



Tsunamiforskning og anvendelser på NGI

Finn Løvholt

For bruk på videregående skoler



Norwegian Geotechnical Institute

- NGI is a leading center of research and consultancy in engineering-related geosciences
- NGI provides Norway's largest geotechnical research environment
- NGI is a private research foundation, governed by our charter to conduct applied research, technological development and innovation, as well as to contribute to the development and education within geotechnical and related geosciences
- NGI works within the fields of **Offshore Energy, Building Construction and Transportation, Natural Hazards, and Environmental Engineering**

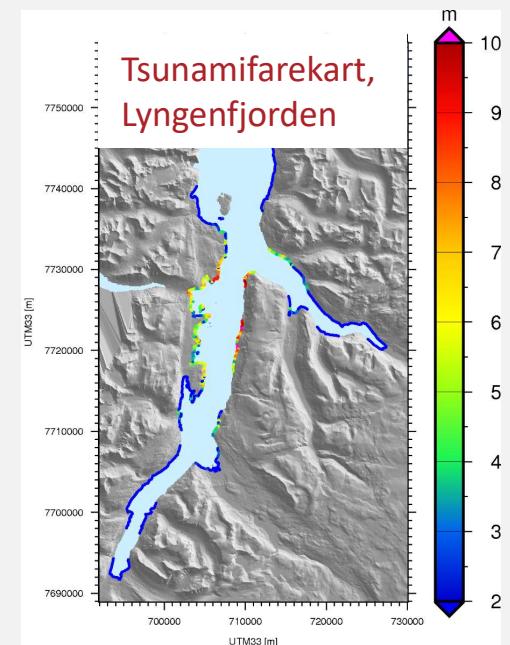


Tverrfaglig arbeid viktig – ofte kommer mange anvendelser sammen og vi må koble kunnskap mellom ulike områder –
eksempler områder vi jobber med innenfor naturfareområdet

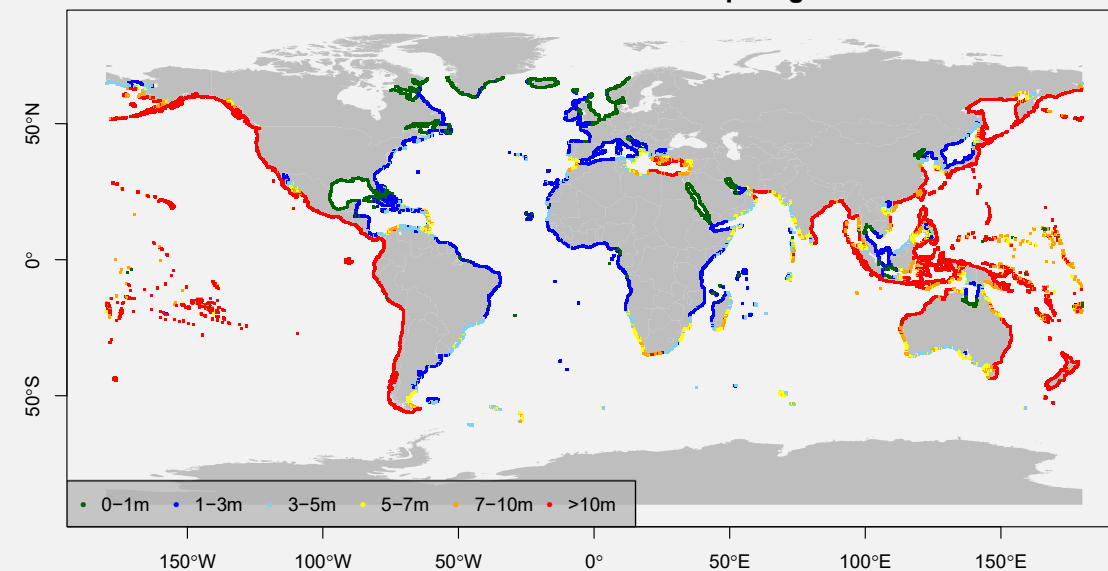


Fokusområder – hvor jobber vi

- Lokalt, knyttet til norske fjorder, skredområder
- Globalt, avhengig av oppdrag / kompetanse
- Med forskning, for å forbedre metodikk, kunnskap → ofte globalt og generelt fokus
- Både nasjonalt og internasjonalt samarbeid

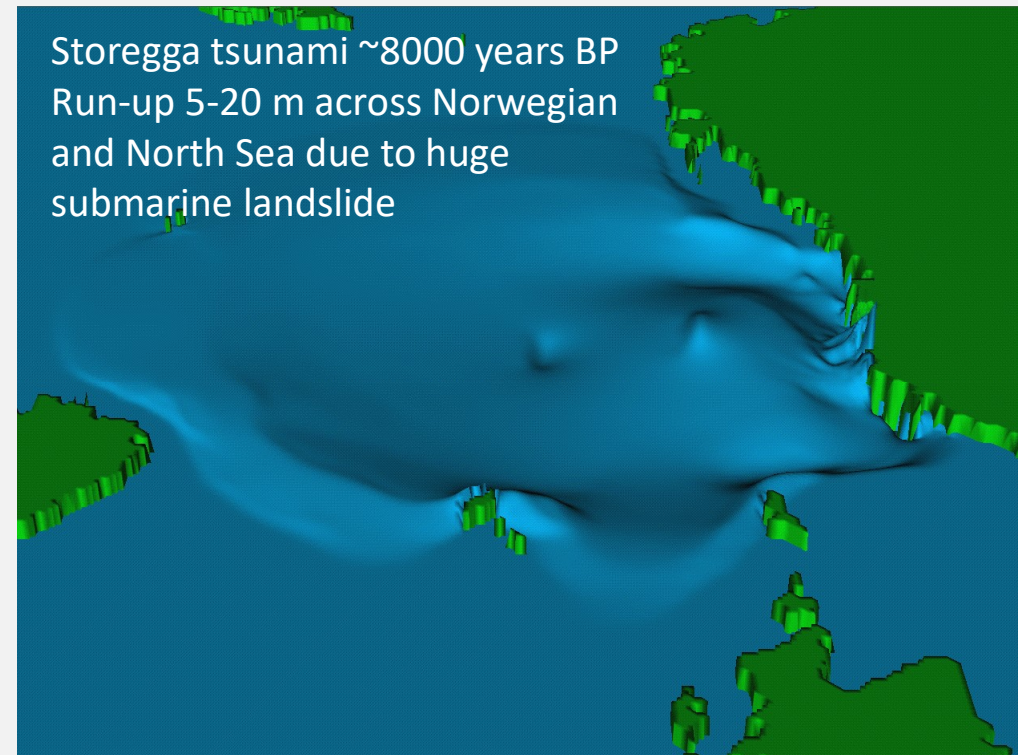


1/2500 exceedance rate runup height



Hva er en flodbølge / tsunami?

