

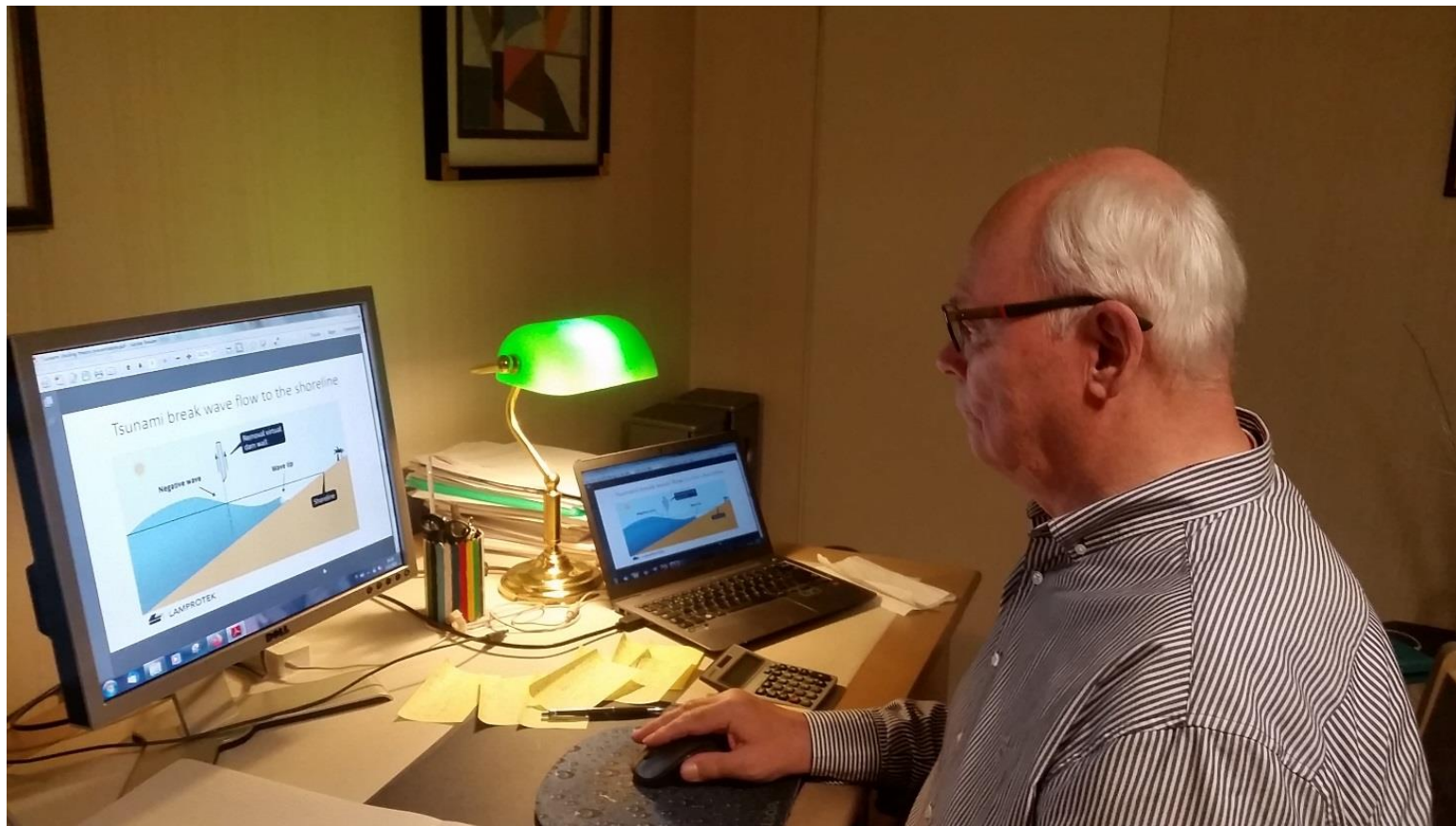
Tsunamin rantautuminen

Dipl. Ins. Kalle Lampela
Kirkkonummen Komeetta ry.
2024

Luennoitsija

- Dipl.ins. Kalle Lampela, Oulun Yliopisto 1976
- 40 vuoden työura vaativissa kansainvälisissä tehdasprojekteissa ja Suomen ydinvoimalaprojekteissa (Loviisa 1&2, Olkiluoto 3)
- Ongelma: 2004 Intian valtameren tsunamin jälkeen ennakoitiin varsinkin ydinvoimala-asiakkaiden alkavan kysellä maanjäristysmitoituksen lisäksi tsunamimitoitusta rannalle ja satamiin rakennettaviin kohteisiin tsunamiherkille alueille
- Kehittämäni Tsunamin rantautumisteoria on julkaistu 2019
- Tunnuslause: Kun kaukaa katsoo, näkee metsän puilta

Kalle Lampela työssään



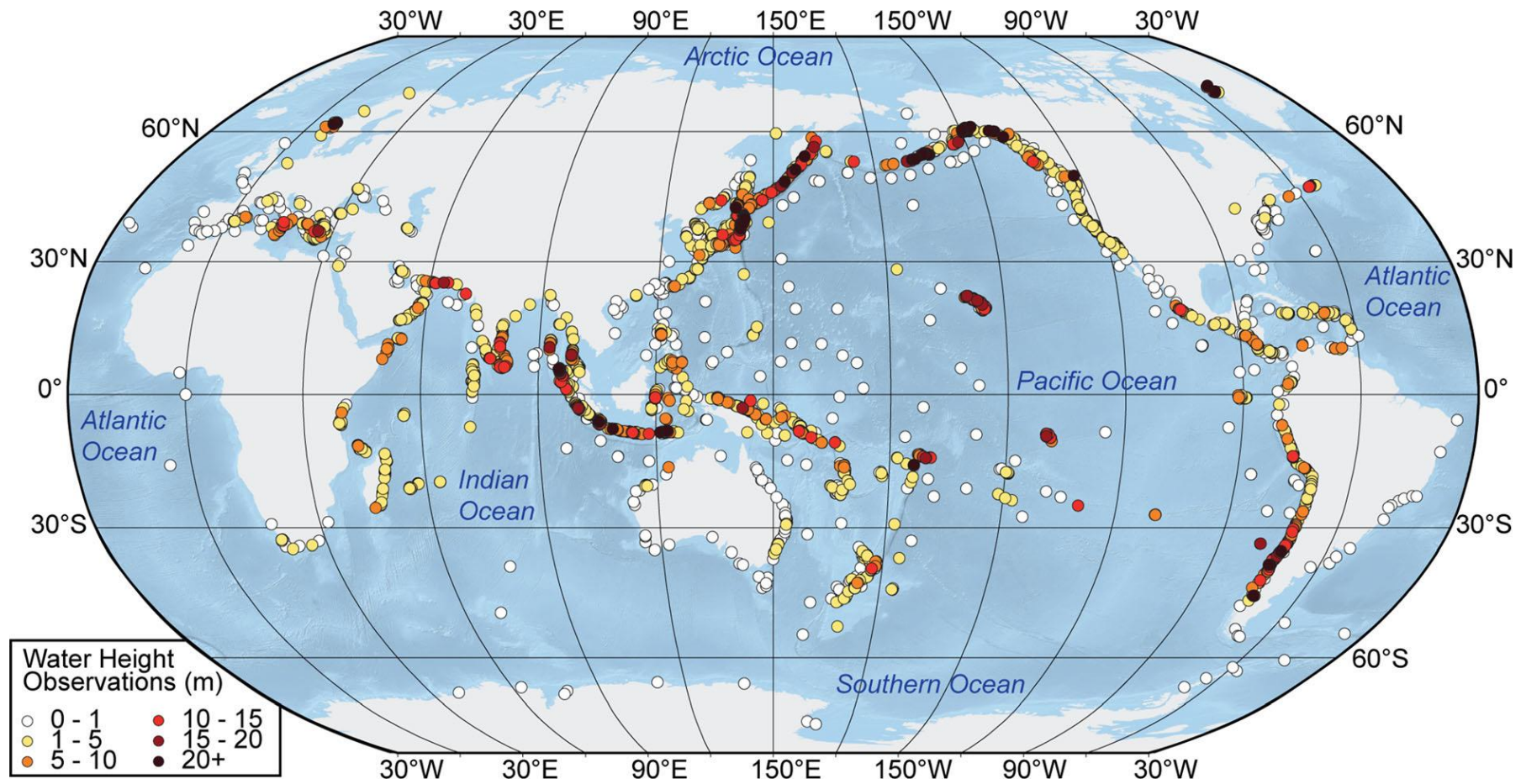
Esimerkkejä isoista tsunameista

- 2011 Japanin itärannikon suuri tsunami
- 2010 Chilen tsunami
- 2004 Intian valtameren tsunami
- 1755 Lissabonin tsunami

