ulatuses kahju). Sama juhtuks ka saja teise naaberlinnaga. Tuhanded maalihked liiguksid kaskaadina mägedest alla, tõkestades maanteid, mattes enda alla maju ja elutähtsaid trasse.

Meie mudeli kohaselt variseb kokku 15 000 hoonet ja 300 000 saab raskeid kahjustusi. Me teame, milliseid hooneid see saatus ähvardab. Need on seda tüüpi hooned, mis on kokku varisenud ka

teistes kohtades toimunud maavärinates ning mida enam ehitada ei tohi. Kuid me pole nõudnud olemasolevate hoonete ajakohastamist lähtuvalt sellest, mida praeguseks teame. Võib juhtuda, et näeme kõrghooneid kokku varisemas. 1994. a Los Angelese maavärin ja 1995. a Kobe maavärin Jaapanis tõid päevavalgele hoonete teraskonstruktsiooni mõrad, mis põhjustas terase pragunemist. Sellised hooned seisavad ikka veel Los Angelese südalinnas. Paljud täiesti uued hooned tuleb märkida „ohtlikeks”, kuna need on sisenemiseks liiga ohtlikud ning vajavad kapitaalremonti või lammutamist. Meie ehituseeskirjad ei nõua, et linnaarendajad ehitaksid hooneid, mida saab *kasutada* pärast suurt maavärinat, need nõuavad, et hooned ei oleks eluohtlikud. Eeskirja järgides tuleb ohtlikuks märkida umbes 10 protsenti viimase kehtiva eeskirja järgi ehitatud uutest hoonetest. Võib-olla kukub osaliselt kokku vaid 1 protsent. 99 protsendi püsti jäämise võimalus on küll hea üksiku hoone jaoks, kuid 1 protsendi hoonete kokkuvarisemisega nõustumine linnas, kus on miljon hoonet, on erinev lugu. Maavärin teid tõenäoliselt ei tapa, kuid see muudab tööle asumise väga pikaks ajaks võimatuks.

Üks kõige hirmuäratavamaid meie saadud tulemustest oli maavärinast tingitud tulekahjude mõju. Maavärinad kahjustavad gaasitrasse, lõhuvad elektriseadmeid ja paiskavad need tuleohtlikele tekstiilidele, loksutavad maha ohtlikke kemikaale, luues hulganisti võimalusi tulekahju tekkimiseks. Kahekümnenda sajandi kaks suurimat linnamaavärinat olid San Francisco 1906. a ja Tokyo (Kanto) 1923. a maavärinad. Mõlemad panid alguse tulekahjudele, mis kasvasid tuletormideks ja põletasid maha suure osa neist linnadest. Võiks ju arvata, et nüüdisaegne tehnika on tulekahju probleemi suurel määral lahendanud, kuna 20. sajandi lõpus toimunud kaks California maavärinat – 1989. a Loma Prieta maavärin San Franciscos ja 1994. a Northridge'i maavärin Los Angeleses – ei lõppenud laastava tulekahjuga. Kuid see pole nii. Mitte sellepärast, et tehnika ei oleks muutunud, vaid seepärast, et seismoloogide silmis ei olnud Loma Prieta ja Northridge'i puhul tegemist suurte maavärinatega. Mainitud maavärinad üleelanud võivad sellega mitte

nõustuda, ning neile linnadele tekitatud kahju on vaieldamatu. Aga inimesed lihtsalt ei tea, milline on üks tõeliselt suur maavärin.

See, mida seismoloogid nimetavad „suureks” maavärinaks (7,8 või suurema magnituudiga), ei tähenda üksnes tugevamat rappumist – see hõlmab ka palju suuremat ala. Loma Prieta ja Northridge’i puhul oli rappumine tugevaim epitsentrites, mis mõlemal juhul jäid linnasüdamest kaugemale. Loma Prieta epitsenter asus Santa Cruze mägedes, Northridge’i tugevaimat rappumist oli tunda Santa Susana mägedes. Kuid sellegipoolest sai nendest maavärinatest alguse rohkem kui sadakond arvestatavat tulekahju. Tulega võitlemiseks läks vaja välist abi. San Francisco ja Los Angeles saatsid välja abikutse ning teiste piirkondade tuletõrjujad tulid appi. Kogu linna hõlmasid tulekahjud hoiti ära kõigi lähikonnast appitunud tuletõrjujate imetusväärse ja julge tööga.

Kui aga toimub meie mudelis kirjeldatud maavärin, siis on igas Lõuna-California linnas oma tulekahjud, millega võidelda. Abikutsungile saadakse vastuseks vaid teiste meeleheitlikud abipalved. Abi peab tulema Põhja-Californiast, Arizonast ja Nevadast. Sealsed tuletõrjujad peavad tulema Lõuna-Californiasse teiselt poolt San Andrease murrangut, mis on selleks ajaks kuus kuni üheksa meetrit liikunud ning kõik piirkonna maanteed oma kohalt nihutanud. Päästjatel kulub koos varustusega kohalejõudmiseks võib-olla päevi. Kohapealsed tuletõrjebriigaadid peavad tuld kustutama kohtades, kus hüdrante veega varustavad torud on purunenud või kuivad. Meie analüüsi kohaselt, mille vaatasid läbi Northridge’i ja Loma Prieta piirkonnas tulekahjude kustutamist juhtinud tuletõrjeülemad, võivad tulekahjud maavärina tekitatud kahju kahekordistada, seda nii majanduses kui ka inimohvrite poolest. Alguse võib saada 1600 tulekahju, 1200 neist paisuvad piisavalt suureks, et nende ohjamiseks läheb vaja rohkem kui ühte tuletõrjekompaniid. Nii palju tuletõrjekompaniisid pole terves Lõuna-Californias.

Kuigi see pilt tundub halb, võiks olukord olla veel hullem. ShakeOut-mudelis oli mul võimalik ilmastikutingimused valida. Kasutasin jahedat, tuulevaikset päeva. Tegelikuses toimuva

sündmuse puhul ei ole seda kahjuks võimalik valida. Kui maavärin toimub kurikuulsate Santa Ana tuulte ajal, mis on levitanud Lõuna-California suuri metsapõlenguid ja põhjustanud miljarditesse dollaritesse ulatuvat kahju, siis võivad alguse saanud tulekahjud olla pidurdamatud.

Enamik meist jääb ellu. Meie hinnangul saab hukka 1800 inimest ja 5300 vajab erakorralist arstiabi. Haiglakohti napib, kuna ka haiglad on kahjustatud, ning sinna on väga keeruline jõuda. Sildu pole võimalik ületada, tänavad on mattunud kokkuvarisenud hoonete rusude alla ja elektrikatkestuse tõttu ei tööta valgusfoorid. Paljud inimesed on hoonetes lõksus, esimesed päästjad on ülekoormatud. Enamiku ohvritest päästavad nende naabrid. Kahjud ületavad 200 miljardit dollarit.

Lõuna-California elanike normaalsele ligilähedane elu ei taastu veel niipeagi. Järgmiste kuude jooksul esineb kümneid tuhandeid järeltõukeid, millest mõned on ise laastava maavärina mõõtu. Purunenud on kõik linna elutähtsad süsteemid – elekter, gaas, side, vesi ja kanalisatsioon. Piirkonda toidu, vee ja energiaga varustavad transporditrassid kulgevad kõik üle San Andrease murrangu ning on ära lõigatud. Lihtsamal maailmas on kanalisatsioonihäire korral võimalik ehitada tagaajutine välikäimla. Nüüdisaegse linna keerukas keskkonnas põhjustab kanalisatsiooni puudumine võimaliku katastroofilise tervisekriisi. Linnade toimimine on võimalik keerukate tehnosüsteemide tõttu, mis toetavad selle elutähtsaid osi. Kirjeldatud maavärin hävitab kõik need süsteemid.

Meie mudelis moodustas ettevõtete tööseisakust tingitud saamata jäänud tulu poole kogu finantskahjust. Ilusalong vajab töötamiseks vett. Kontorid ei saa toimida elektrita. Tehnoloogiavaldkonna töö seiskub ilma internetita. Jaekauplused on raskustes, kuna nende kassiirid ja kliendid ei saa transpordi puudumisel kohale tulla. Bensiinijaamades ei ole elektri puudumise tõttu võimalik tankida ja side puudumise tõttu kasutada krediitkaarti. Ja kui paljud meist tahaksid jääda Los Angelesse, veel vähem minna tööle, kui pole kuu aega duši all käinud?