- Japansk: Uvanlig stor havnebølge
- Generert av hurtig forstyrrelser av havbunnen eller fortrenging av vann (jordskjelv, skred, vulkaner, meteorologisk trykkforandring)
- Oppskyllingshøyder kan variere mellom noen få cm til flere hundre meter
- Bølgeperioden kan variere mellom ~1 minutt – ~1 time (typisk 5-30 minutter)



Flodbølger Eksempler

Japan tsunami 2011

<https://www.youtube.com/watch?v=fkmjXoILYto>

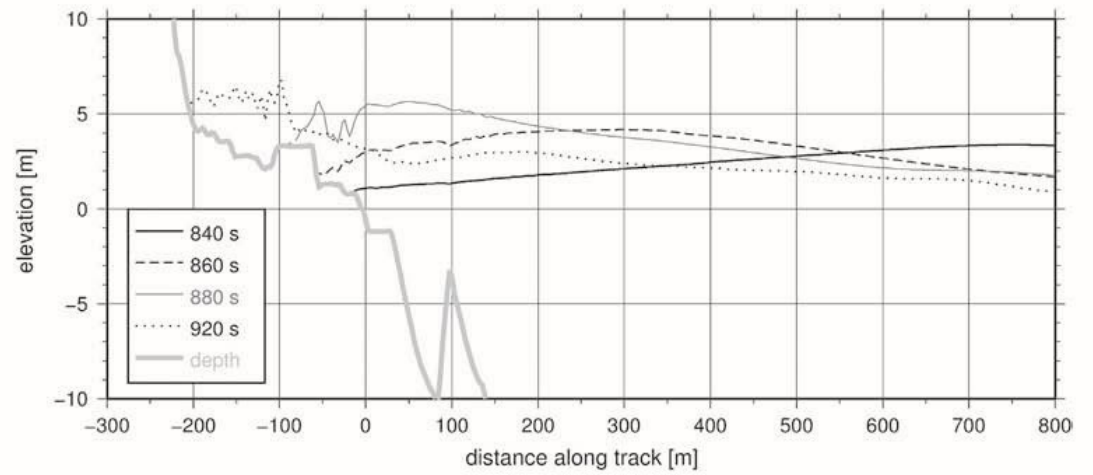
<https://www.youtube.com/watch?v=5-zfCBCq-8I>

Skred i Norge

<https://www.youtube.com/watch?v=w45dbWBsaNI>

<https://www.youtube.com/watch?v=DopB8CtSn3E>

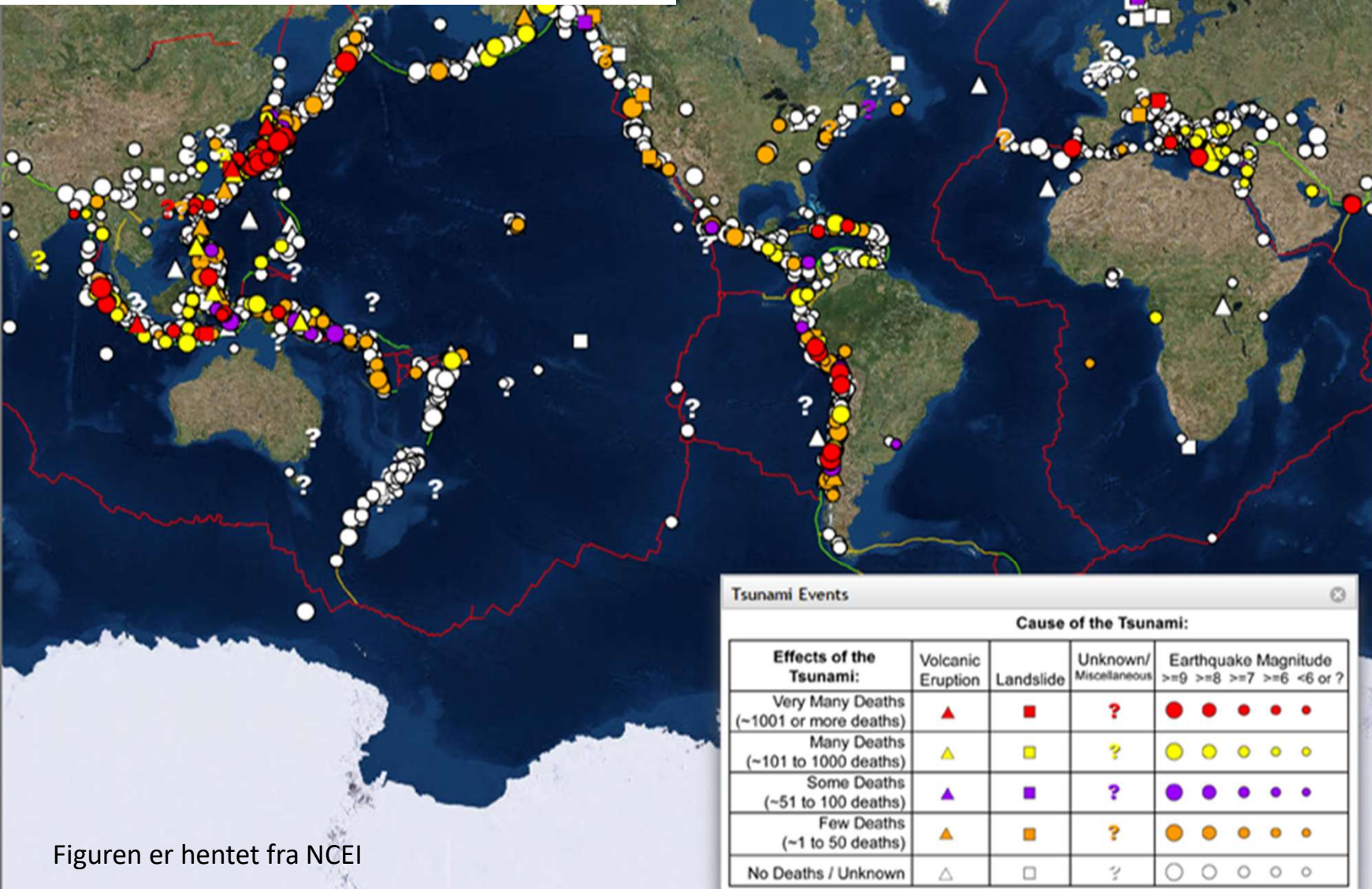
Hvordan ser «bølgen» ut?