Tsunami ovat yleisimpiä Tyynenmeren tulirenkaan alueella, Intian valtamerellä ja Välimerellä

Paleotsunamien tutkimus on historiallisten tsunamien tutkimusta. Tällaisten historiallisten tsunamien lukumäärä on yllättävän suuri eri puolilla maailmaa.

Maailman tsunamikartta



Tsunamin rantautuminen Thaimaa 2004

Kun yksittäinen tsunamiaalto tulee matalalle rannalle, merivesi vetäytyy paljastaen meren pohjaa. Seuraavaksi tsunamiaallon etureunaan muodostuu vaahtopäät.



Tsunamin vaiheet

- Tsunamin synty, eteneminen ja rantautuminen
- Synty: tektonisten laattojen alityönnön murtuminen, maanjäristys, tulivuoren purkautuminen, niiden aiheuttama maanvyöry ja meteoriitin törmäys.
- Tsunami etenee merellä satojen kilometrien vauhdilla riippuen meriveden syvyydestä
- Tsunamin rantautuessa merivesi syöksyy rannalle lakikorkeuteen, josta se palautuu mereen takaisin. Matalilla rannoilla merivesi vetäytyy usein ennen kuin se syöksyy rannalle.

Intian valtameren tsunami 2004 (IOT)

- Intian valtameren tsunami 2004 oli käännteentekevä tsunamien tutkimukselle, koska saatiin paljon reaaliaikaisia videoita, valokuvia, silminnäkijähavaintoja ja rantojen vahinkojen tutkimusaineistoa
- Queenslandin yliopiston virtaustekniikan professori Hubert Chansson havaitsi Sumatran Acehissa 2004 kuvatuista videoista, että tsunamin kärki etenee maalla kuten sisämaassa murtuneen padon virtaus
- Afrikan itäisimmässä paikassa Hafuunissa saatiin tieto valtameren yli tulevasta tsunamista ja asetuttiin tarkkailemaan tsunamin tuloa matalalle rannalle paikallisen varakonsulin Mahad X. Saidin johdolla. Nähtiin kolme meripadon murtumaa virtauksena rantaan.

Prof. Hubert Chanson
s. 1961

Hubert Chanson on
virtaustekniikan professori
Brisbanessa Queenslandin
Yliopistossa.

Hän on hyvin laaja-alaisesti
tutkinut virtausteknisiä asioita,
julkaissut kirjoja ja palkittu
ansioistaan.

Yhtenä alueena on murtuneen
padon virtauksen kärjen muodon
tutkimus.



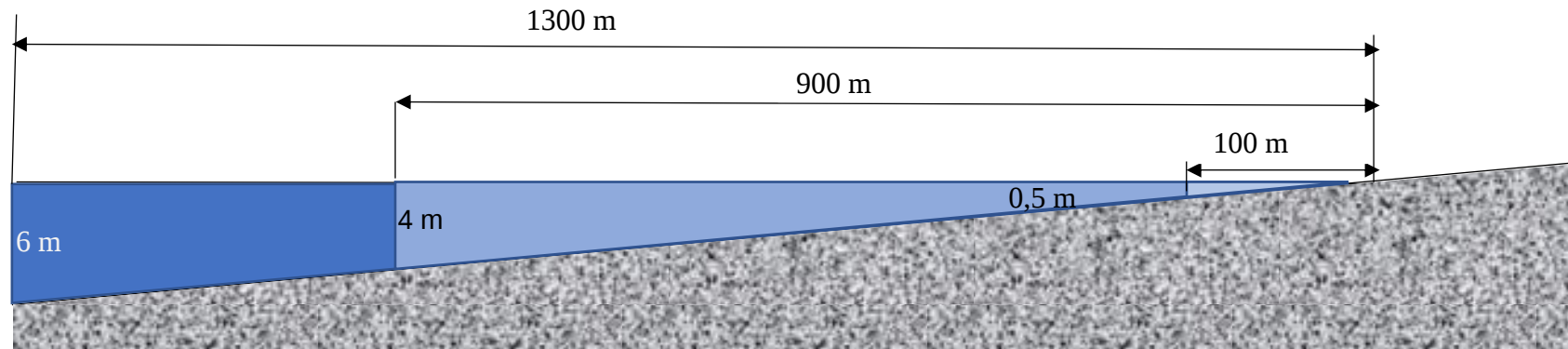
Näkymä entiseltä suolatehtaalta merelle, jossa näkyy suolan kuljetuksen köysiradan pilaristo.

Kuva Ahmed Nune – Hafun, Afrikan sarvi, Suolatehdas, Wikimedia Commons

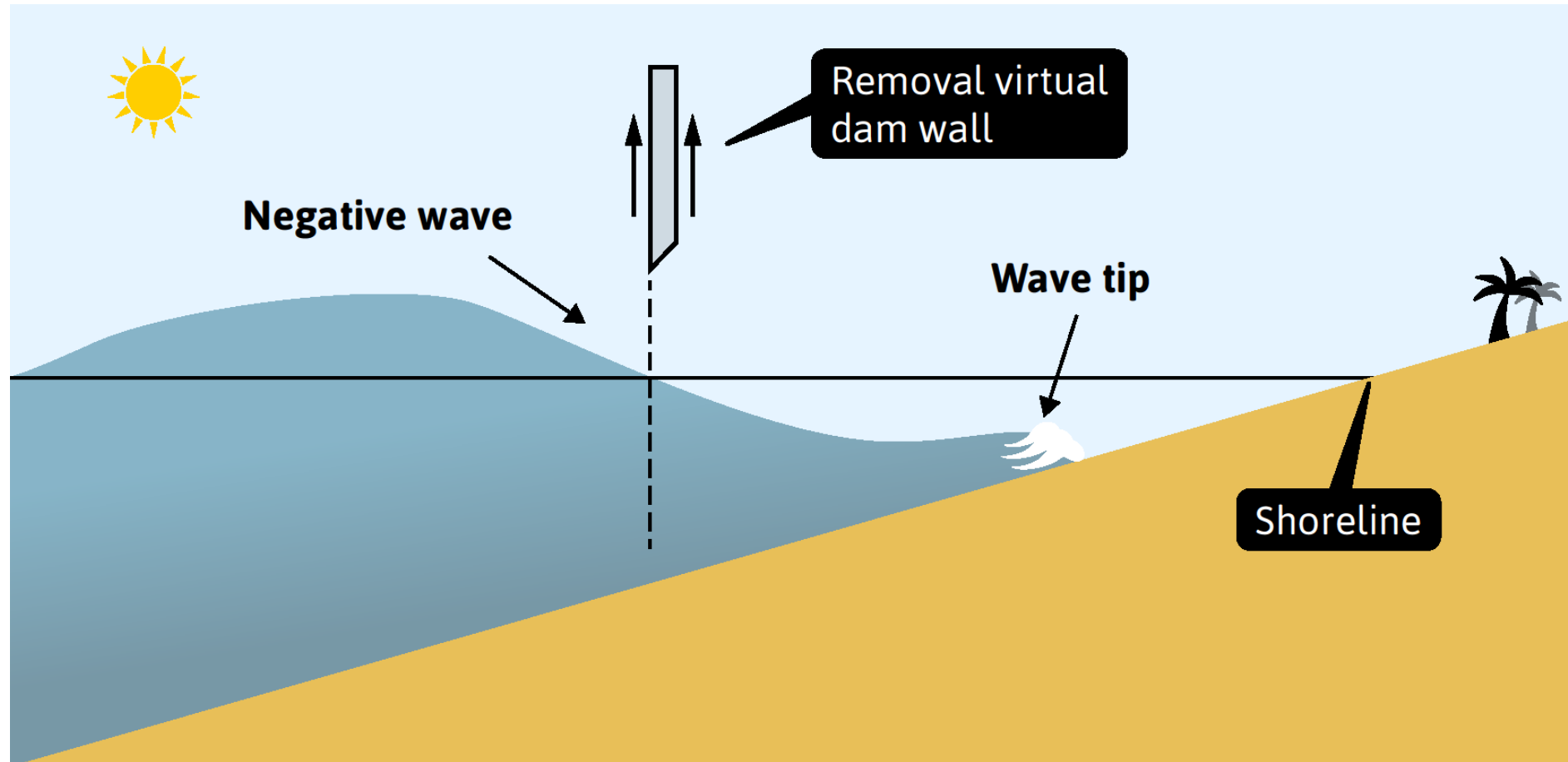


Tsunamin rantautuminen 2004 Hafuun, Somalia

- Ensin havaittiin meriveden 100 metrin vetäytyminen puolen metrin syvyyteen, minkä seurauksena merivesi tulvi rantaan. Jyrkemmällä naapurirannoilla ei havaittu ensimmäistä aaltoa.
- Seuraavaksi merivesi vetäytyi taas 900 metrin matkalta aina 4 metrin syvyyteen paljastaen kuivan hiekkaisen meren pohjan. Merivesi tulvi nyt jo osittain kylään.
- Lopuksi merivesi vetäytyi 1300 metriä aina kuuden metrin syvyyteen törmäten vastaan tulevaan tsunamiaaltoon. Meriveden syöksy rannalle ulottui 4 – 6 metrin korkeuteen.
- Meriveden purkaukset rantaan tapahtuivat 12 minuutin välein. Vuorovesi oli minimissään.
- Tiedot UNESCO:n raportista: Fritz ja Borrero, Tsunamin 2004 tutkimusmatka Somalian rannikolle



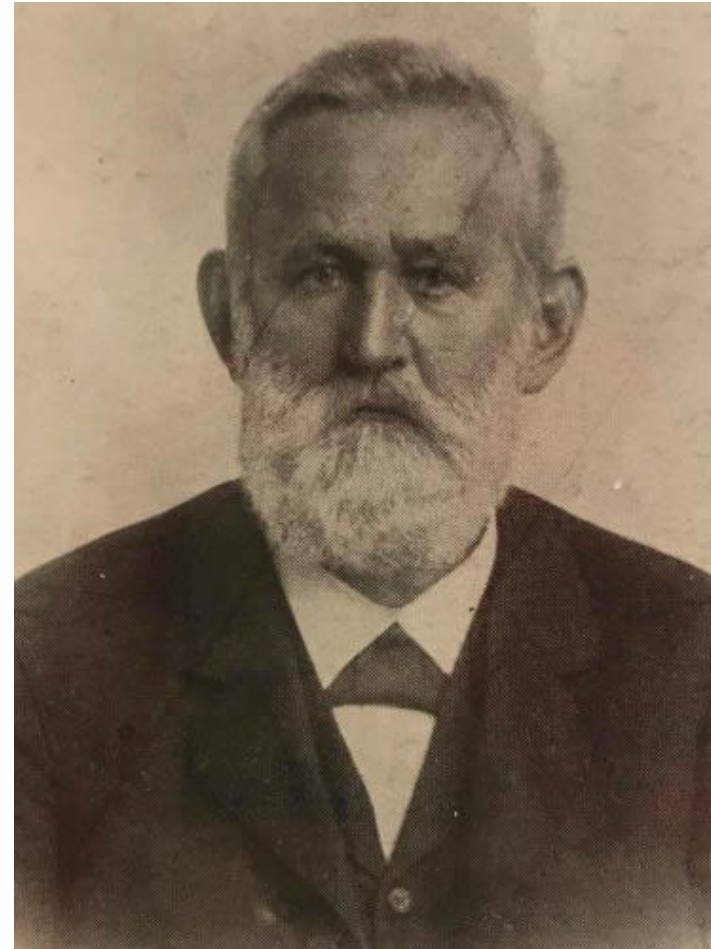
Tsunamin rantautuminen näennäisestä padosta



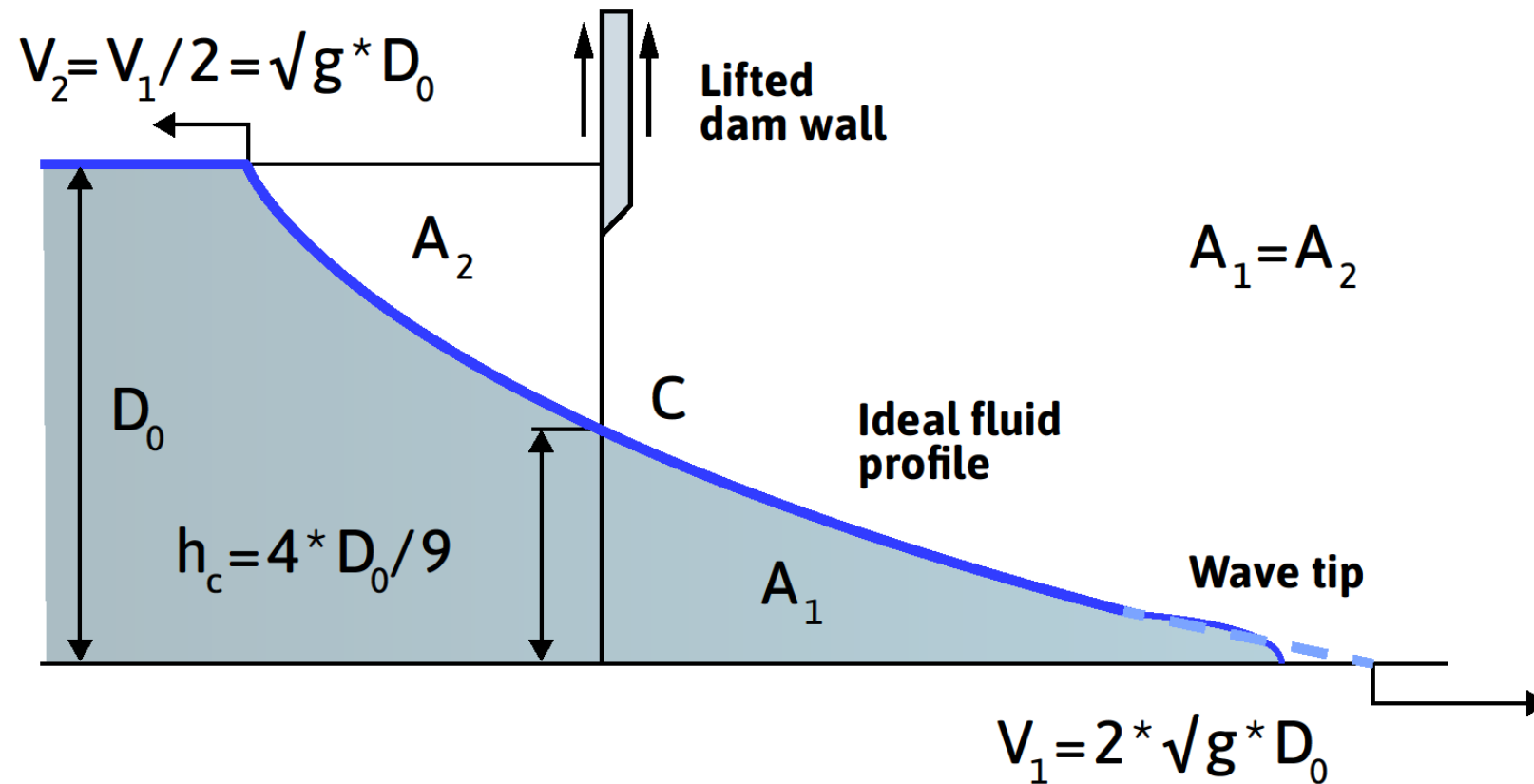
Prof. August Ritter
1826 - 1908

Julkaisi padon seinämän
murtumisen virtausyhtälöt 1892.