Hvordan en tsunami blir generert

- ↗ <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/community-safety/tsunami>
- ↗ <https://youtu.be/ILlyfwDwJVs>

Global oversikt over kilder



Figuren er hentet fra NCEI

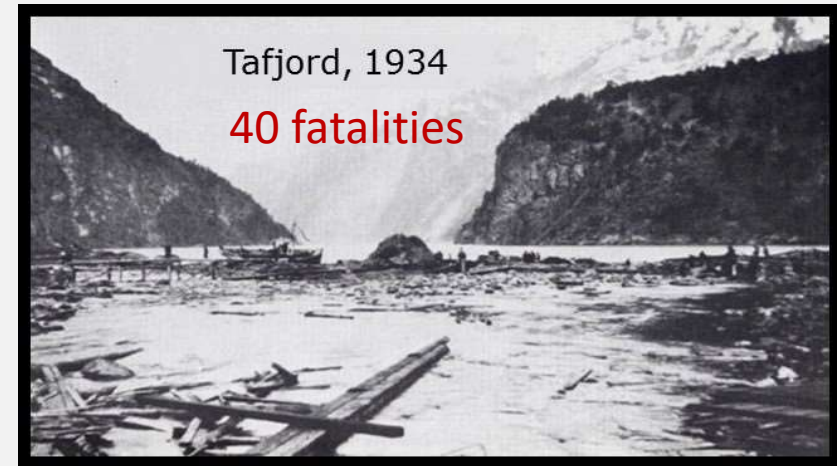
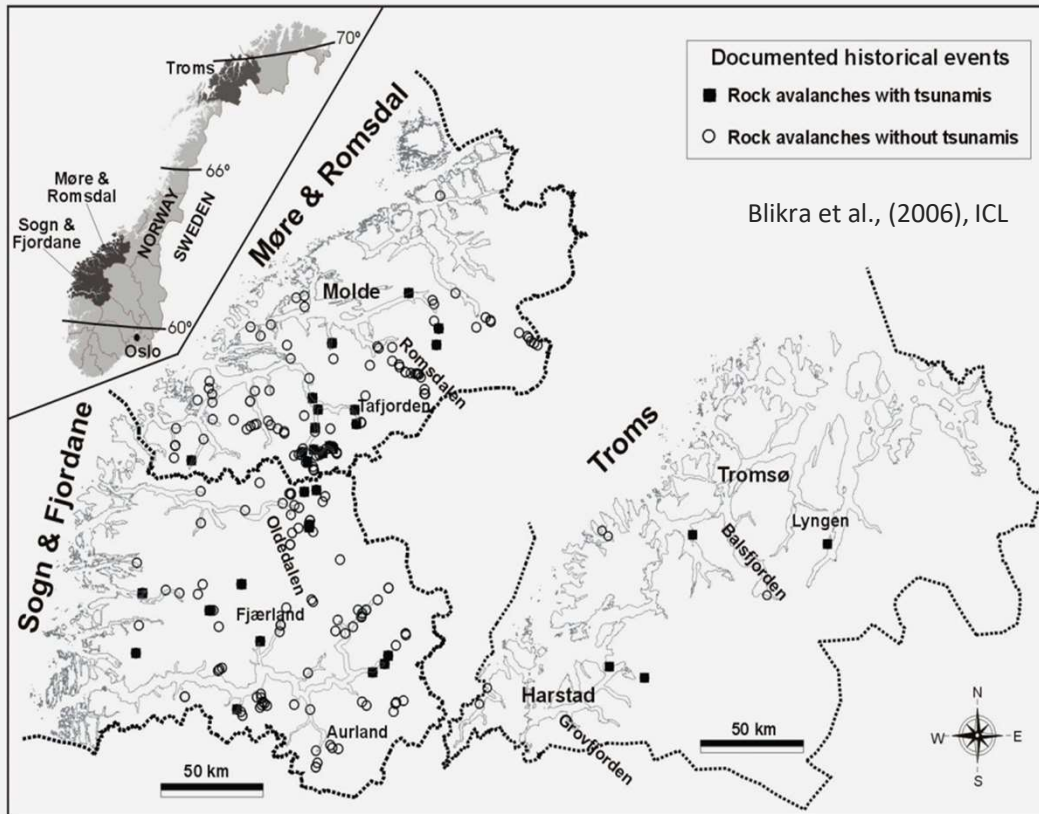
~80 % generert av **jordskjelv**

Hovedsaklig langs plate grensene (subduksjonsoner) mellom **jordskorpeplatene** – Stillehavet, Sørøstasia

Ellers er **skred** og **vulkaner** de nest viktigste kildene

Rockslide tsunamis in Norwegian fjords and lakes

~ 2-3 catastrophic events every century





Tsunami impact: Indian Ocean tsunami 2004

- >230 000 fatalities
- Took communities off guard
- Oceanwide consequences





Tsunami impact: Tohoku tsunami 2011

- >19 000 fatalities
- Huge economic losses – building damage
- Cascading effects
 - Fukushima
 - Economic (beyond borders)