Toimi mekaniikan professorina
Achenin Teknisessä
Korkeakoulussa (RWTH)



Padon seinämän murtumisen käsitteet

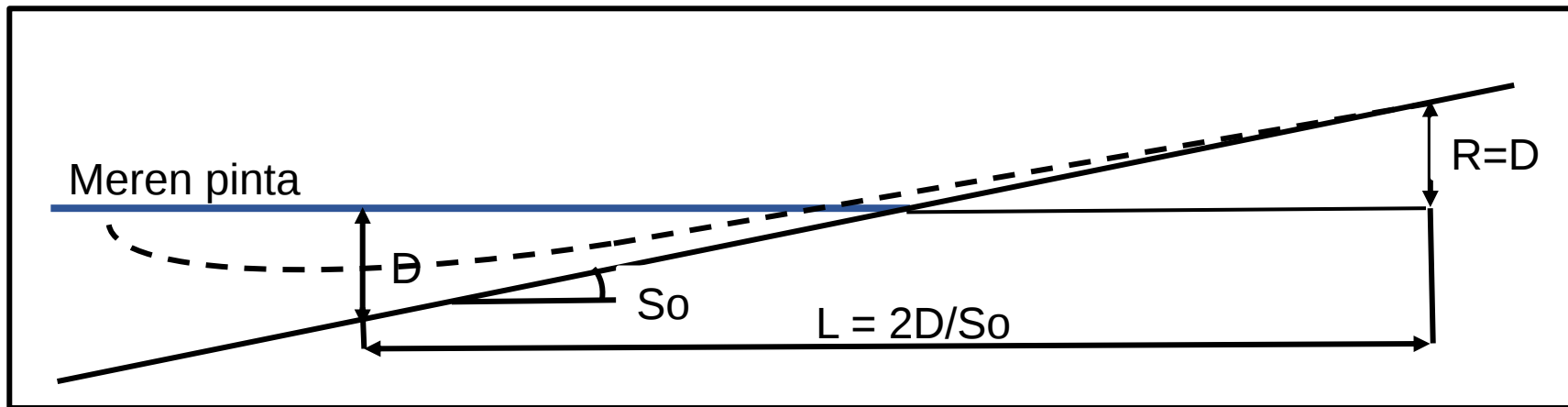


Padon seinämän murtuman virtaus

- Kun padon seinämä nostetaan ylös, eteenpäin virtaus alkaa alhaalta ja ylhäällä veden pinta laskee muodostaen paraabelin muotoisen pinnan
- 10 metrin padosta virtaus avomerelle on 10 m/s (36 km/h) ja rannalle päin 20 m/s (72 km/h)
- Padon kohdalla oleva piste C pysyy paikallaan 4/9 kertaa padon korkeus
- Padon laskentakaavat julkaisi ensimmäisenä (1892) Achenin teknisen yliopiston professori August Ritter
- Kitkan vaikutuksesta virtauksen kärki pyöristyy hidastaen virtausta

Tsunamin rantautuminen tasaisesti nousevalla rannalla.

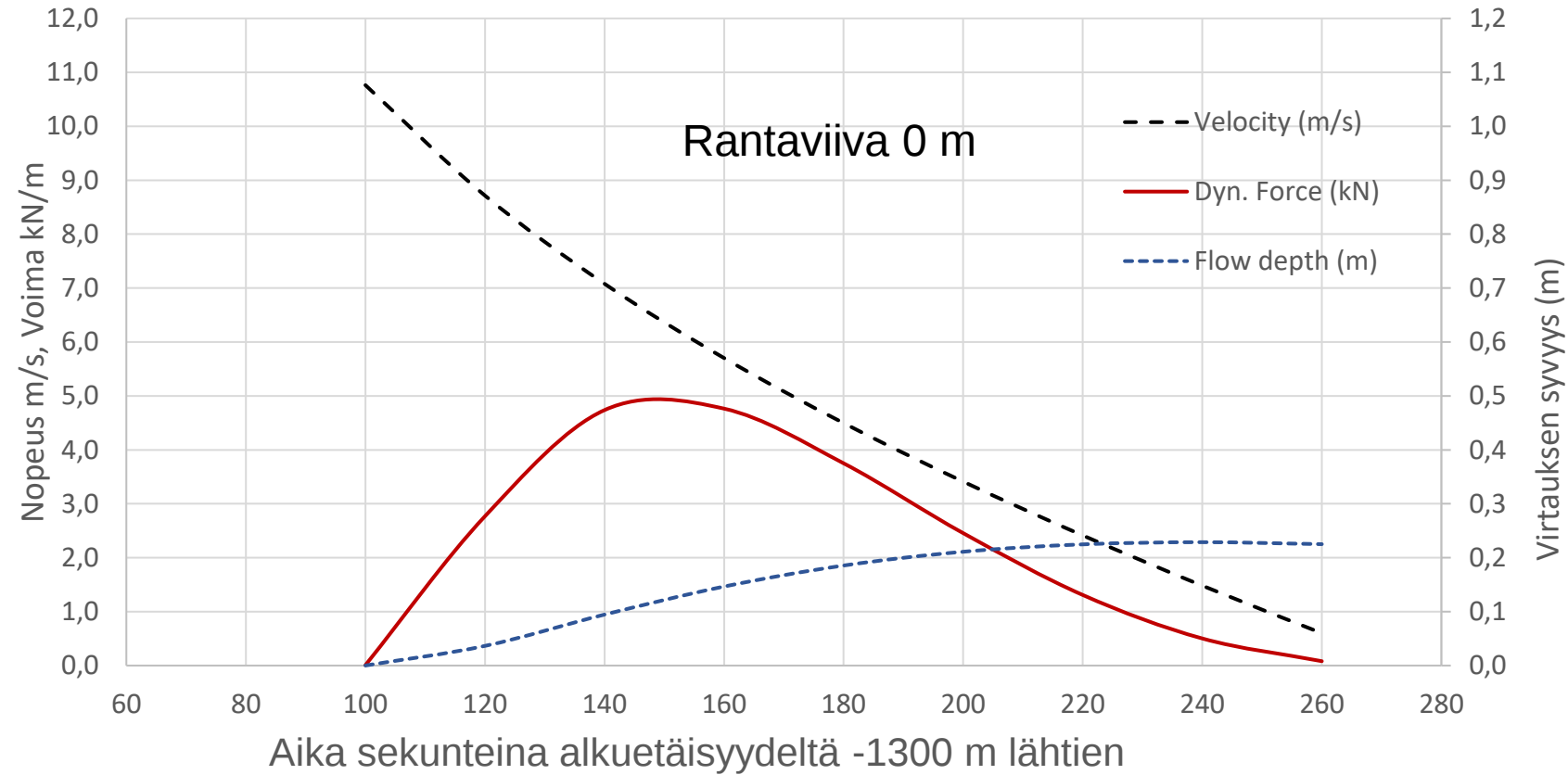
Kitkaton virtaus, jolloin padon korkeus D on yhtä suuri kuin nousukorkeus rannalla R .
Kahdella yksinkertaisella yhtälöllä hallitaan koko virtaus hetki hetkeltä



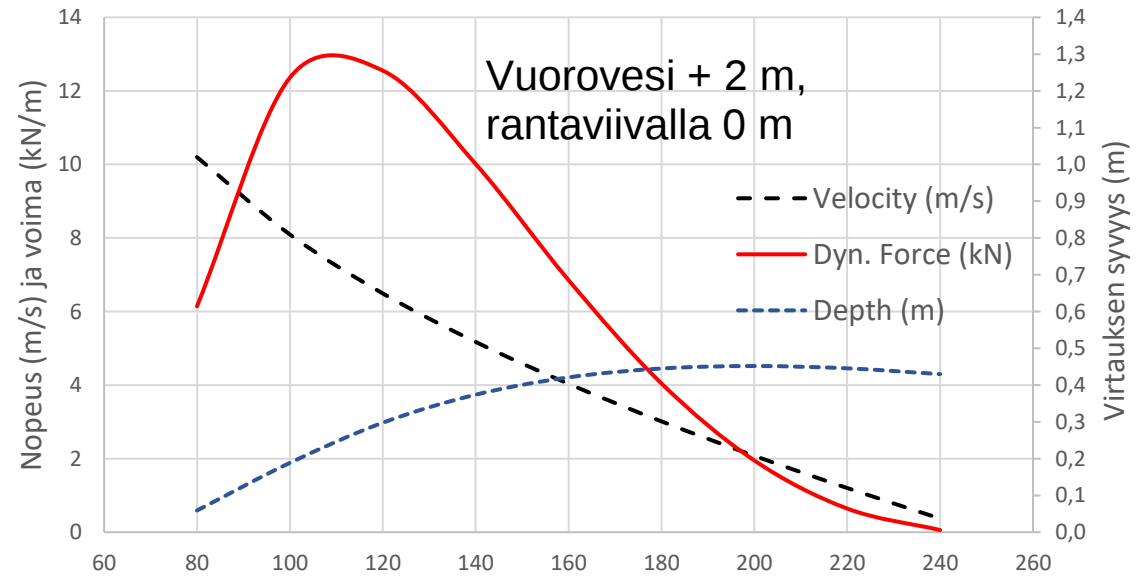
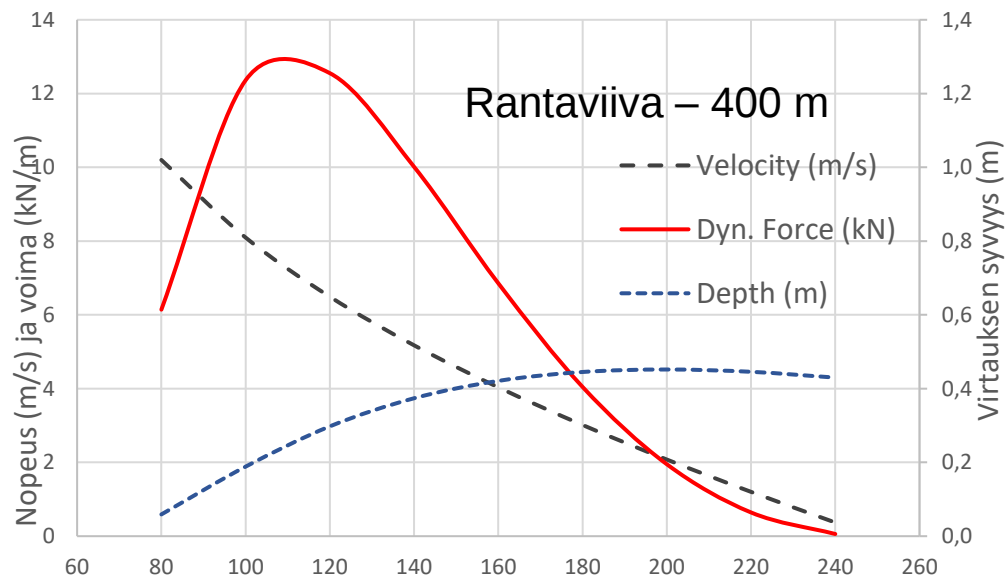
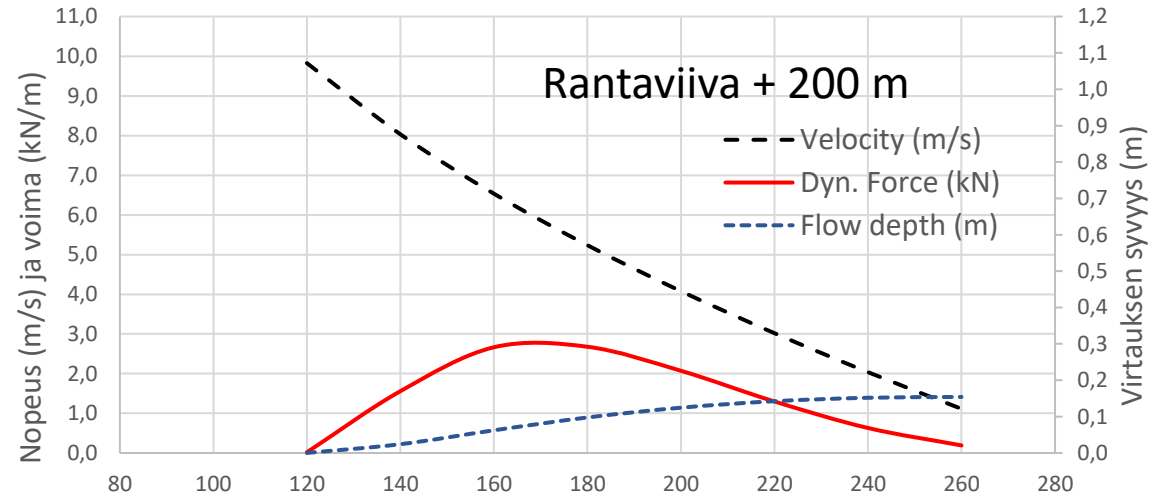
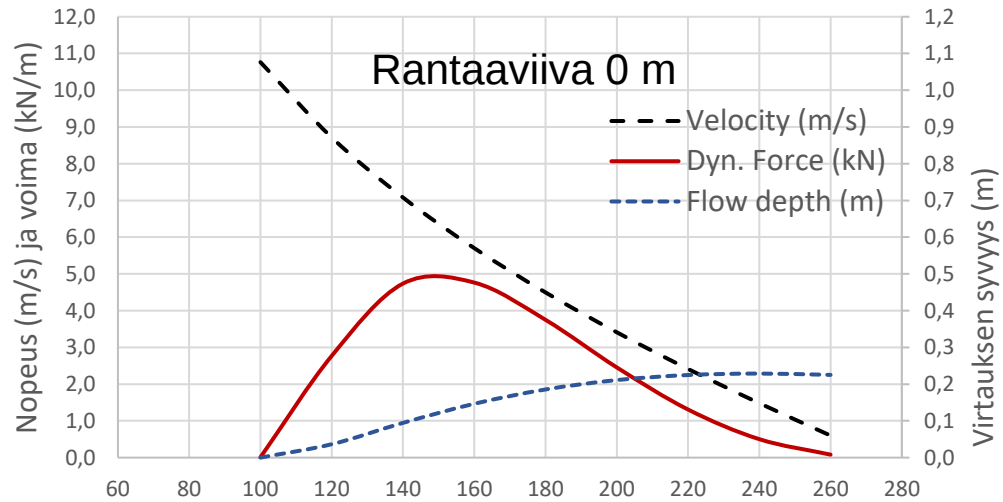
Virtausen syvyys $\frac{d}{D} = \frac{1}{9} * \left(2 + \frac{1}{2} * S_0 * t * \sqrt{\frac{g}{D}} - \frac{x}{t * \sqrt{g * D}} \right)^2$

Virtauksen nopeus $\frac{V}{\sqrt{g * D}} = \frac{2}{3} * \left(1 - S_0 * t * \sqrt{\frac{g}{D_0}} + \frac{x}{t * \sqrt{g * D}} \right)$

Aasian tsunamin 3. aallon virtaus rantaviivalla Hafuun, Somalia.
Tsunamin virtauksen nopeus, syvyys ja voima.