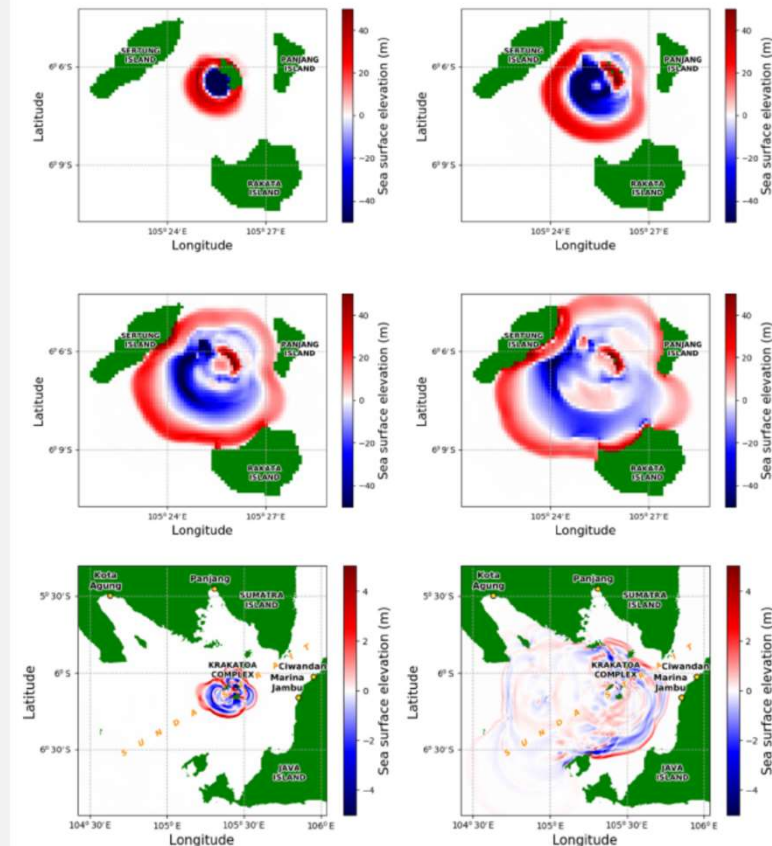


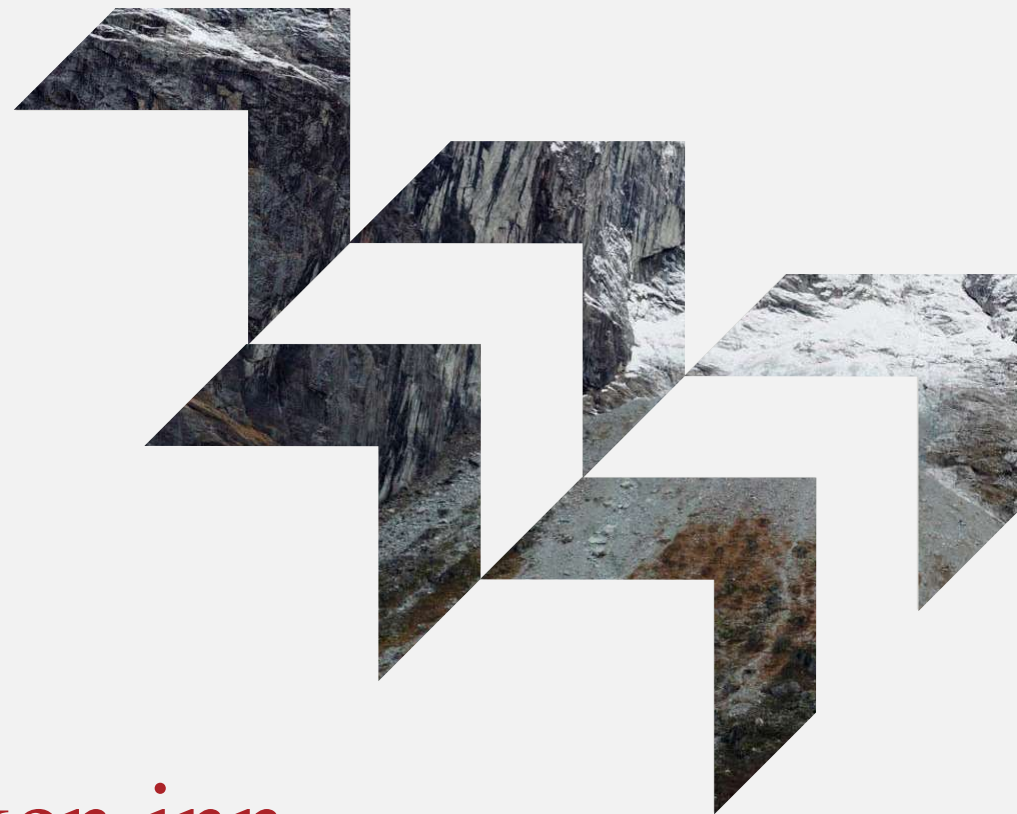
Recent example: 22 December 2018 Anak Krakatau volcano flank collapse and tsunami

- Flank collapse / Landslide tsunami
- Volume $\sim 0.2 \text{ km}^3$
- Tsunami impacting adjacent shorelines after 30 minutes
- > 400 dead or missing



Tsunami propagation –
Zengaffinen et al. (2020), Pure and Applied Geophysics



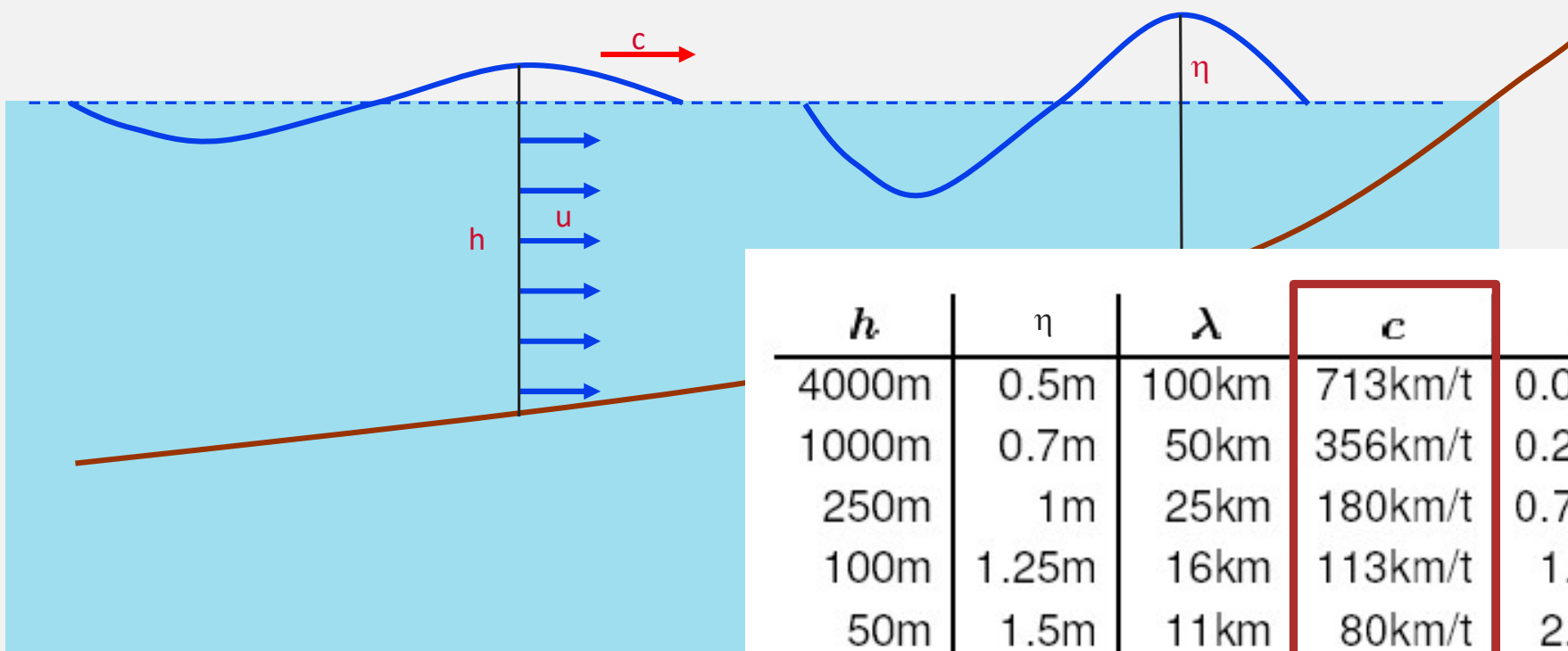


Hvor kommer fysikken inn

Tsunamien er en bølge – utbredelsen beregnes ved hjelp av bølgelikninger

Bølgehastigheten, strømhastigheten, og bølgelengden avhenger av dypet (h)
Riktig matematisk beskrivelse av bølgehastigheten og amplitude er nødvendig