Aasian 2004 tsunami 3. aalto. Rantaviivalla 0 m, +200 m, -400 m ja vuorovesi + 2m



Tsunamin padon korkeuden (D) arviointi

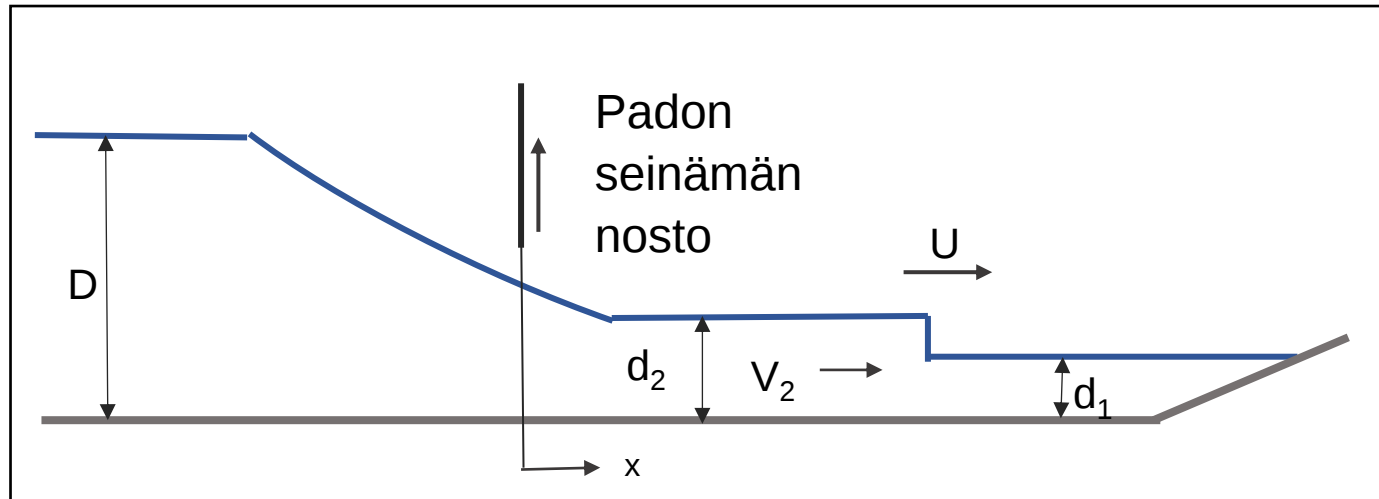
Yksittäisen tsunamiaallon energia	Padon korkeus D (m)	Nousukorkeus (m)	Haavoittuvuus	Tsunami Taajuus
Erittäin korkea Taso 2	30	10 - 20	Täysin tuhoava	1/ 1000 vuodessa
Hyvin korkea	20	6 -10	Tuhoava	
Korkea, Taso1	10	4 – 6	Rikkova	1/ 100 vuodessa
Matala	5	2 – 4	Vahingoittava	
Hyvin matala	2	< 2	Heikko	

Tsunamin tyypit

- Tsunamit jaetaan kerran sadassa vuodessa ja kerran tuhannessa vuodessa tapahtuviin suojautumisen kannalta
- Kerran sadassa vuodessa tapahtuvat ovat paikallisia tai valtameren yli tapahtuvia tyypillisesti alle 6 metrin nousukorkeuden tsunamia
- Kerran tuhannessa vuodessa tapahtuvat megatsunamit alkavat voimakkaalla maanjäristyksellä muutaman sadan kilometrin päässä ja niiden nousukorkeus voi olla yli 10 metriä
- Yleisenä strategiana on kestää alle 6 metrin tsunamit rantavalleilla ja yli 10 metrin megatsunamit pakenemalla turvallisiin paikkoihin. Japanin itärannikolle rakennettu yli 200 kilometriä 6 metriä korkeita rantavalleja miljardeilla euroilla

Tsunamin padon virtaus yli seisovan meriveden

Virtaus ottaa mukaan seisovan meriveden, jolloin virtauksen korkeus kasvaa ja nopeus hidastuu (J.J. Stoker 1957)



$$V_2 + 2 * \sqrt{g * d_2} = 2 * \sqrt{g * D}$$

$$d_1 * U = d_2 * (U - V_2)$$

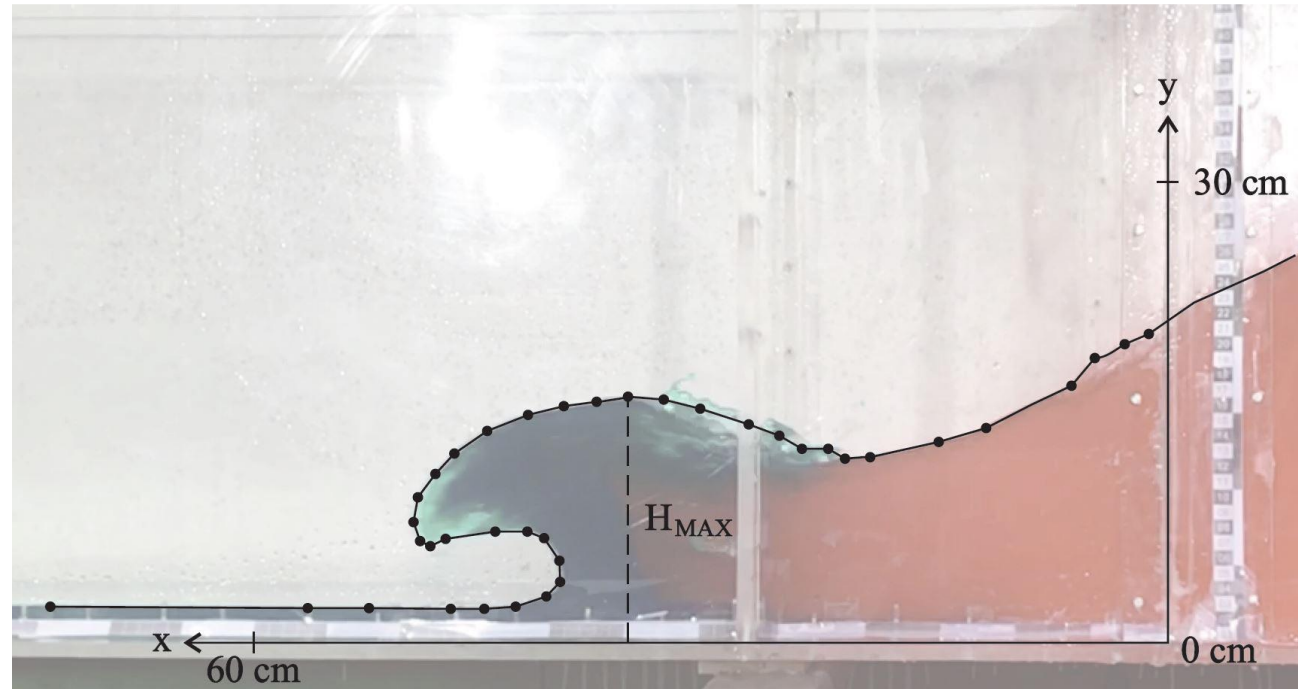
$$d_2 * (U - V_2)^2 - d_1 * U^2 = \frac{1}{2} * g * d_1^2 - \frac{1}{2} * g * d_2^2$$

Padon virtaus matalaan seisovaan veteen

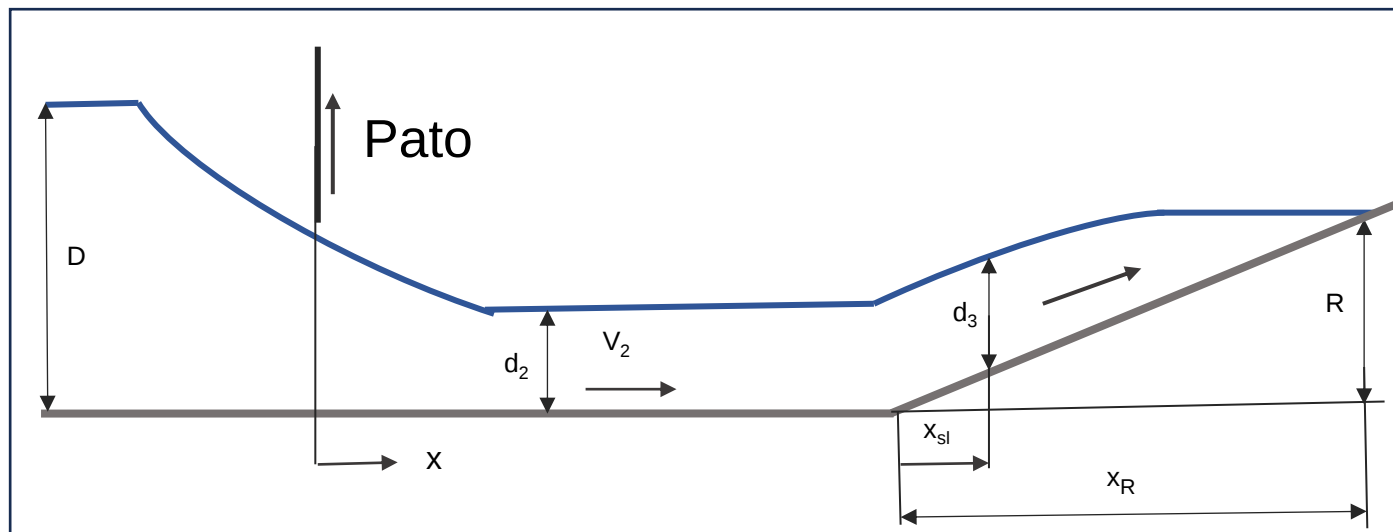
Kun meriveden korkeus on noin 5 %:a padon korkeudesta, virtauksen kärki muodostaa ”sieni”-tyyppisen poikkileikkauksen, joita havaitaan joskus tsunamin rantautumisen yhteydessä.

Kuva laborioriotestistä.

Lélis Espartel & Rafael Manica:
Experiments on initial stages of
development of dam-break waves

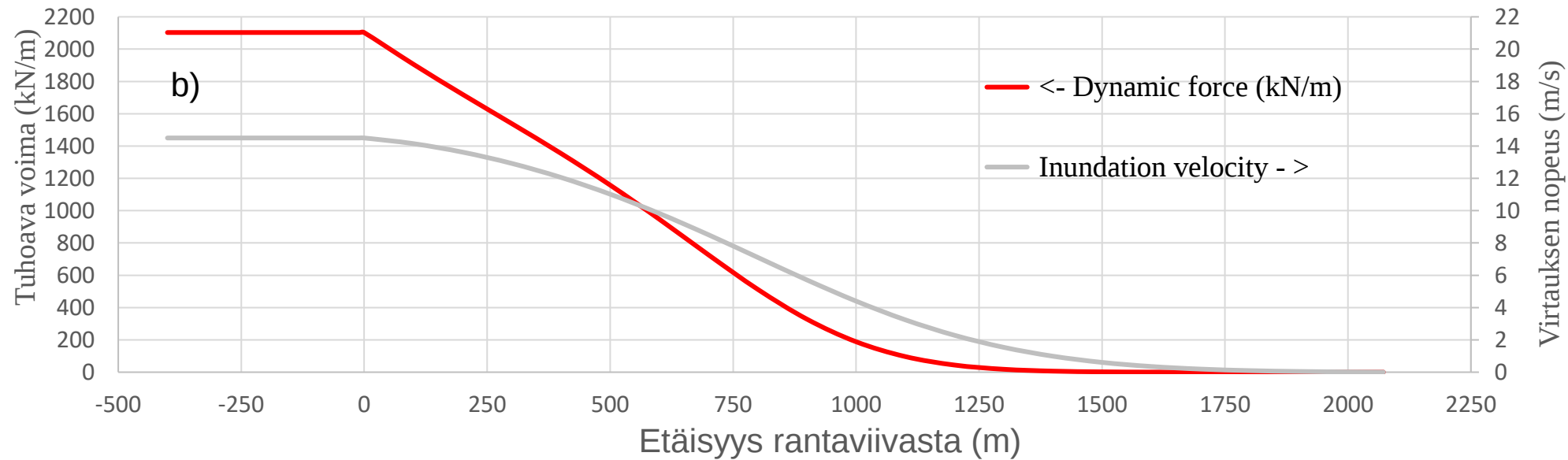
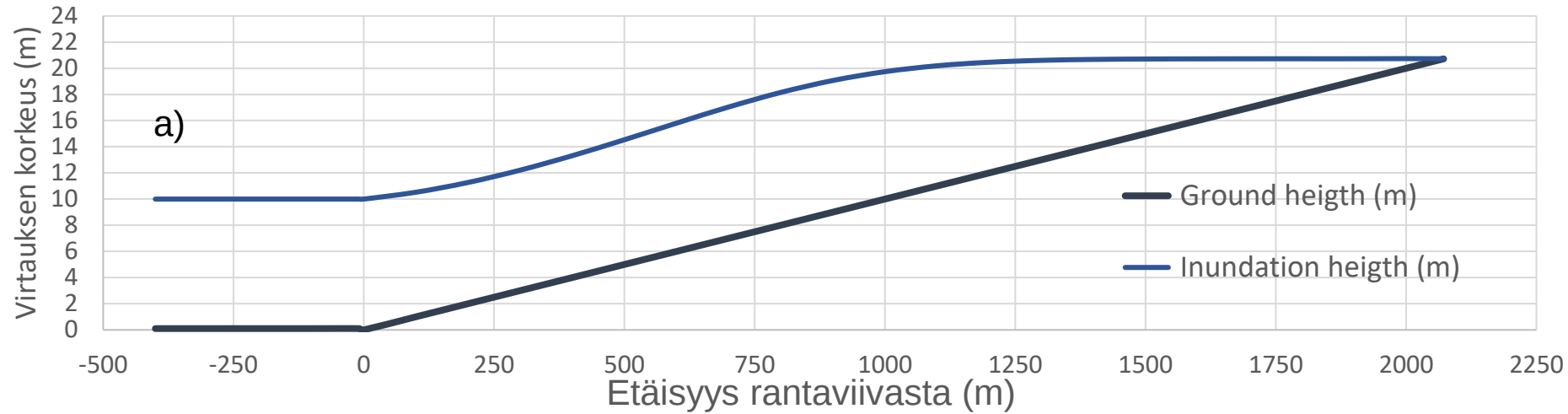


Tsunamin virtaus seisovan veden yli nousukorkeuteen



$$R = d_2 + V_2^2 / 2g \quad \text{Nousukorkeus ilman kitkaa}$$

Megatsunami D =30 m, veden syvyys 2 m , rannan kaltevuus 1/100.
a) Virtauksen syvyys, b) Virtauksen nopeus ja voima

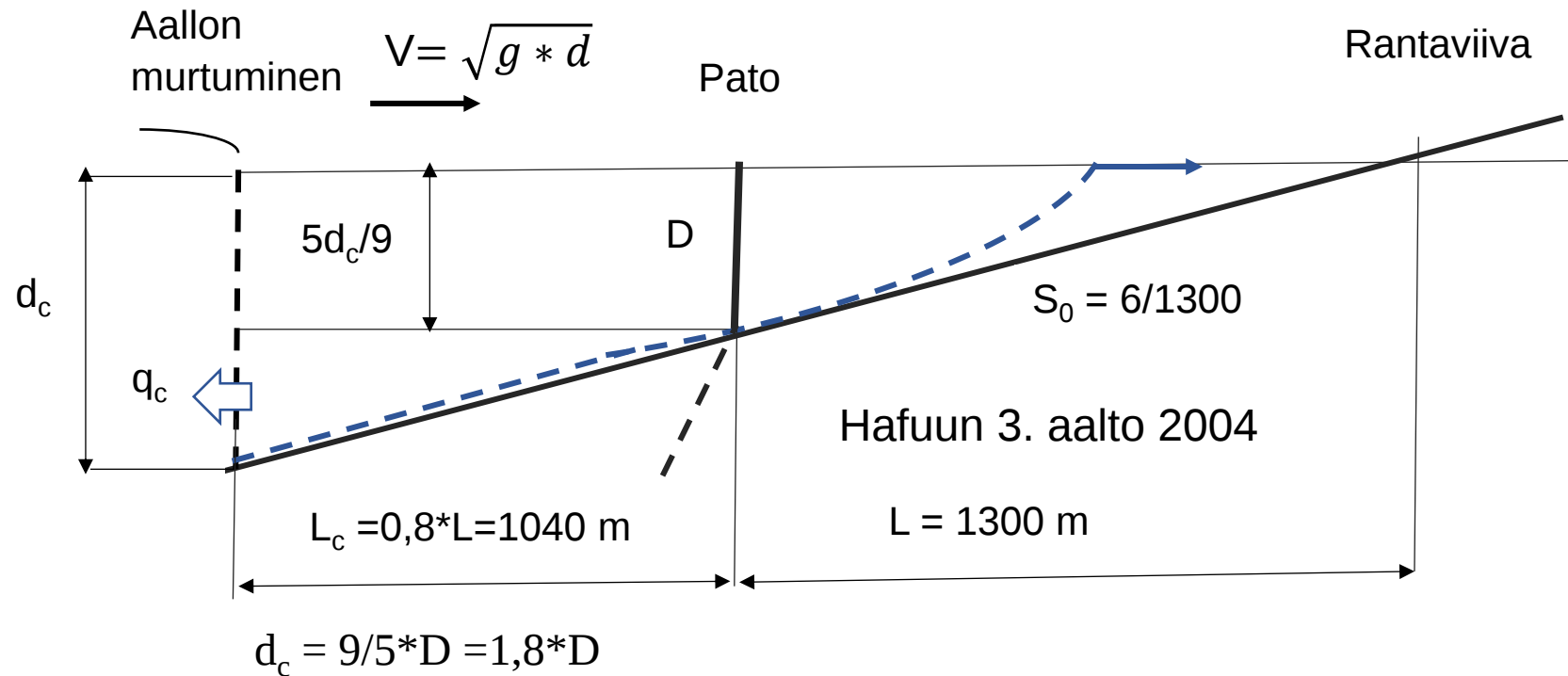


Ihmepuu (Miracle pine) Rikuzentakat Japani 2011



Tsunamin vetäytyminen ennen padon murtumista

Pato aukenee merelle päin tyhjentäen rannan merivettä alkan 1,8 kertaa padon korkeudesta



$$q_c = \frac{8}{27} * d_c * \sqrt{g * d_c}$$

Hafuun 3. aalto 2004

Mitä uusi teoria selittää

- Meriveden vetäytymisen riippuen meren pohjan muodoista
- Meriveden voimakkaan virtauksen rantaan nousukorkeuteen
- Seisovan veden yli tsunami tulvii hyvin voimakkaasti hitaammalla virtausnopeudella
- Kuivuneessa rannassa virtaus on nopea ja matala rikkoen rakenteet
- Tsunamin virtaus rantaan kestää kauan kilometrejä pitkän aallon takia
- Meren pinnan tasolla olevat jokisuut ja kanavat tulvivat voimakkaasti ja palautuvat hitaasti saaden lisää korkeutta seuraavista tsunamiaalloista
- Rantarakenteisiin kohdistuvat kuormat voidaan laskea eri tsunamin voimakkuuksilla

Tilly Smith

10-vuotias englantilainen Tilly Smith näki vuonna 2004 Thaimaassa meriveden vetäytyvän rannasta. Oli oppinut juuri geologian tunnilla tsunamin käyttäytymisen.

Kertoi äidille tsunamin tulosta. He varoittivat rannalla olevia ja pelastivat kymmeniä ihmisiä.

Tilly sai kunniamaininnan Angel of the beach (rannan enkeli).



Tulvaportti 15,5 meter Tydal, Japani

1983 valmistunut Tydalin tulvaportti sai osakseen ankaraa arvostelua rahan tuhlauksesta.

Vuoden 2011 tsunamissa ehdittiin tulvaporrit sulkea vaikeuksien jälkeen. Vaikka tsunami virtaus ylitti hieman tulvaporin, kaupunki säästyi vaurioilta.

Kuva: Wikipedia Commons



Onagawan ydinvoimala, Japani

Yanosuke Hirain (1902 -1986) johdolla rakennettiin 14,3 metriä korkea tsunamivalli, joka esti Japanin 2011 tsunamin vahingot kokonaan.



Tsunamin vaimentuminen ennen rantaviivaa

- Pystysuora ja syvä kallioseinämä
- Rannasta etäällä oleva yhtenäinen koralliriutta
- Matalikko rannikon edustalla
- Matala merenpohja päättyy jyrkkään syventeeseen
- Hyvin epätasainen merenpohja vaimentaa ja tehostaa joitakin aaltoja
- Yli 1000 kilometrin päässä tapahtuva isokin tsunami vaimenee alle 6 metriseksi

Tsunamilta suojautuminen

- Ennakkoon: valitsemalla korkeammalla sijaitseva teräsbetoninen rakennus
- Selvittämällä paikan päällä pakenemisreitit korkealle paikalle (yli 6 m)
- Maanjäristyksen sattuessa paettava rannalta heti turvalliselle paikalle
- Matalan rannan nopean vetäytymisen havaitseminen antaa lisää aikaa.
- Jos tsunami vaahtopäät näkyvät horisontissa, aikaa turvalliseen paikkaan vetäytymiselle on enää noin 5 minuuttia
- Hallitsemalla tsunamin vaiheet pystyt parantamaan asemaasi tsunamin aikana
- Puiset ja tiiliset rakennukset rikkoontuvat helposti tsunamissa
- Tasainen uimaranta on vaarallinen, koska herkkä kaikille tsunamiaalloille

Tsunamin rantautumisteoria

1. Tsunamiaalto murtuu ennen rantaan tuloa matalassa rannassa
2. Yksittäinen tsunamiaalto muodostaa merelle padon
3. Pato purkautuu tuhoavana virtauksena rantaan
4. Meriveden korkein kohta rannalla määräytyy tsunamin voimakkuuden ja virtaushäviöiden mukaan
5. Seisovan meriveden yli tapahtuva padon purkautuminen on voimakkaasti tulviva
6. Hyvin matalassa rannassa merivesi vetäytyy kuivattaen meren pohjan
7. Patoteorialla voidaan laskea tsunamin rantautuminen

Yhteenveto

- Tsunamin rantautumisteoria esittää yksinkertaisen laskennallisen mallin tsunamin ominaisuuksista matalalla rannalla
- Tarkastelun lähtökohdaksi riittää rannan poikkileikkaus tutkittavan kohteen kohdalla ja tsunamin voimakkuuden arvio
- Tsunamin rantautumisteoria on yksinkertainen, selittää enemmän kuin vanhat teorialat ja pystyy ennustamaan uusia tilanteita kuten vuoroveden ja meriveden pinnan nousun vaikutuksia.
- Teoria antaa myös selkeän perustan tsunamista selviytymiseen.

Kiitos!