$$c = \lambda f = \lambda * 1/T = \sqrt{(gh)}$$



h	η	λ	c	u
4000m	0.5m	100km	713km/t	0.09km/t
1000m	0.7m	50km	356km/t	0.25km/t
250m	1m	25km	180km/t	0.71km/t
100m	1.25m	16km	113km/t	1.4km/t
50m	1.5m	11km	80km/t	2.4km/t
20m	1.9m	7km	50km/t	4.7km/t
10m	2.2m	5km	36km/t	13.4km/t

Example, typical figures for the 2004 Indian Ocean Tsunami →

Avansert fysikk og matematikk nødvendig for å beskrive flodbølger (og andre geofarar)

- ↗ Flere elementer fra fysikken kobles sammen:
- ↗ Newtons lover (bevegelseslikninger)
- ↗ Volumkonservering
- ↗ Væskeegenskaper (Navier-Stokes)
- ↗ Bølgefysikk (randbetingelser)
- ↗ Materialoppførsel, energi (egenskapene til materialene)
- ↗ Avansert statistikk og sannsynlighetsregning
- ↗ Programmering og scripting
- ↗ Kombinasjoner av alle disse ulike fagområdene

Eksempel på matematisk modell av bølgeutbredelse (basert på bevegelseslikninger, volumkonservering, og randverdi problem)

Krever flerårig studier av enten fysikk, matematikk, eller beregningsorientert ingeniørfag. Må implementeres i computermodeller for å kunne brukes praksis

$$\begin{aligned}\eta_t &= -\nabla_h \cdot [(h + \epsilon\eta)(\mathbf{v} + \mu^2\mathbf{M})] + O(\mu^4), \\ \mathbf{v}_t + \frac{\epsilon}{2}\nabla_h(\mathbf{v}^2) &= -\nabla_h\eta - \mu^2 \left[\frac{1}{2}z_\alpha^2 \nabla_h \nabla_h \cdot \mathbf{v}_t + z_\alpha \nabla_h \nabla_h \cdot (h\mathbf{v}_t) \right] \\ &\quad + \epsilon\mu^2 \nabla_h(D_1 + \epsilon D_2 + \epsilon^2 D_3) + O(\mu^4) + \mathbf{N} + \mathbf{E},\end{aligned}$$

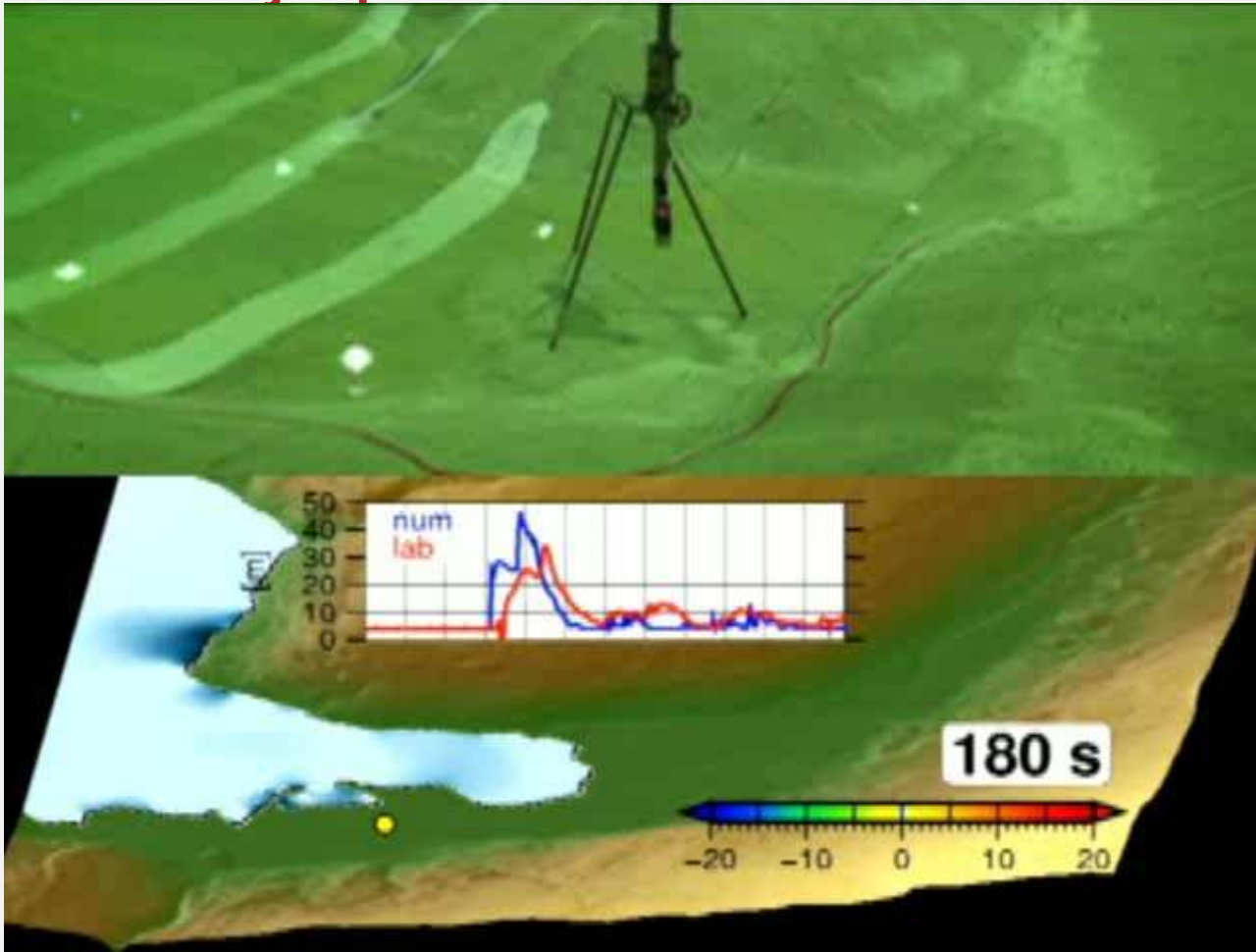
Higher order non-linearities marked with blue.

Unsystematic terms:

E is dissipation term for capturing of breaking waves

N is bottom drag

Modellering av bølgeoppskylling i laboratoriet og ved hjelp av numerisk modell





Hva kan det brukes til?

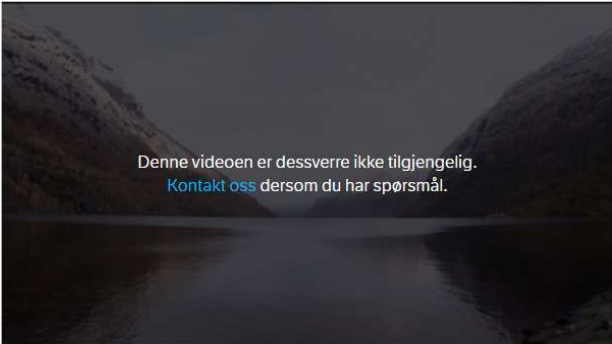
Aktuelle problemstillinger

Mer ▾

13:20:08 NRK Møre og Romsdal Sjå fjernsynssendinga Høyr radiosendinga Tips oss! Koronaviruset i Møre og Romsdal

80 meter høy flodbølge kan komme

Nye beregninger viser at flodbølgen som vil ramme Hellesylt på Sunnmøre hvis hele fjellsiden ved Åkneset raser ut samtidig, kan bli 80 meter høy.



Kilde: NTB
Publisert 25. nov. 2009 kl. 15:36
Oppdatert 29. mars 2011 kl. 10:50

Artikkelen er flere år gammel

Denne videoen er dessverre ikke tilgjengelig.
[Kontakt oss](#) dersom du har spørsmål.

Les også:

- > - [Må ha rasvarsling raskt](#)
- > [Kommunene er beredt](#)
- > [Krisekommunikasjonen må bli bedre](#)
- > - [Viktig for Åkneset](#)

Vesentlig større

Dette er en vesentlig større tsunami enn tidligere regnet med i et verstetilfelle.

NAALAKKERSUISUT
GOVERNMENT OF GREENLAND


JOB INATSISARTUT KONTAKT PRESSE

Naalakkersuisut Publikationer Lovgivning Høringer Kundgørelser

Naalakkersuisut / Naalakkersuisut / Nyheder / 2021 / Maj / Nye beregninger vedr. tsunamisikio i Karrat Fjorden

Nye beregninger vedr. tsunamisikio i Karrat Fjorden

11.05.2021



Der er tirsdag den 11. maj 2021 blevet afholdt informationsmøder i Qaarsut og Niaqornat om de nye detaljerede beregninger vedr. tsunamisikio i Karrat Fjorden.

Beregningerne viser, at et fjeldskred fra Karrat 3 vil medføre ekstreme og farlige opskylishøjder for flere bosteder, men i særdeleshed for Qaarsut og Niaqornat.

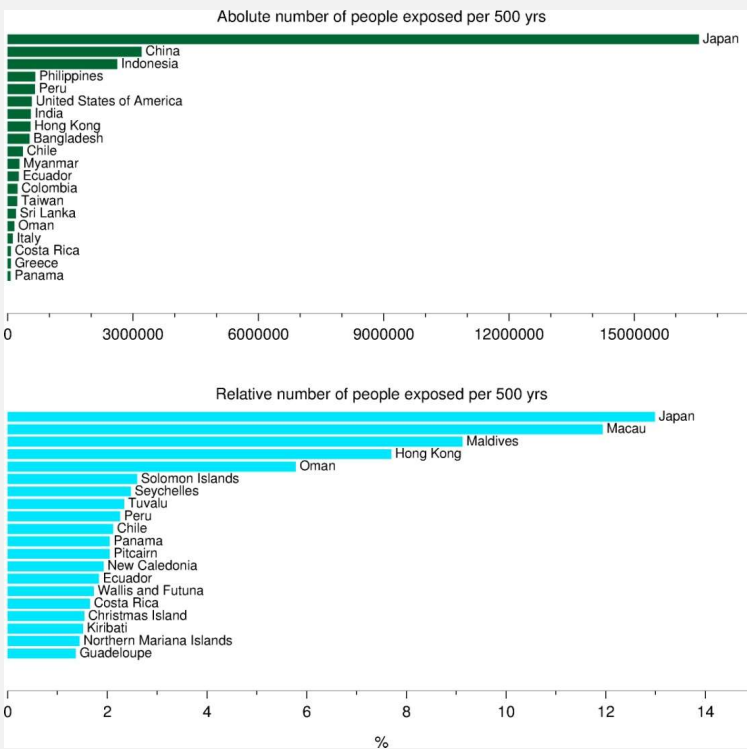
Det vil være borgerne selv, der afgør, om de ønsker at blive boende i opskylszonerne på et oplyst grundlag, eller om de ønsker at flytte væk.

Formand for Naalakkersuisut, Múte Bourup Egede, udtaler følgende:

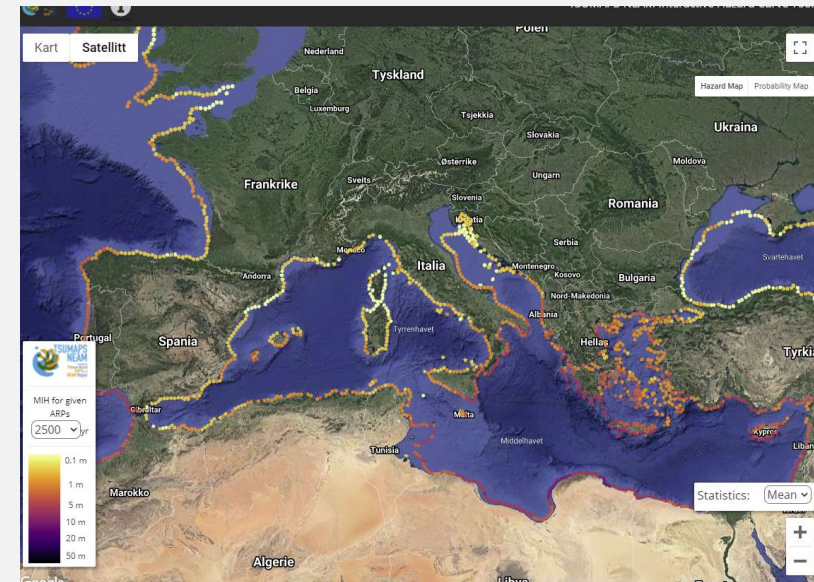
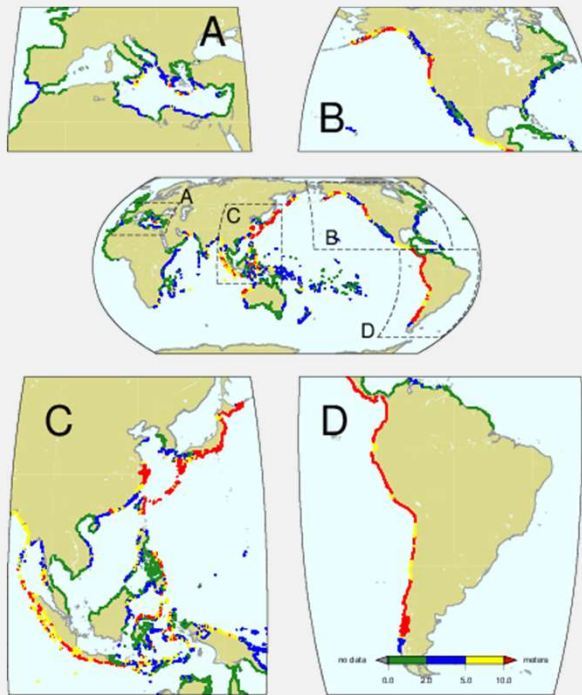
Januar
Februar

Fare og risikokart regionalt

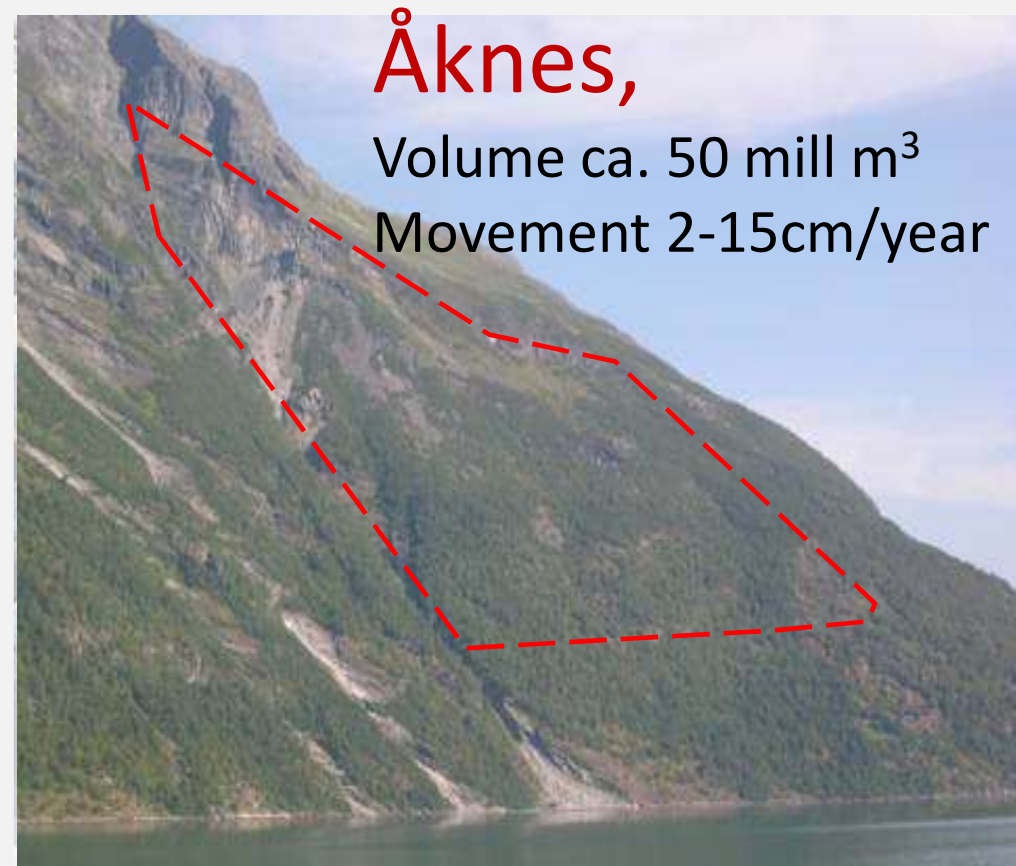
Antall berørte



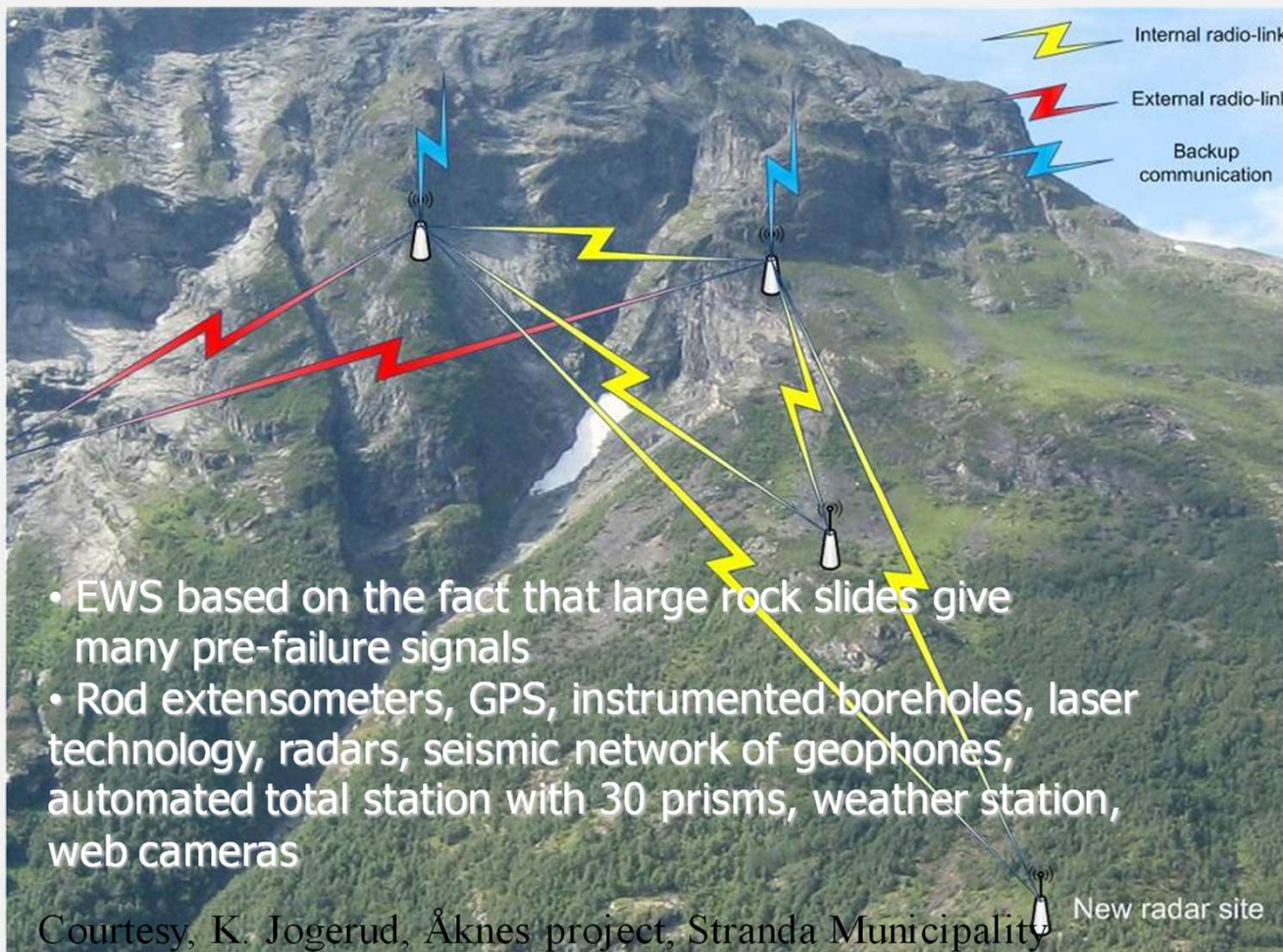
Hvor høy bølgen blir og hvor sannsynlig?



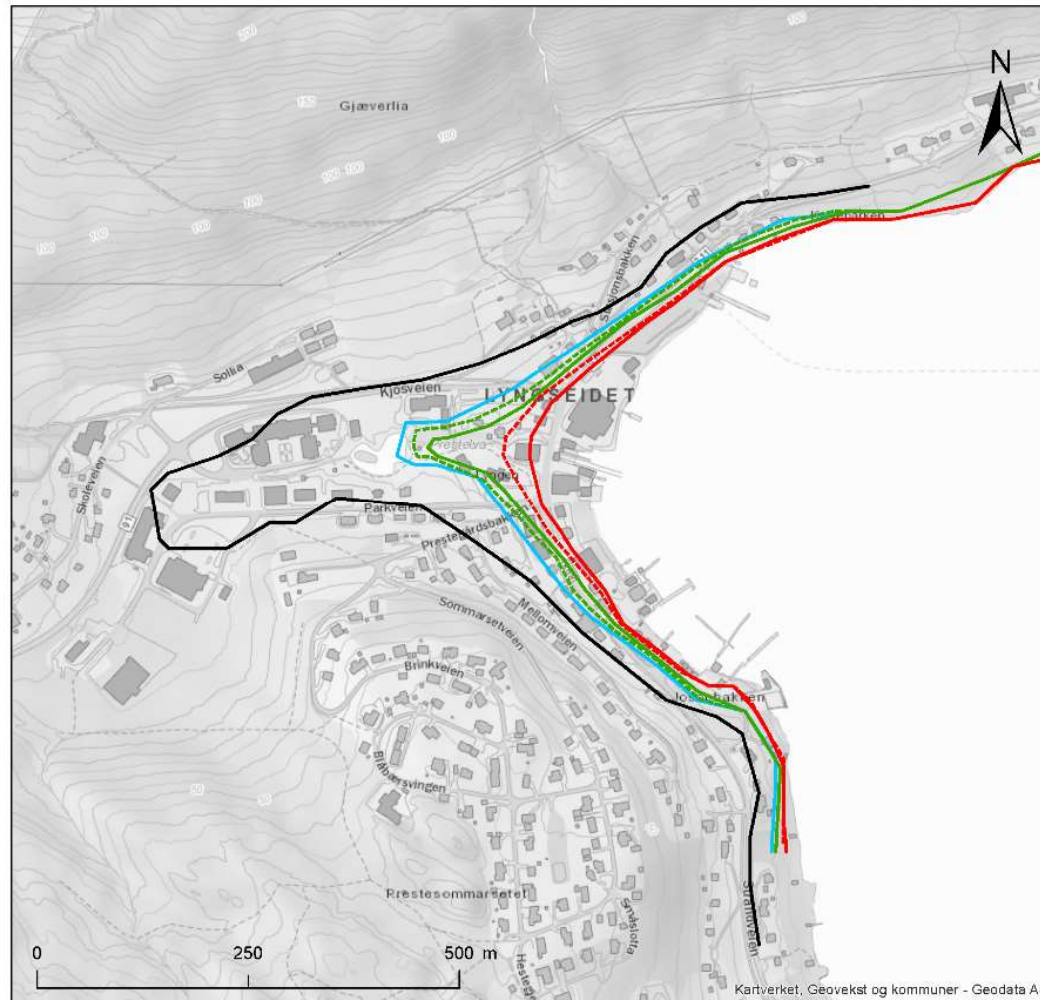
Continuously monitored slopes, NVE 2020



Varslingsystem (NVE)



Lokale farekart i norske fjorder

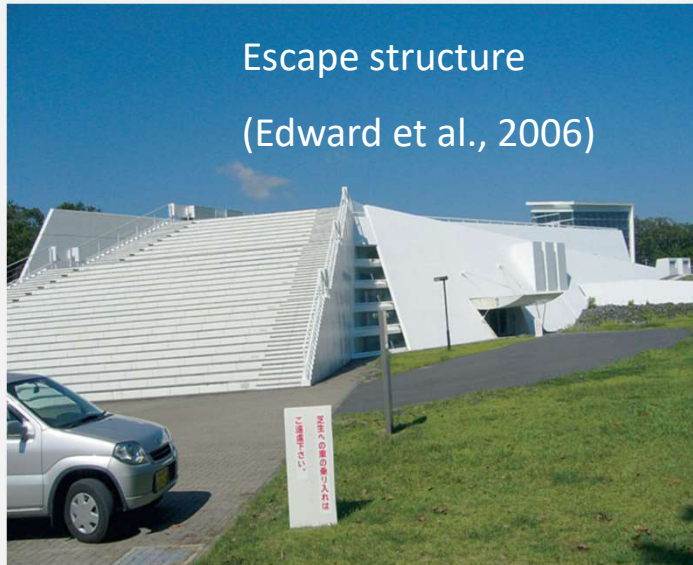


- A
- - - B
- C
- - - D
- E
- F

Målestokk (A4): 1:6 000 Datum: EUREF89, Kartprosjekt: UTM 33

Lyngseidet		
Oppskylling	Prosjektnr.	Kart nr.
	20170309	01
Grenselinjer alle skredlokaliteter	Utøst	Dato
	HCS	2018-05-14
	Kontrollert	Godkjent
	SGI	FLO

Design av tiltak



Escape structure
(Edward et al., 2006)



Storm and tsunami
mitigating forest, Japan
(Edward et al., 2006)





#påsikkergrunn

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO