Hvordan beregne utløsningssannsynlighet og bruddhøyder?

Pågående arbeid i AARN

Kjersti Gisnås og Peter Gauer

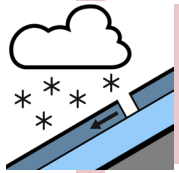
Skredfare H:

$$H = P_R \times P_S$$

P_R = skredsannsynligheten / frekvens per år

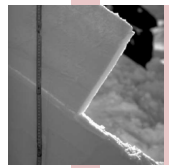
P_s = sannsynlighet for at skredet også når et bestemt punkt.

Sannsynlighet og volum for sjeldne skred – hvordan bestemmer vi det??

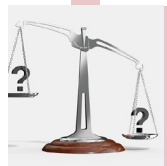


Dagens praksis: 3d nysnøtilvekst

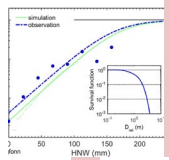
Hvorfor vannekvivalent?



Bruddhøyde beregnet i NAKSIN



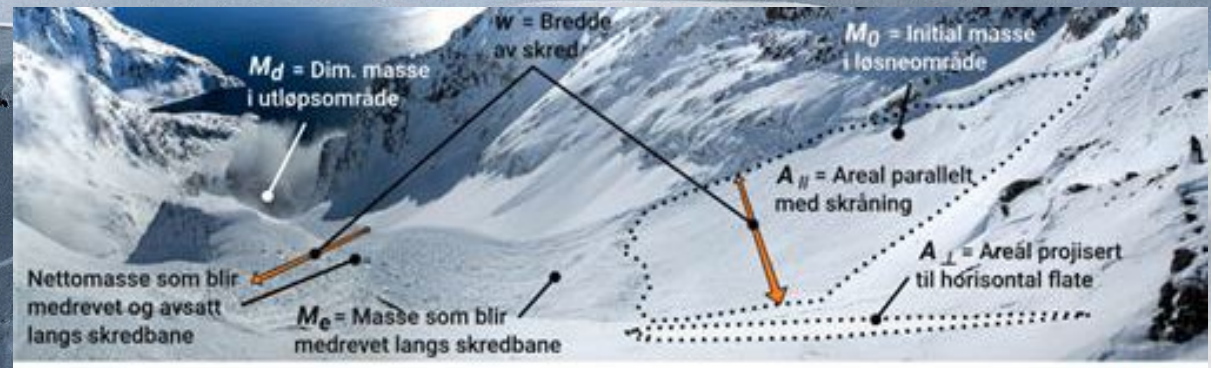
3d nysnø eller AvaRelPro?

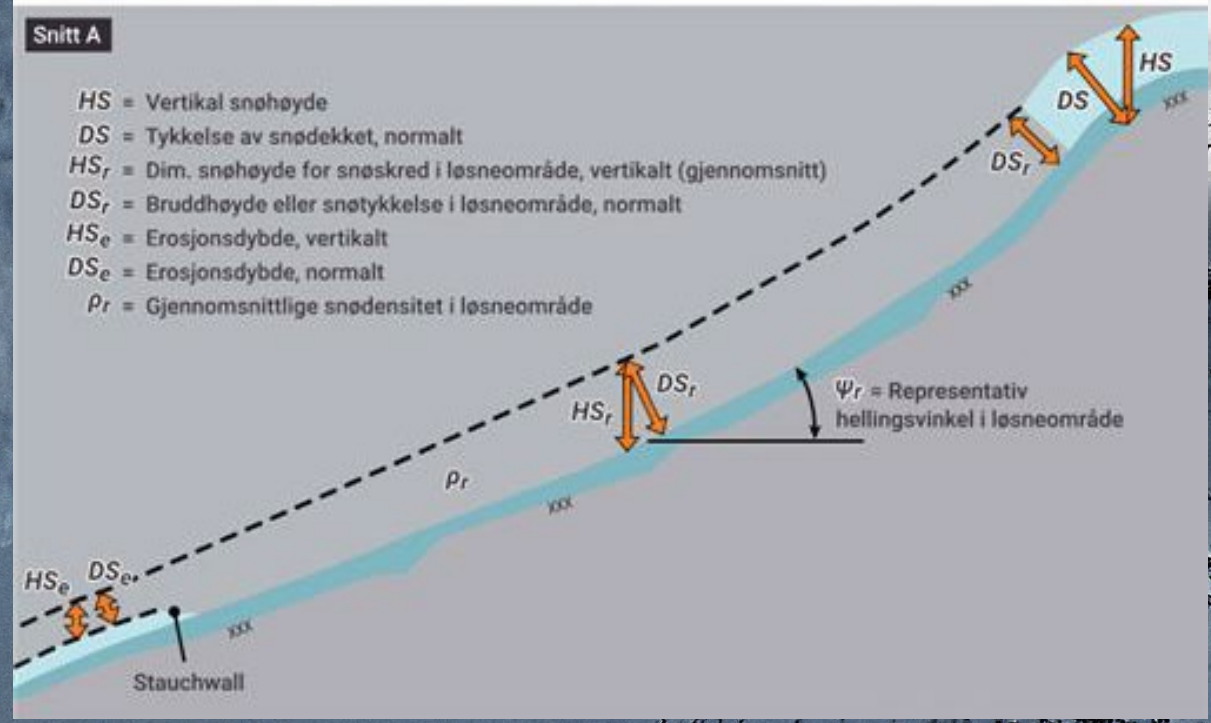


AvaRelPro – veien videre

Dagens framgangsmåte for bruddhøyde

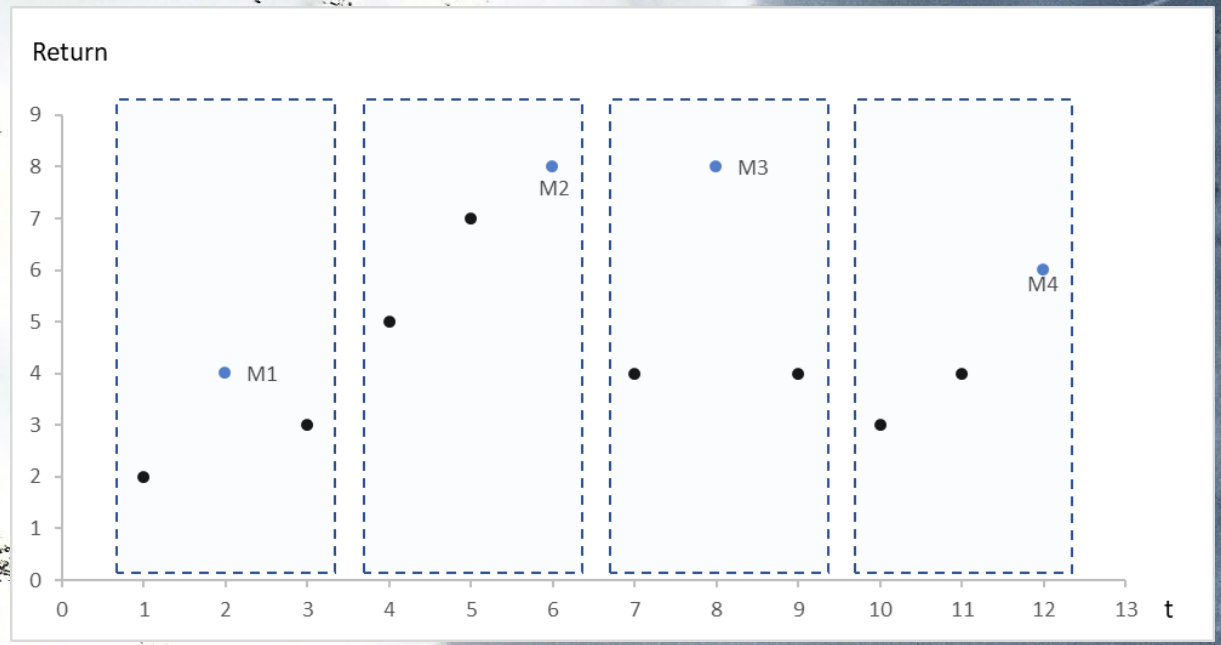
- 3-døgns nysnøtilvekst
- Snødrift / vind
- Justere for helning → d_0



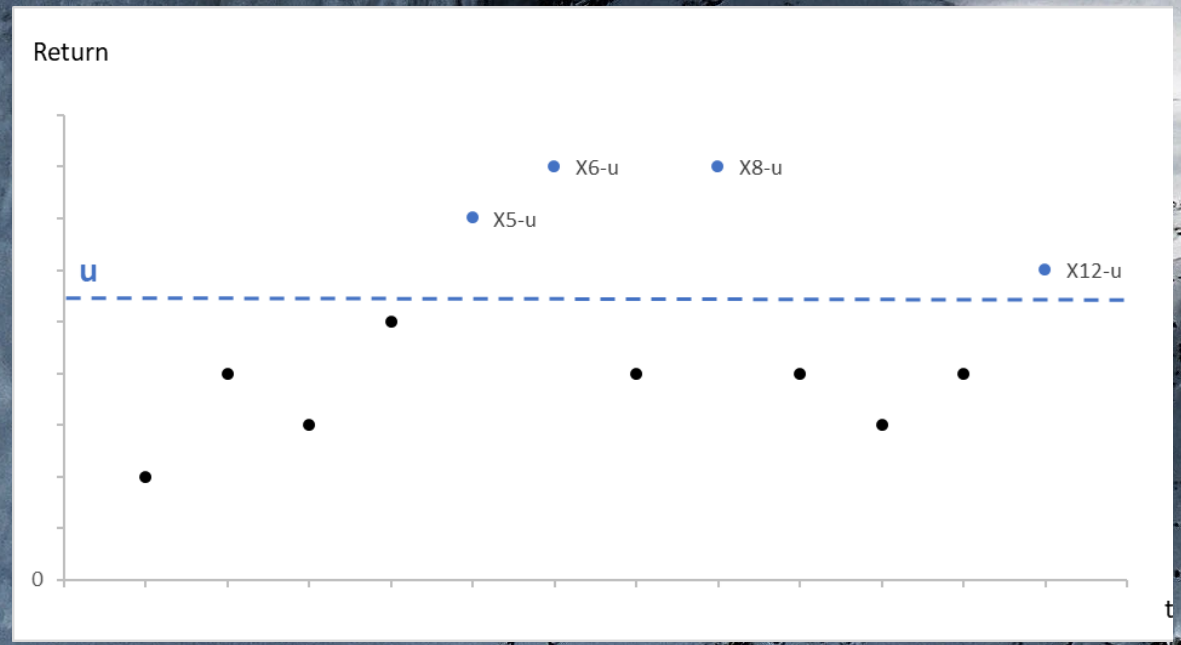


Ekstremverdifordeling for 3d nysnø på 65 år med data

Block maxima (BM)



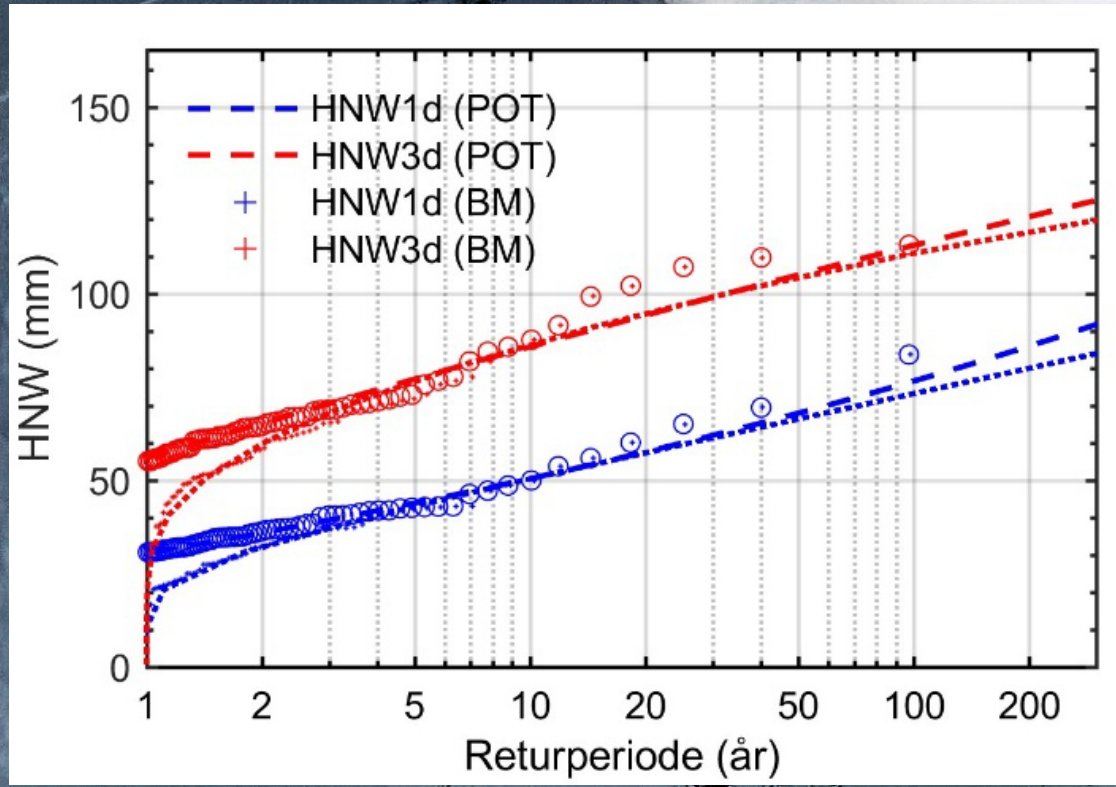
Peak-over-threshold (POT)



Ekstremverdifordeling for 3-d nysnø på 65 år med data

POT = Peak-over-threshold tilpasset med generalized pareto distribution

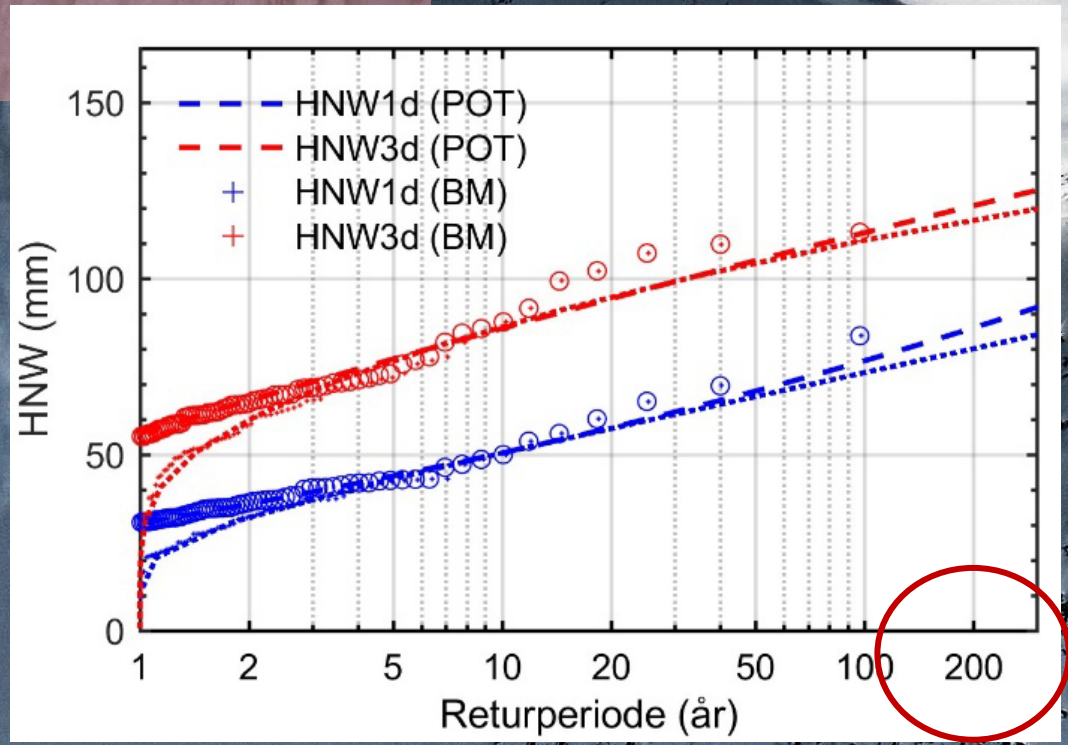
BM = Block maxima tilpasset med generalized extreme value distribution (f.eks. Gumbel)



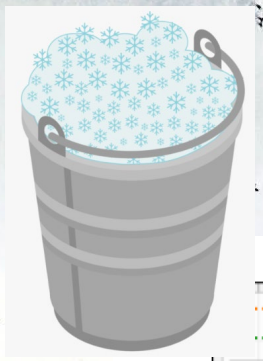
Ekstremverdifordeling for 3d nysnø på 65 år med data

- 3 x lengde tidsserie = 195 år
- 200-års returverdier
- 1000-års hendelse er sammensatt av flere forhold!!

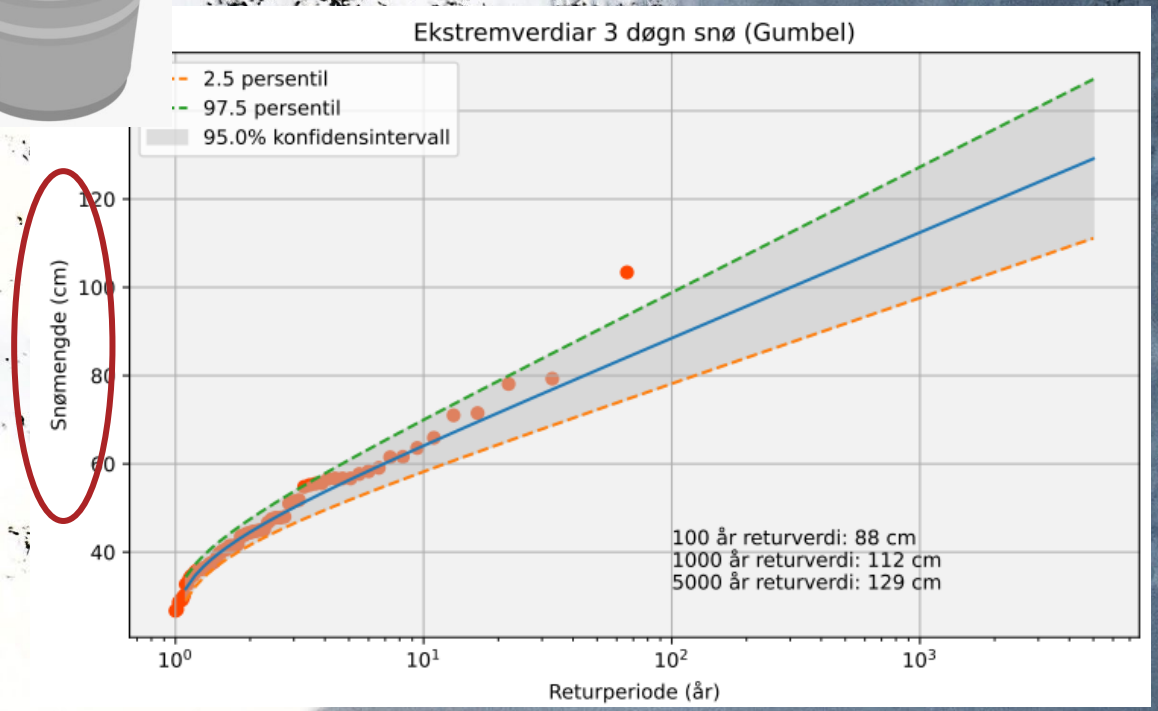
- Bruddhøyde
- Størrelse på utløsningsområde
- Friksjonsverdier
- Erosjonspotensiale
- Temperatur i snøpakken

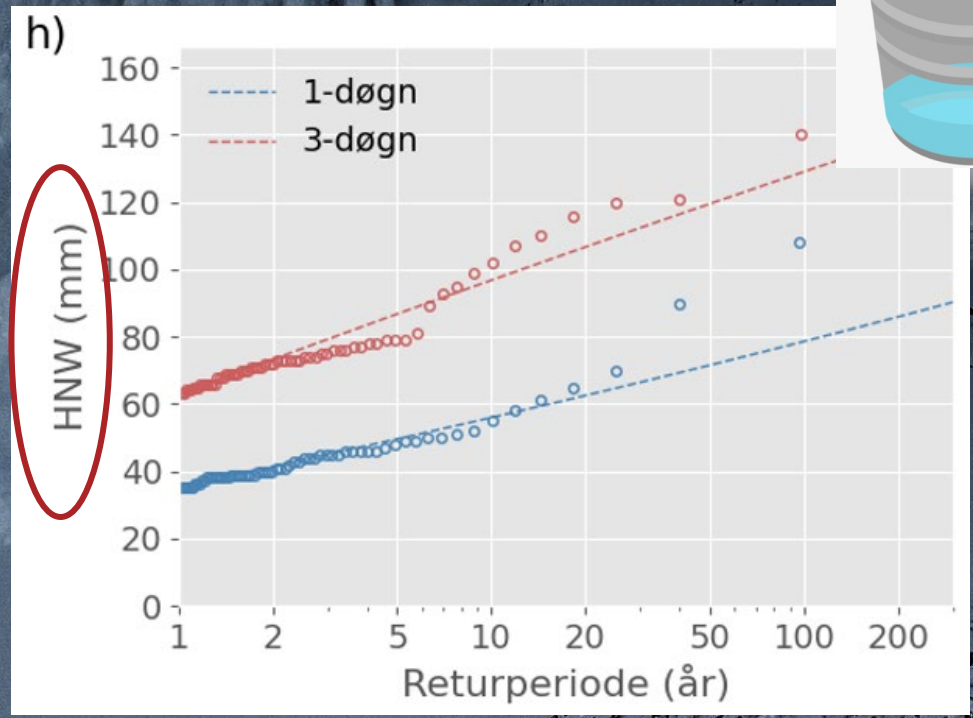


Del 2: Hvorfor nysnøtilvekst i vannekvivalent?



88 cm (~150 kg/m3) ⇔ 130 mm



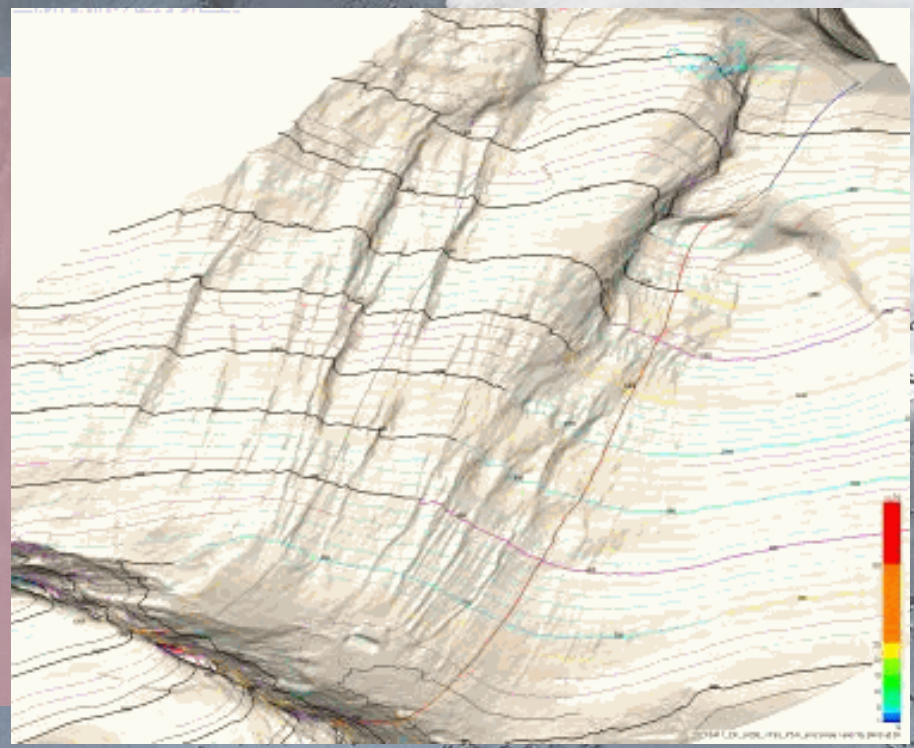


Del 2: Hvorfor snøvannekvivalent og ikke snøhøyde?

Vi vil være massekonsistent!

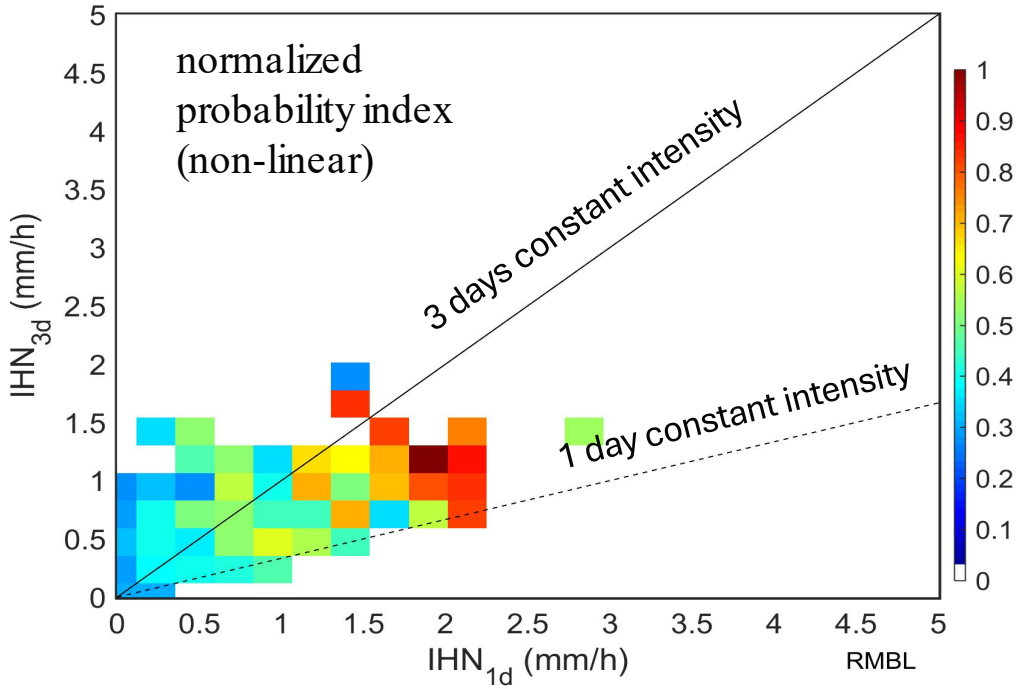
→Tetthet i modellkjøring = tetthet i løsnevolum

Direkte fra HNW til masse i løsneområdet

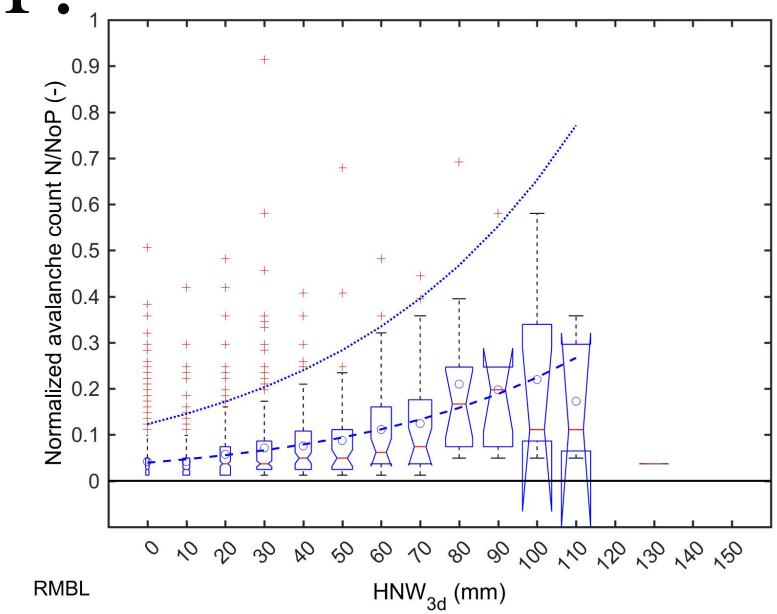


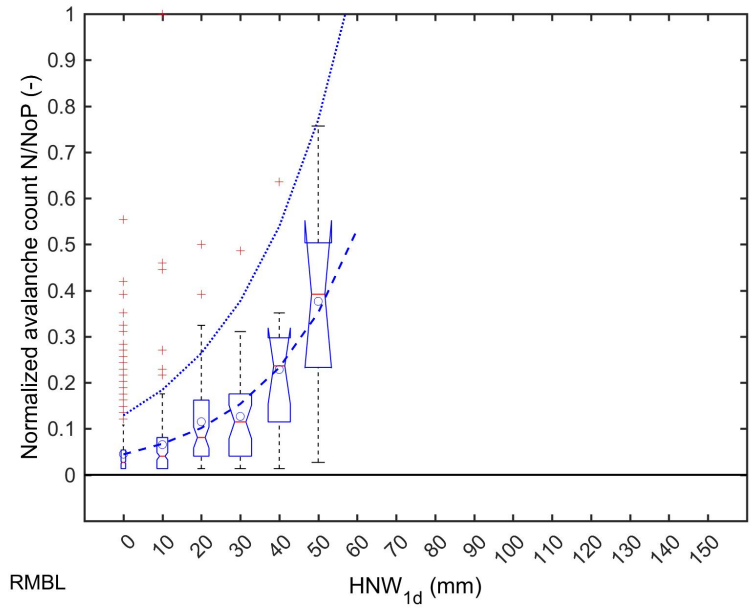
Men er 3-døgns nedbør alltid trigger?

Sannsynlighet for å få et snøskred



Data: Rocky Mountain Biological Laboratory (RMBL), Gothic, Colorado (an area of approx. 60 km², 81 paths) during a period 37 years.

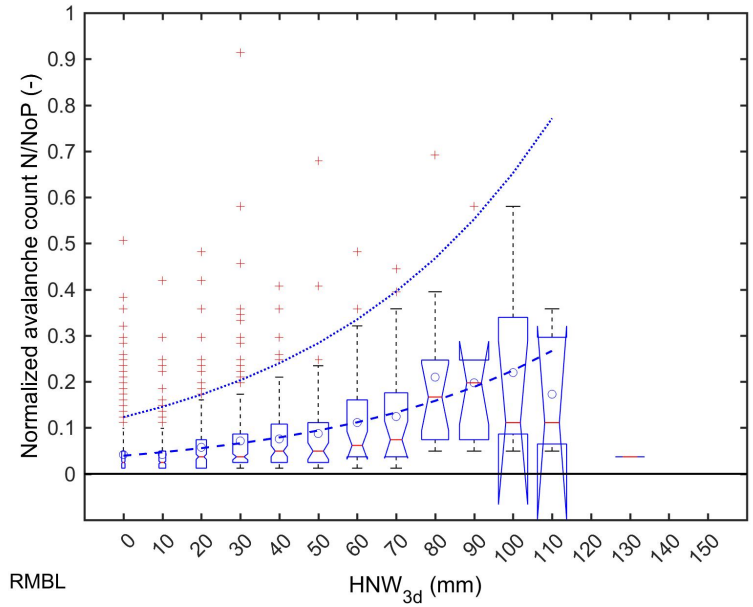


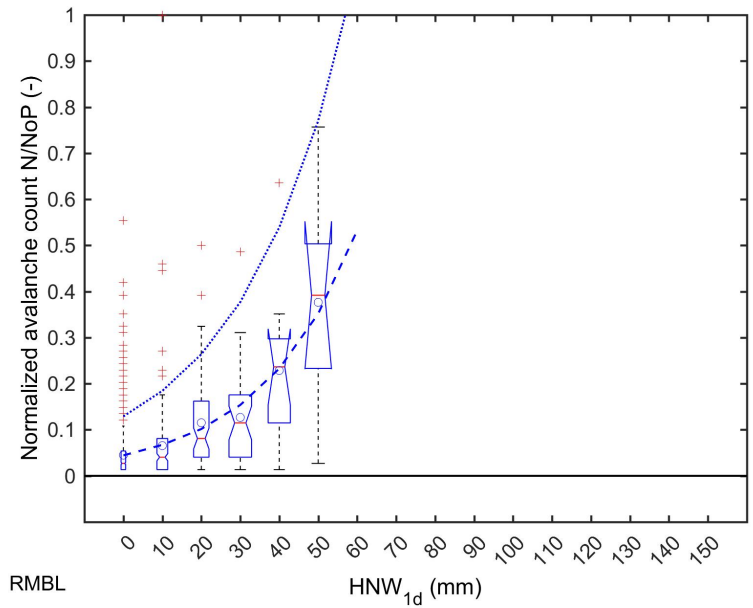


Og gir 3-døgns nedbør representative bruddhøyde?

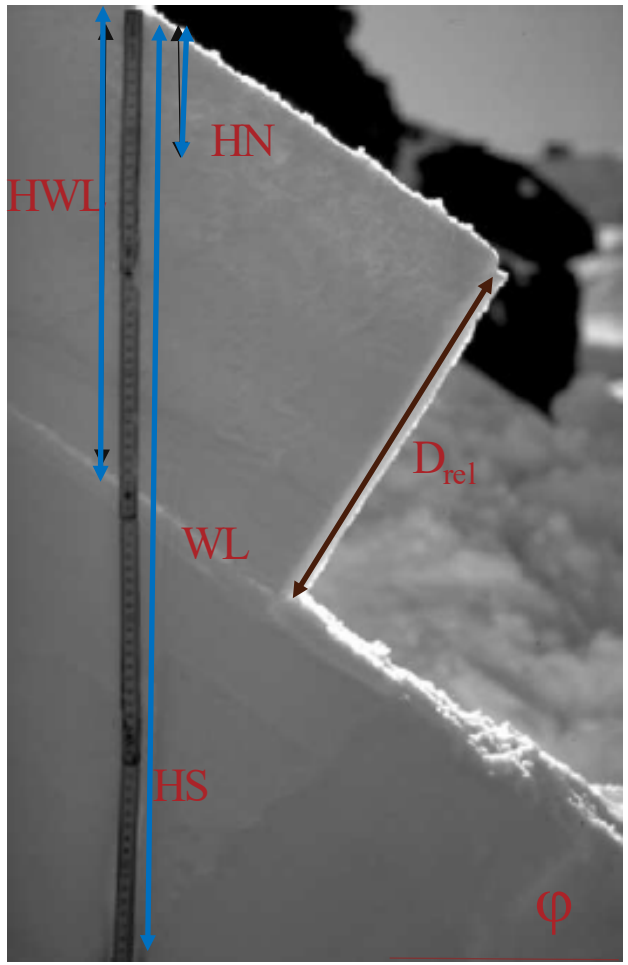
		Median avalanche size					Largest avalanche size				
	$S \geq s$	HN1d	HN3d	z_{crit}	z_{deep}	z_{pp}	HN1d	HN3d	z_{crit}	z_{deep}	z_{pp}
BS	$S \geq 3$	**0.21**	0.28	0.32	0.37	0.28	0.39	0.27	0.24	**0.21**	0.25
	$S \geq 4$	**0.05**	0.06	0.07	0.09	0.05	0.23	0.21	0.19	**0.19**	0.19

Mayer et al. 2023: Prediction of natural dry-snow avalanche activity using physics-based snowpack simulations

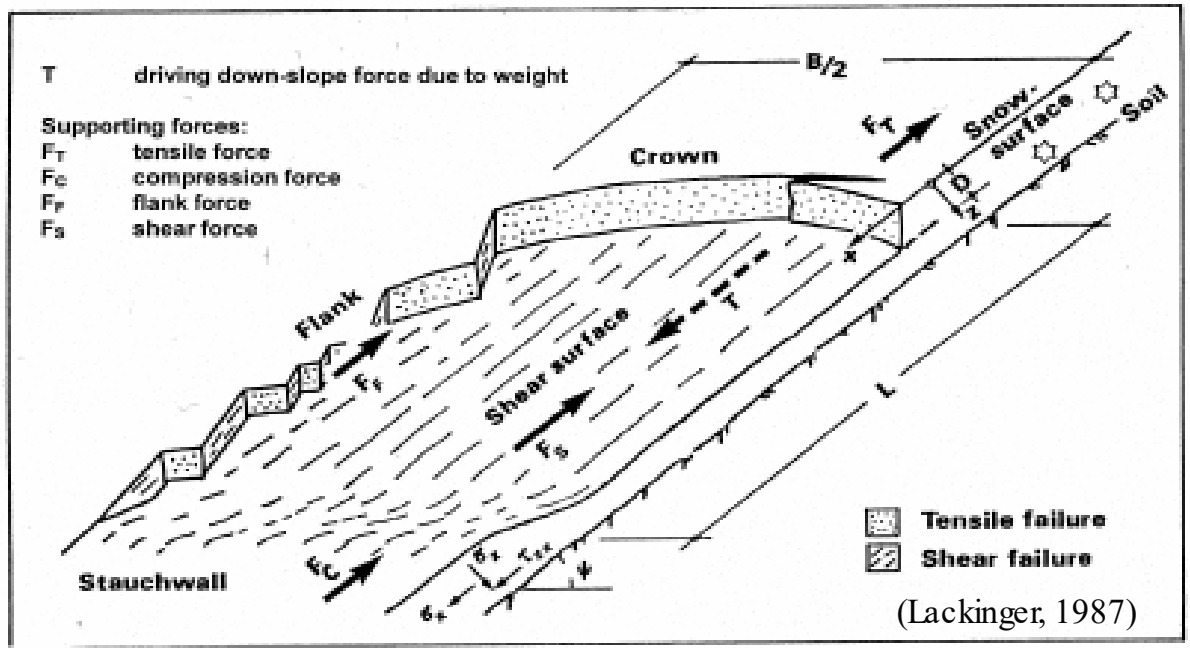




Del 3: Bruddhøyde beregnet som i NAKSIN (AvaRelPro Ver. 0.9)



(Photo J. Schweizer)



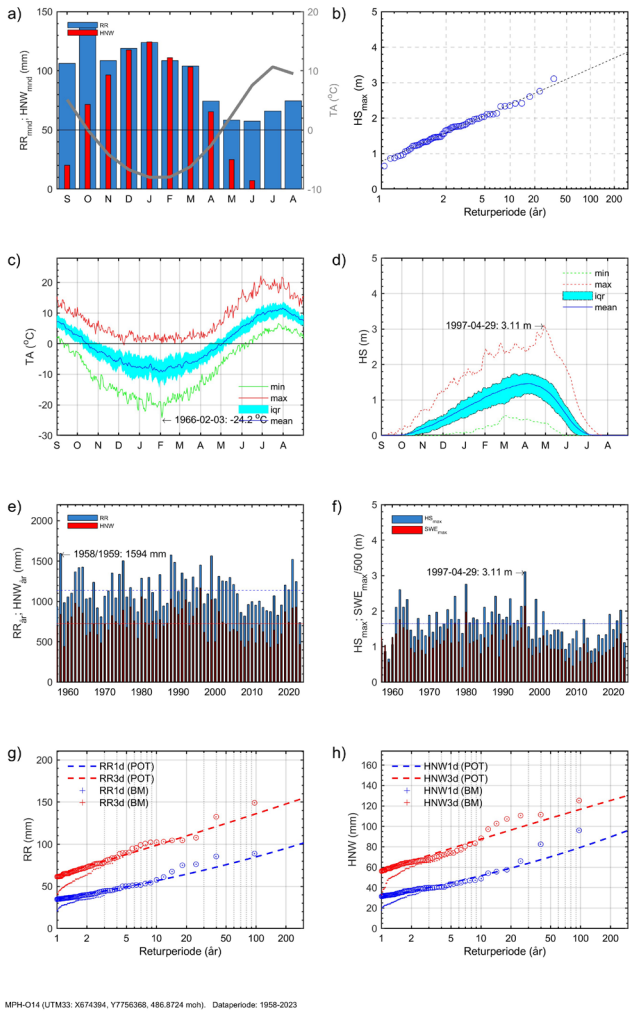
(Lackinger, 1987)

- **Grenseverdifunksjon**

  $G = \text{Resistance} - \text{Load}$

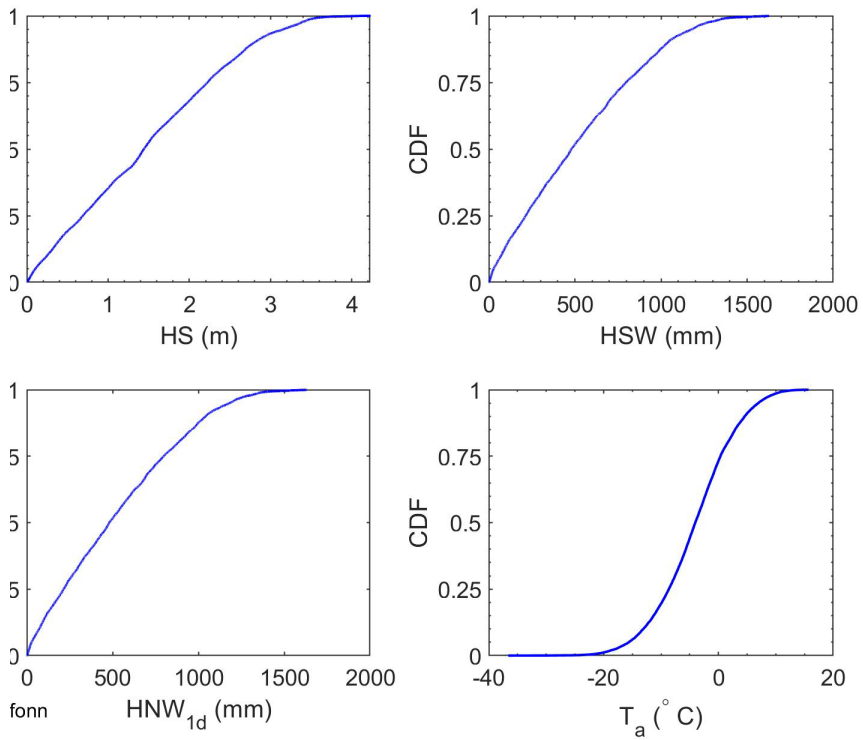
< 0 → brudd

Bruddhøyde basert på flere klimavariabler



Snøhøyde (HS)

Snøvannekvivalent (SWE)

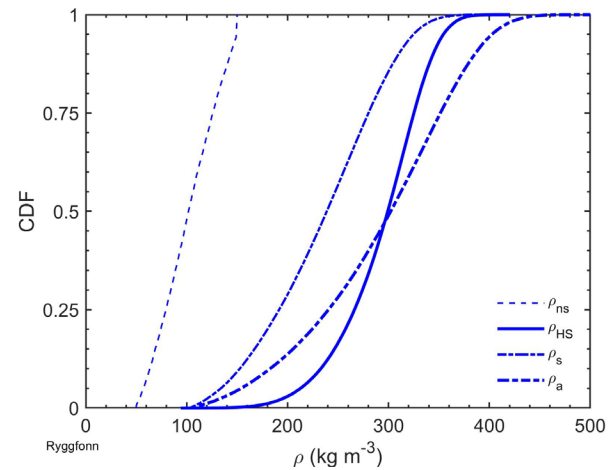


Nysnøtilvekst (HNW/FSW)

Nedbør (RR)

Temperatur (TA)

Beregnet tetthetsfordeling



Løsnesannsynlighet basert på et stabilitetskriterie

- 2.5 mill syntetiske «dager»
- Teste stabiliteten hver «dag»:

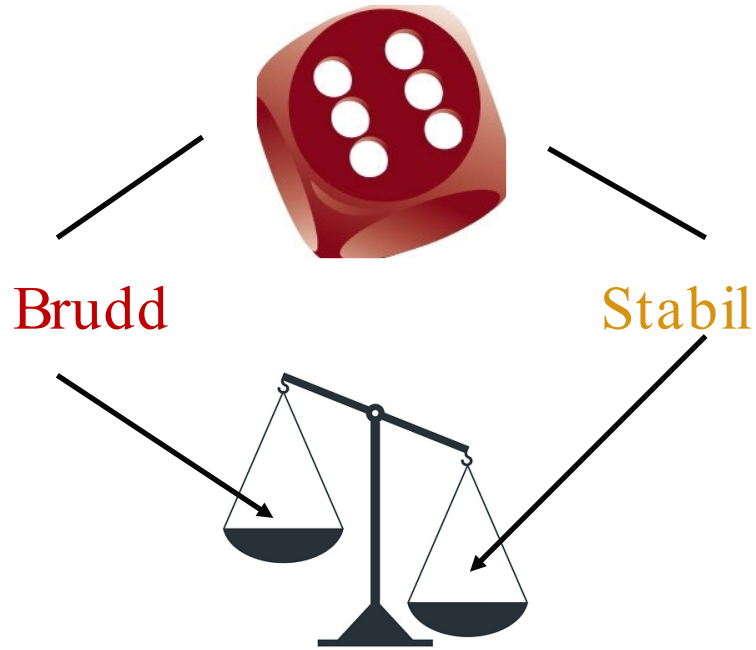
$$G_{nd} = -1 + \left(\underbrace{\frac{C}{g\rho HS\cos\varphi\sin\varphi}}_{O\approx 0.1-1} + \underbrace{\mu_s \cot\varphi}_{O\approx 0.3-1} \right)$$

G < 0 indikerer brudd

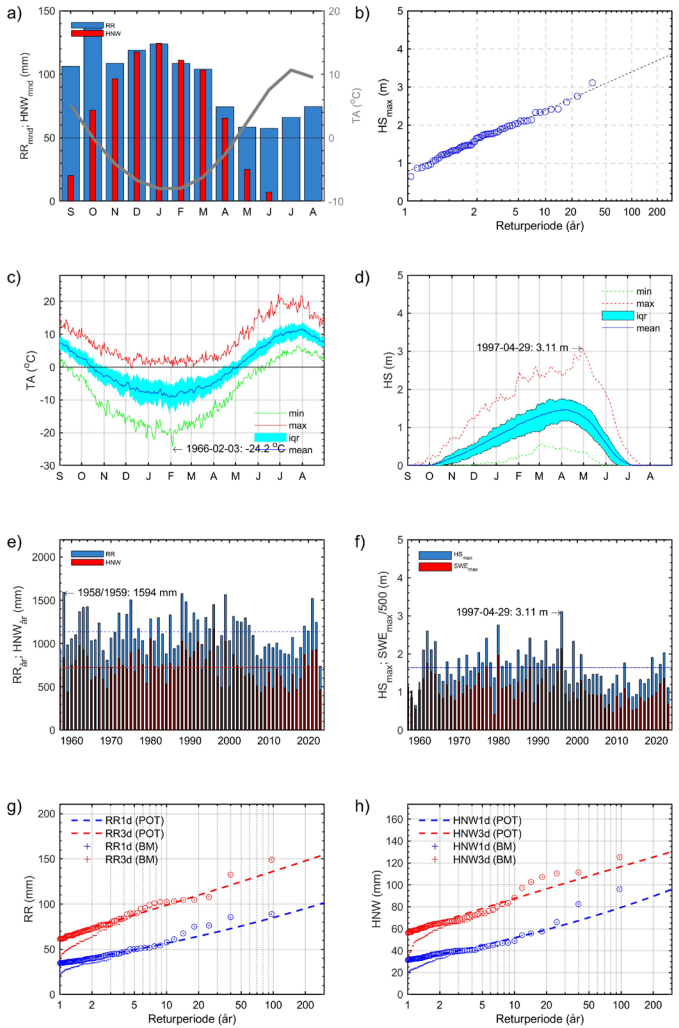
Stabilitet av snødekket

- Telle antall dager som gir brudd

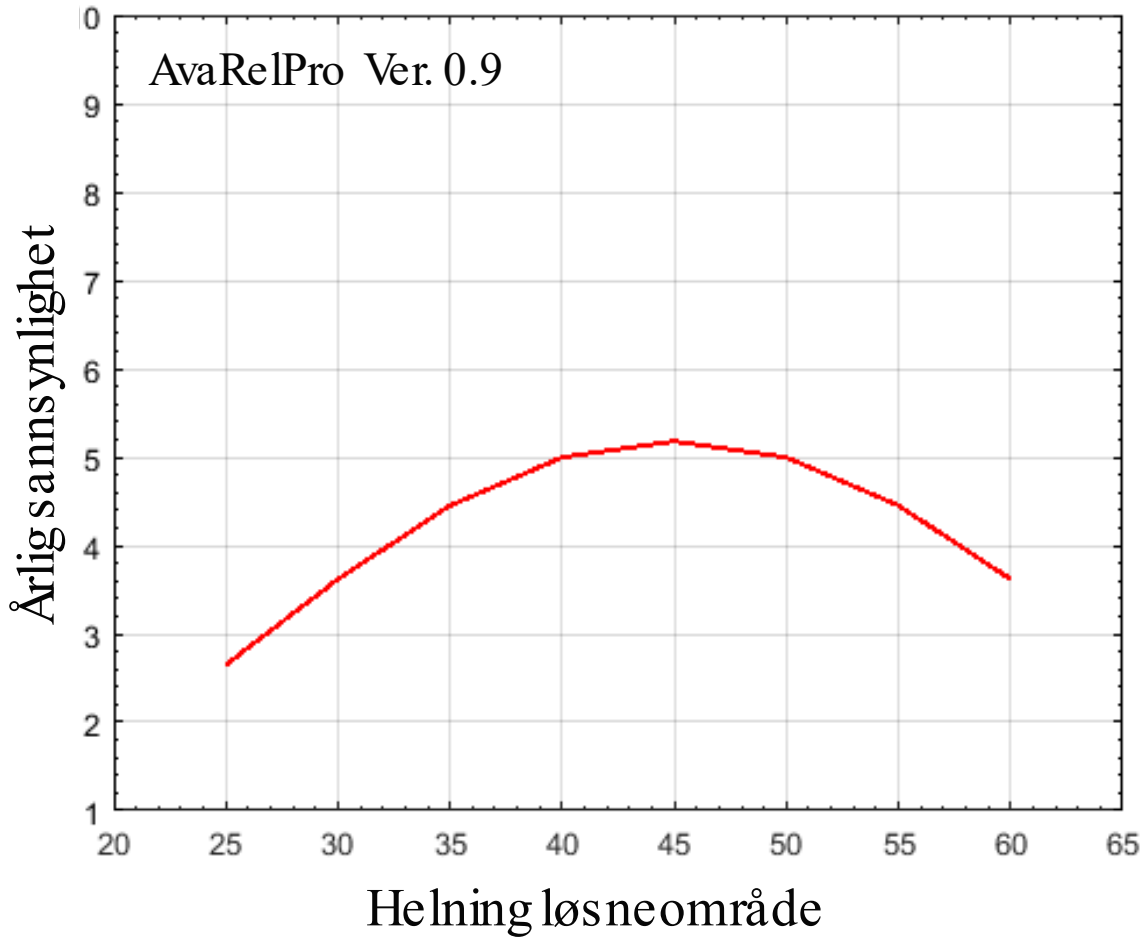
→ årlig utløsningssannsynlighet



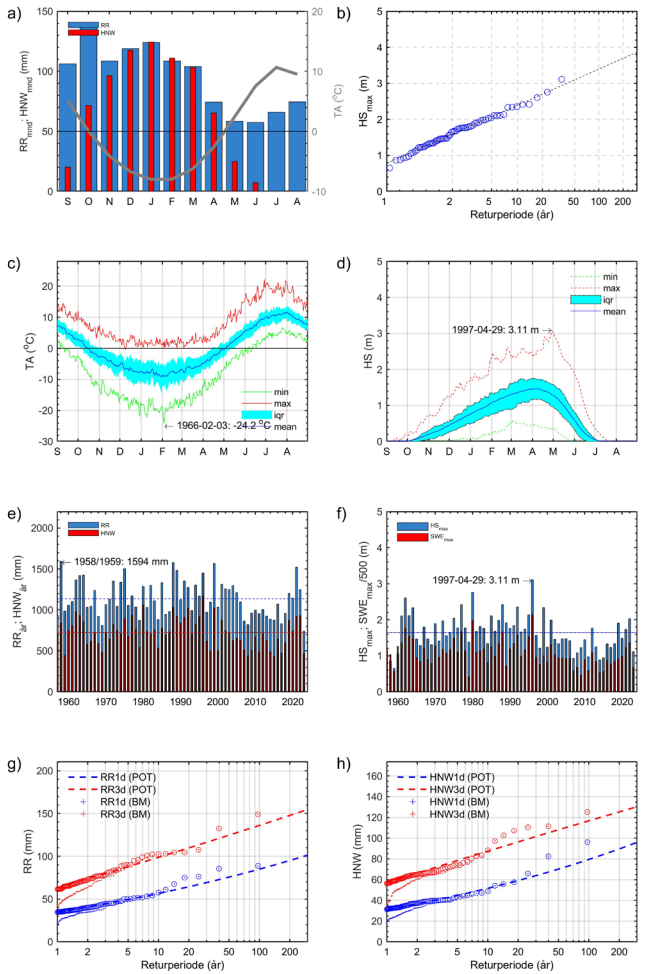
Mål 1: en kvantitativ metodikk for årlig sannsynlighet:

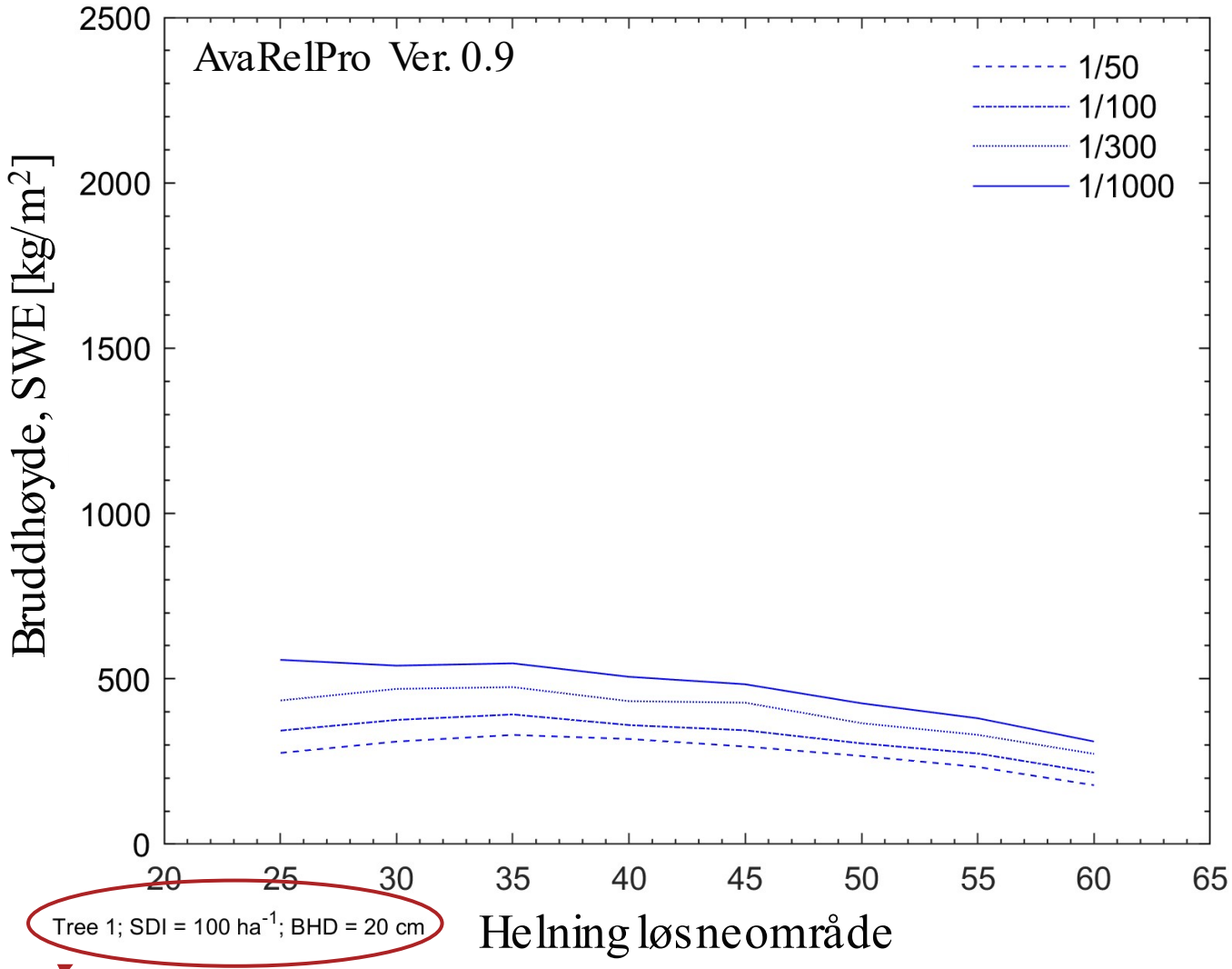


MPH-O14 (UTM33: X674394, Y7756368, 486.8724 moh). Dataperiode: 1958-2023



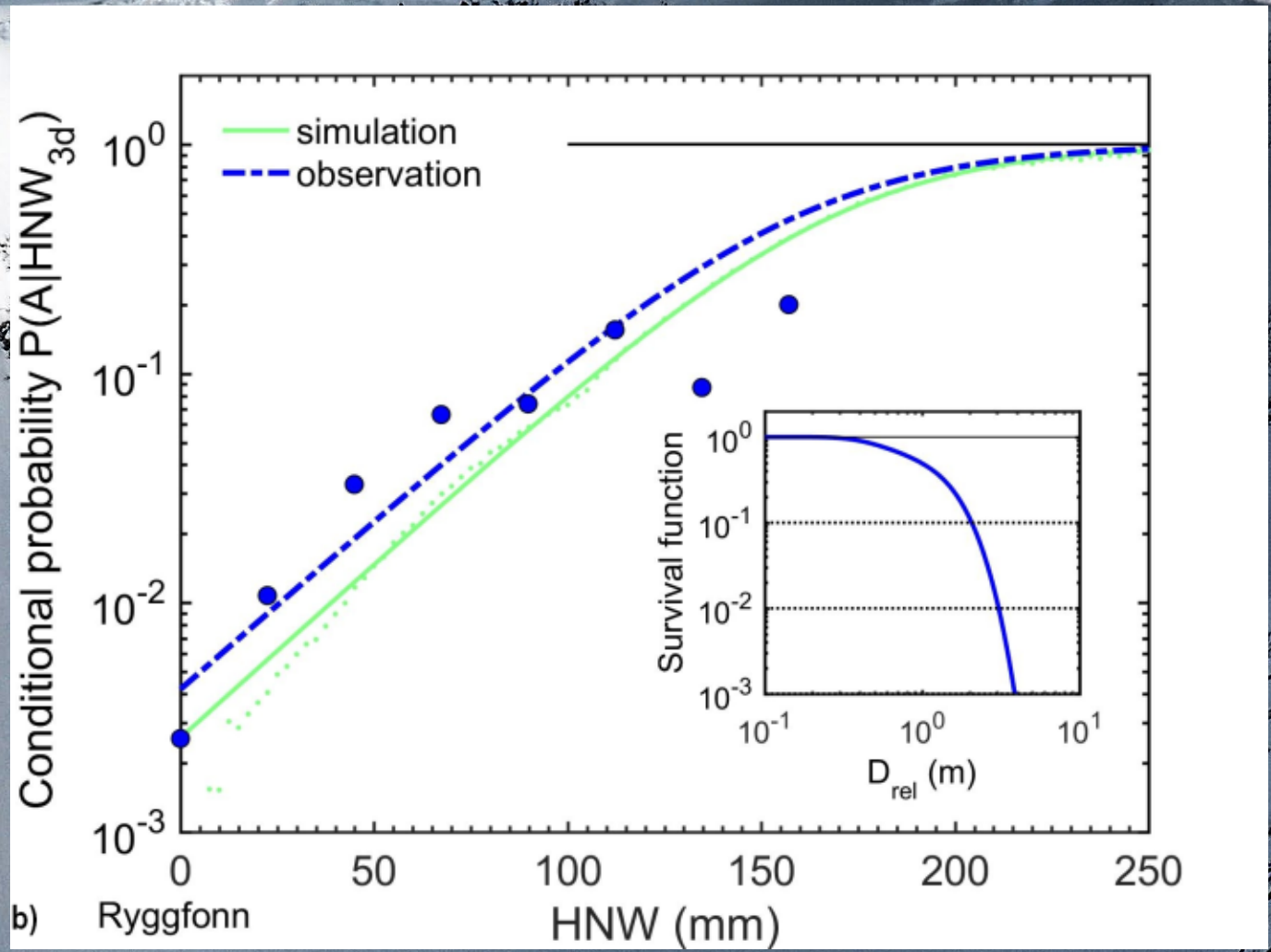
Mål 2: en kvantitativ metodikk for bruddhøydeberegning:



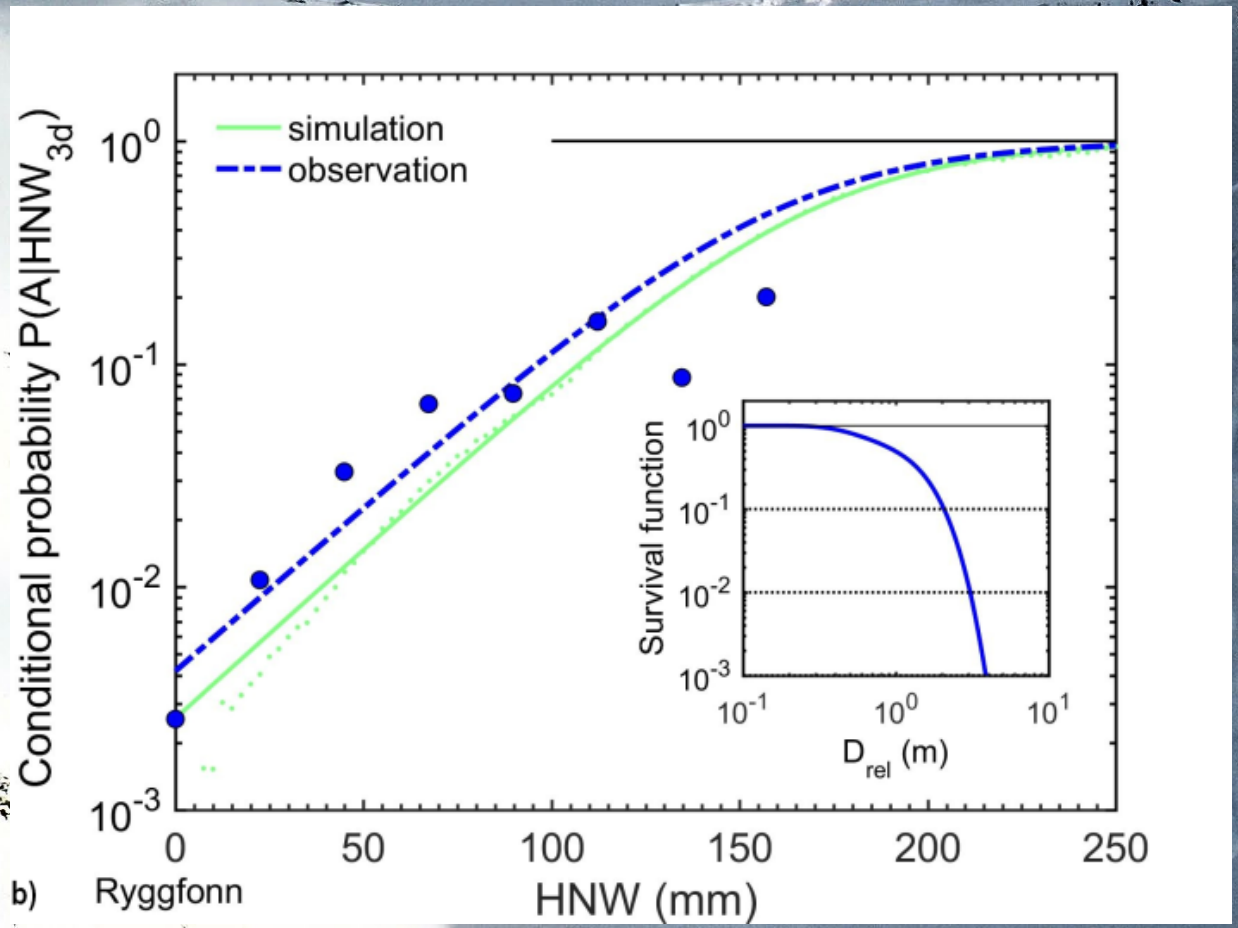


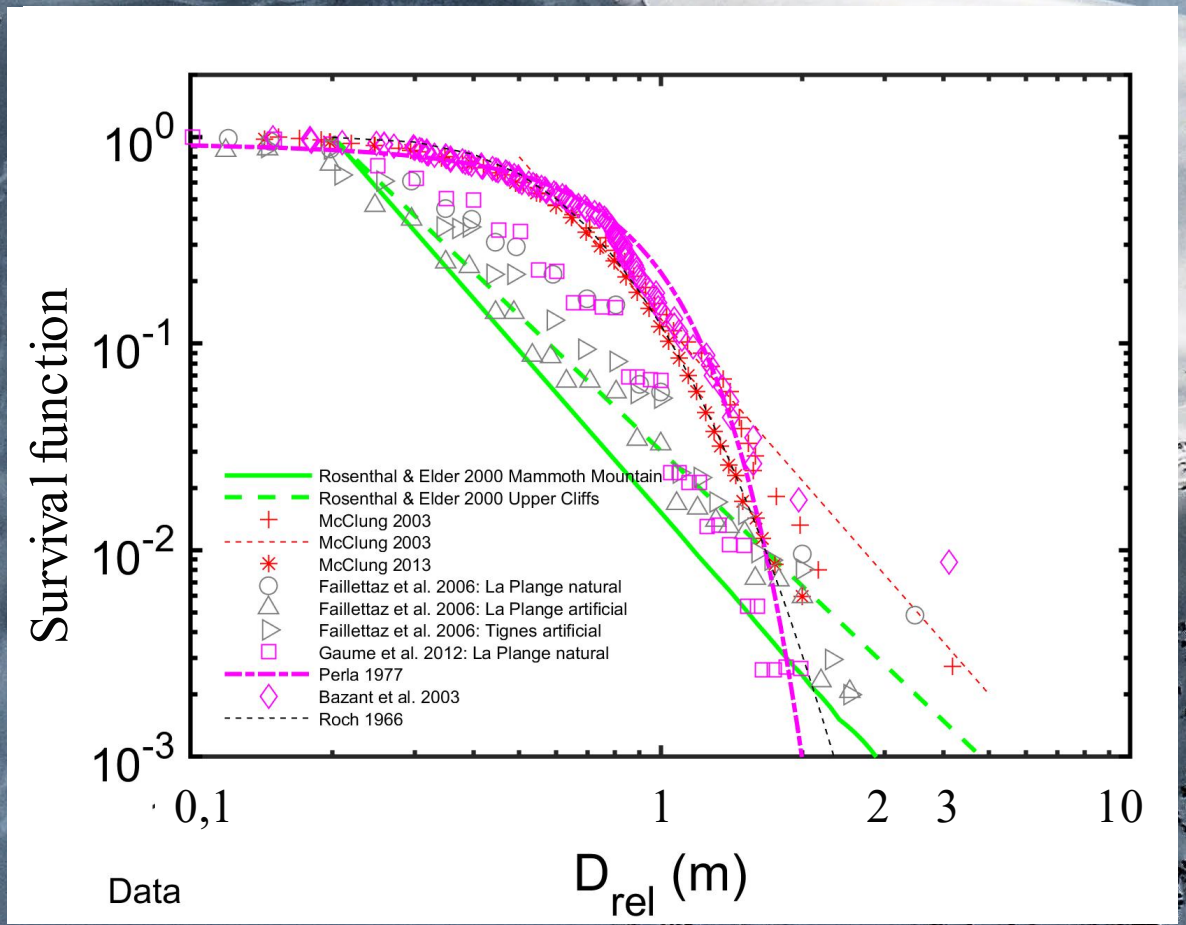
Her inkludert effekt av skog

Observert vs simulert sannsynlighet Ryggfonn



Observert vs. simulert bruddhøyde Ryggfonn





Hvorfor AvaRelPro og ikke 3d snøhøyde?

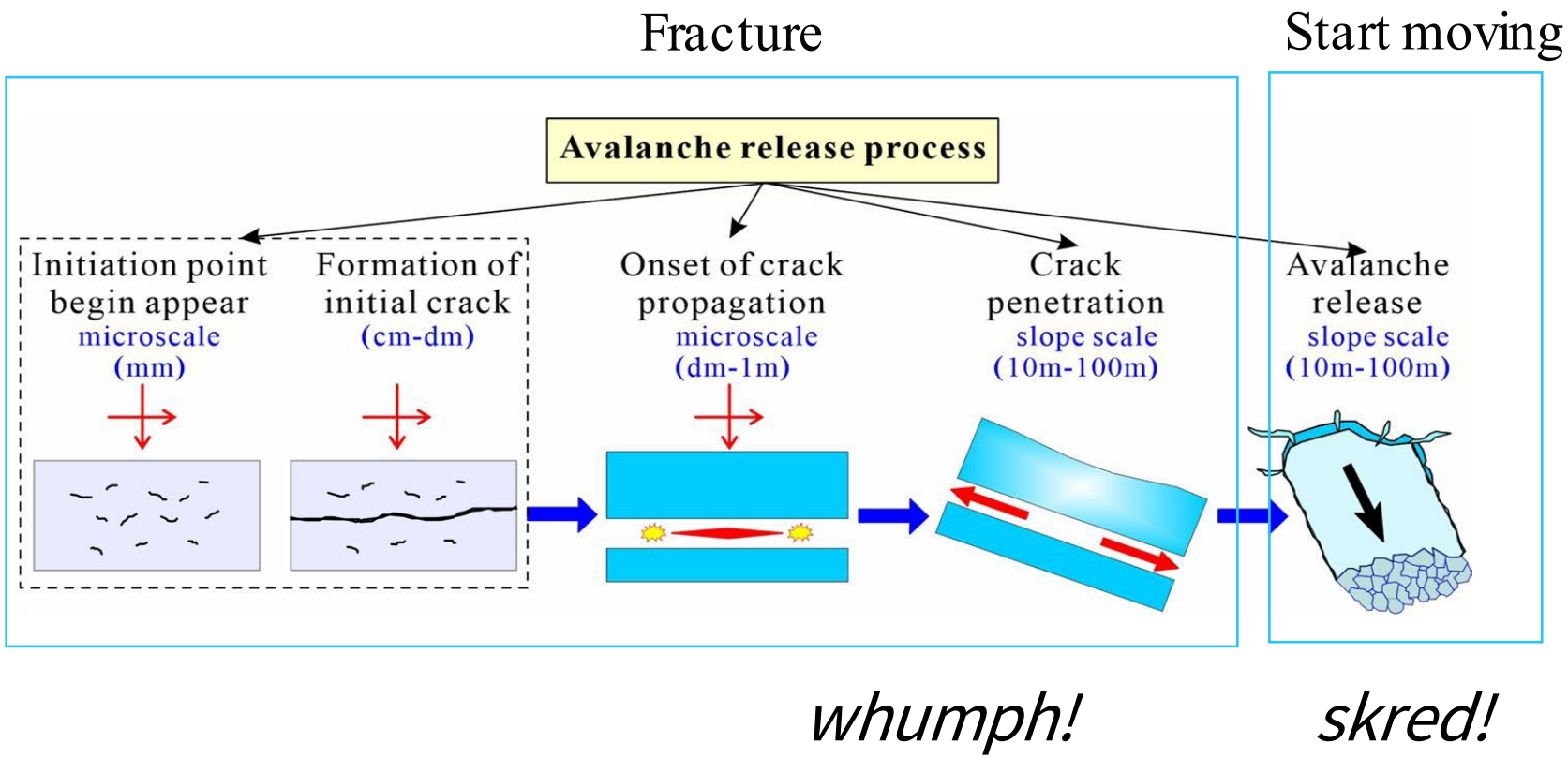
- Del av eldre snøpakke inkluderes i bruddhøyden
- Flere snøpakkeegenskaper:
  - Initiell snøhøyde
  - Snøtilvekst (1- og 3- døgns)
  - Temperatur / tetthet av snøpakken
- Skogeffekt kan kvantifiseres
- Representasjon av våtsnøskred / regn på snø
- Snødrift kan integreres på daglig 1d og 3d nysnø

Del 4: Hva skjer videre med AvaRelPro?

Noe overestimerte bruddhøyder i NAKSIN4, spesielt i slakere terreng (25°-37°)

Nytt: inkludert sekundært krav for skred, etter initielt brudd

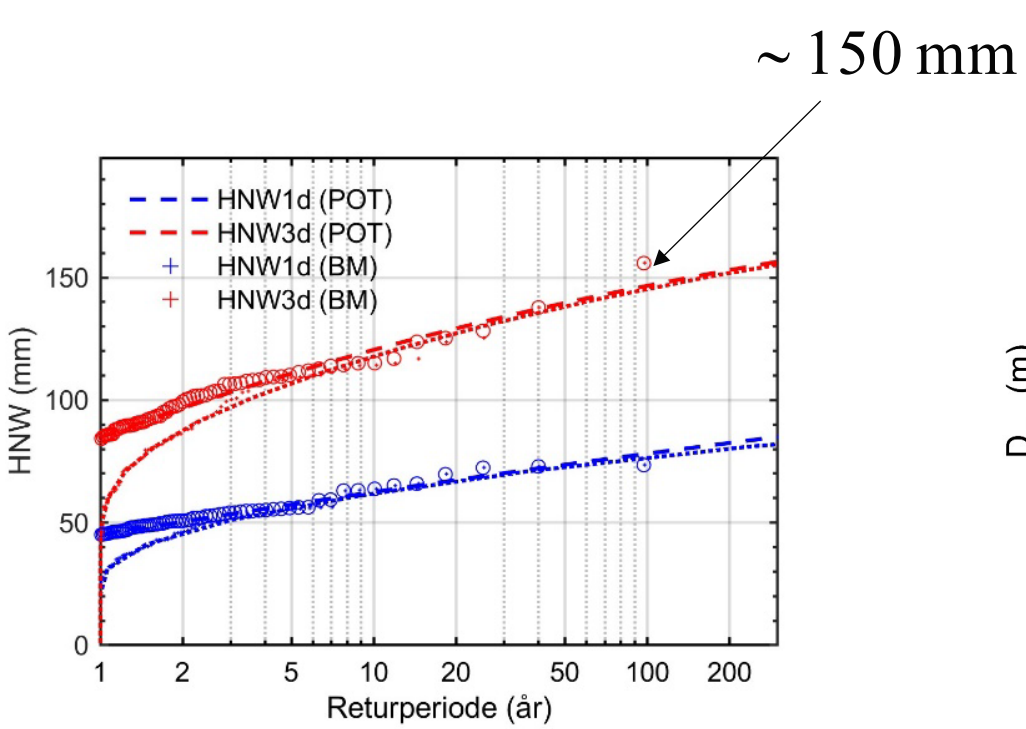
- Brudd (whumph) + skred!
- Basert på Herwijnen et al.



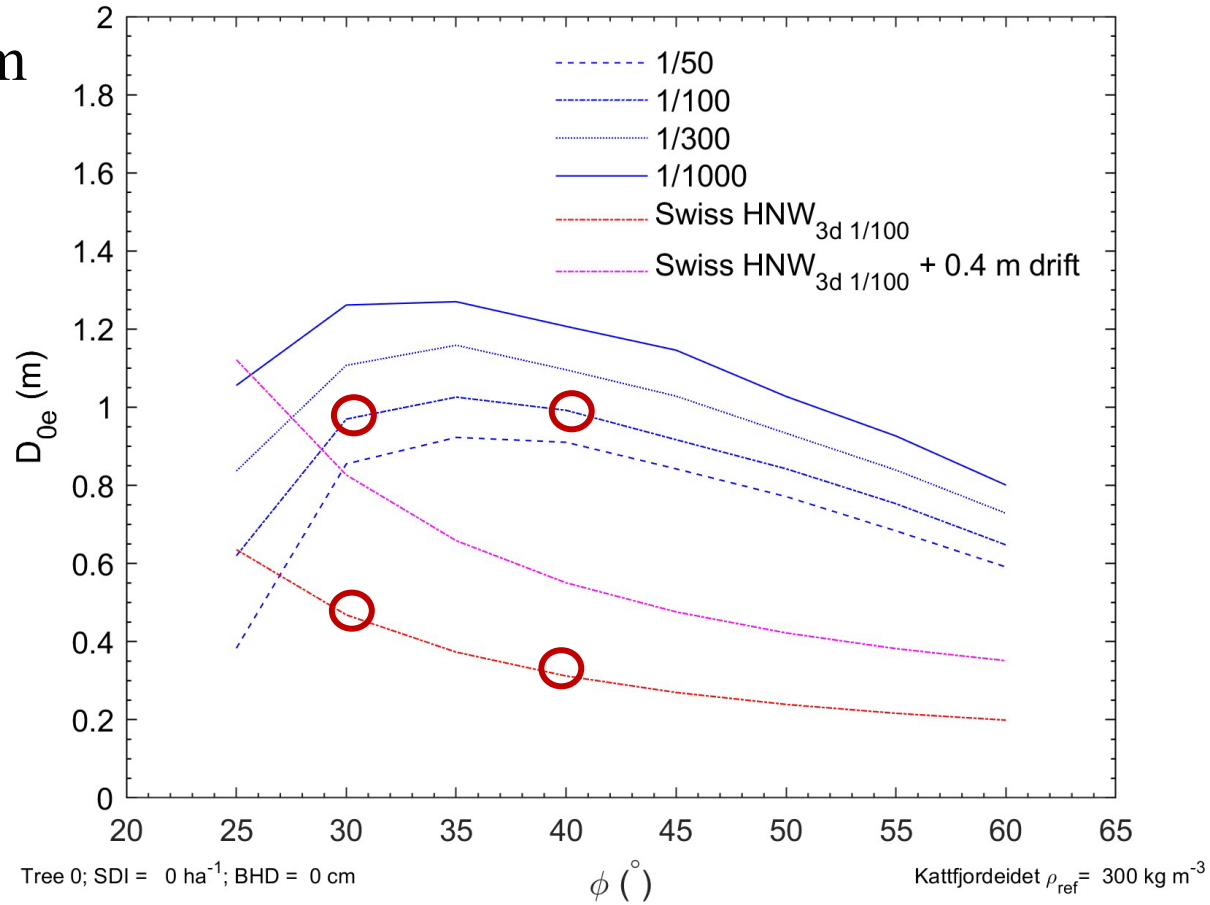
Reduserer bruddhøyder i slakere terreng

Schweizer et al. 2017)

3-døgns FSW vs. AvaRelPro

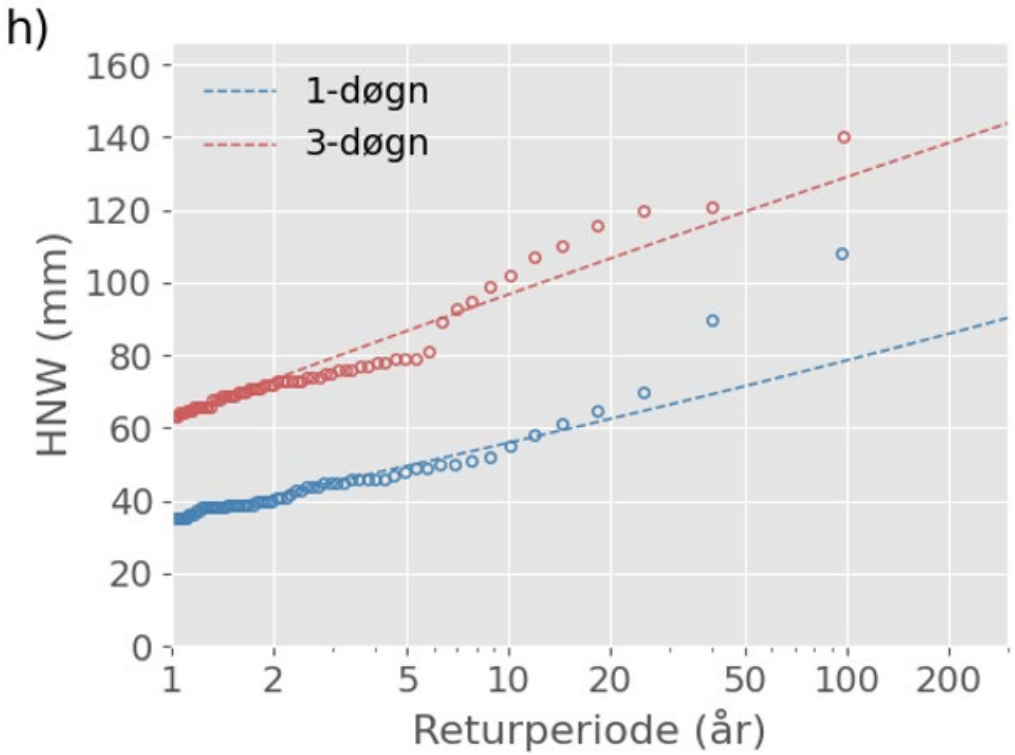


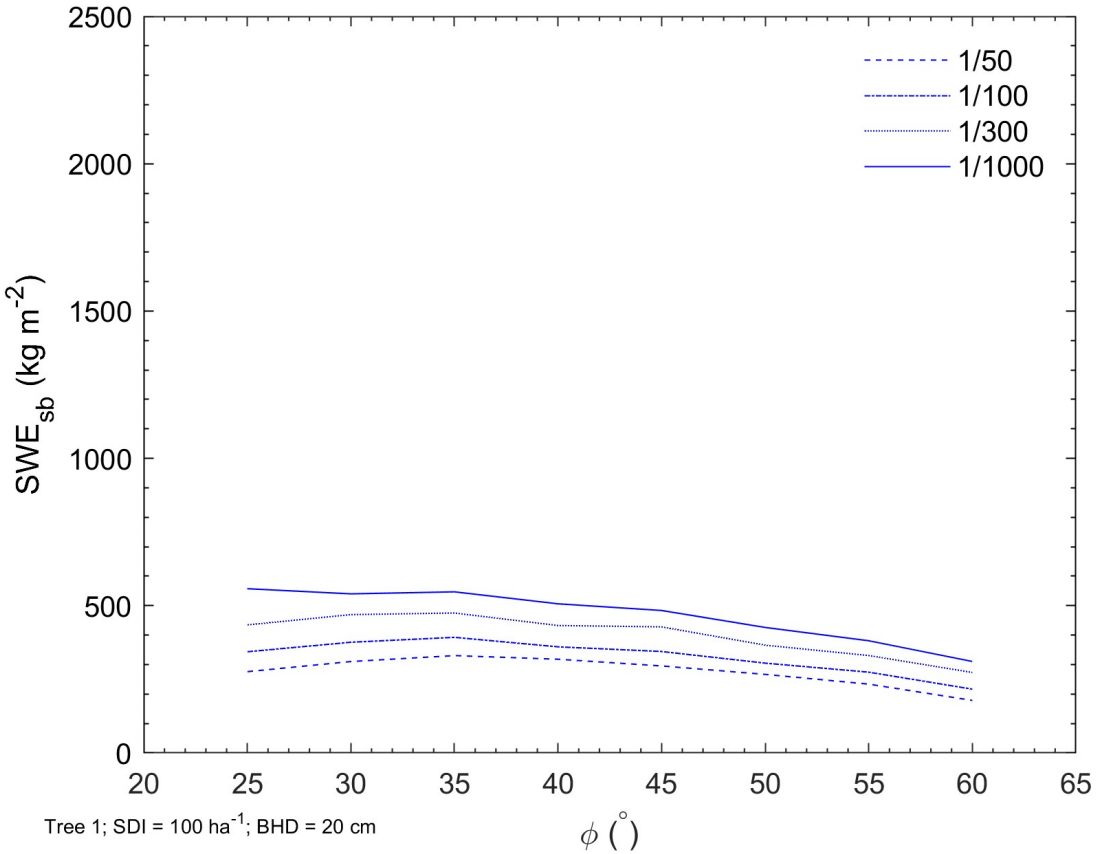
Eksempel
Kattfjordeidet



Per nå: bruker en kombinasjon av 3d HNW og AvaRelPro

$$M_{rel} = \rho_{rel} d_0 \sim \sqrt{SWE_{sb} HNW_{3Dcos}}$$





Veien videre: forbedret skogseffekt

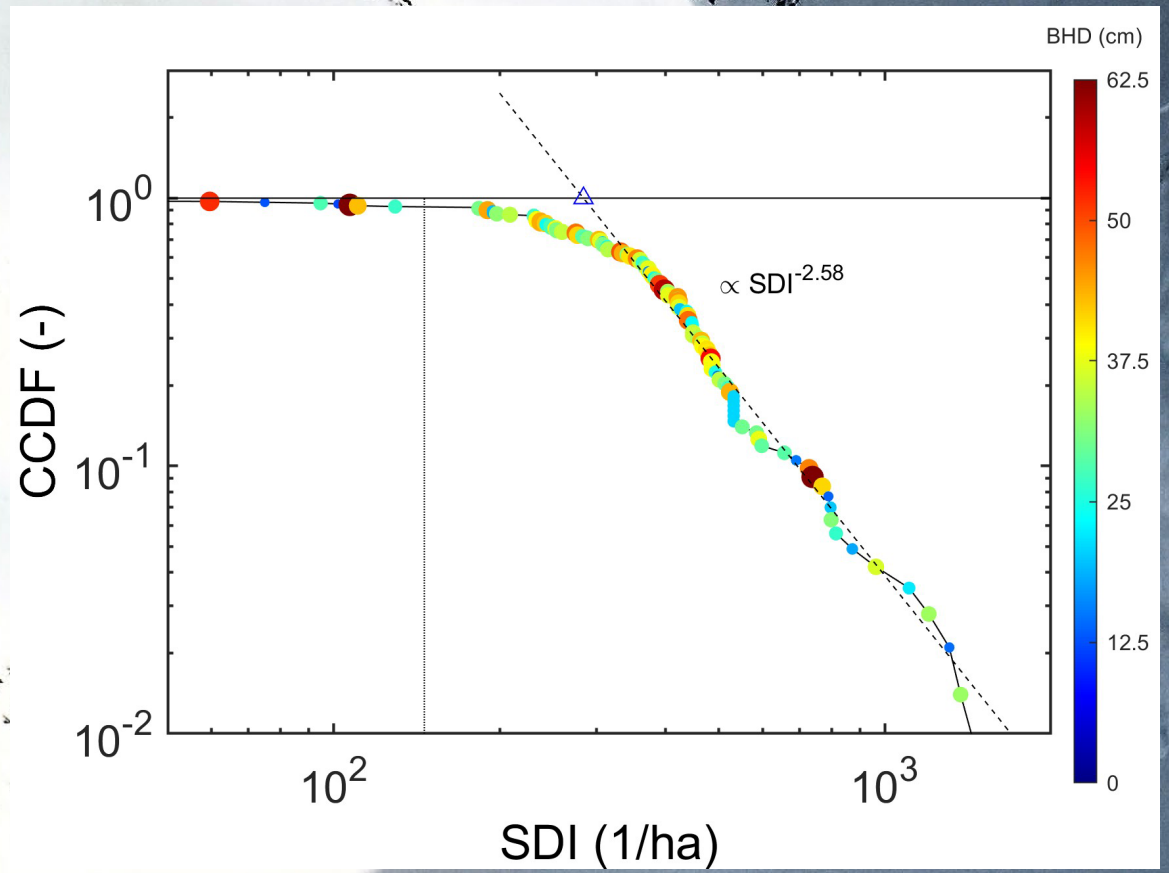
- Justere snøhøyde
- Intensitet av snøpålagring
- Tetthet
- Mekanisk stabilisering fra stammer

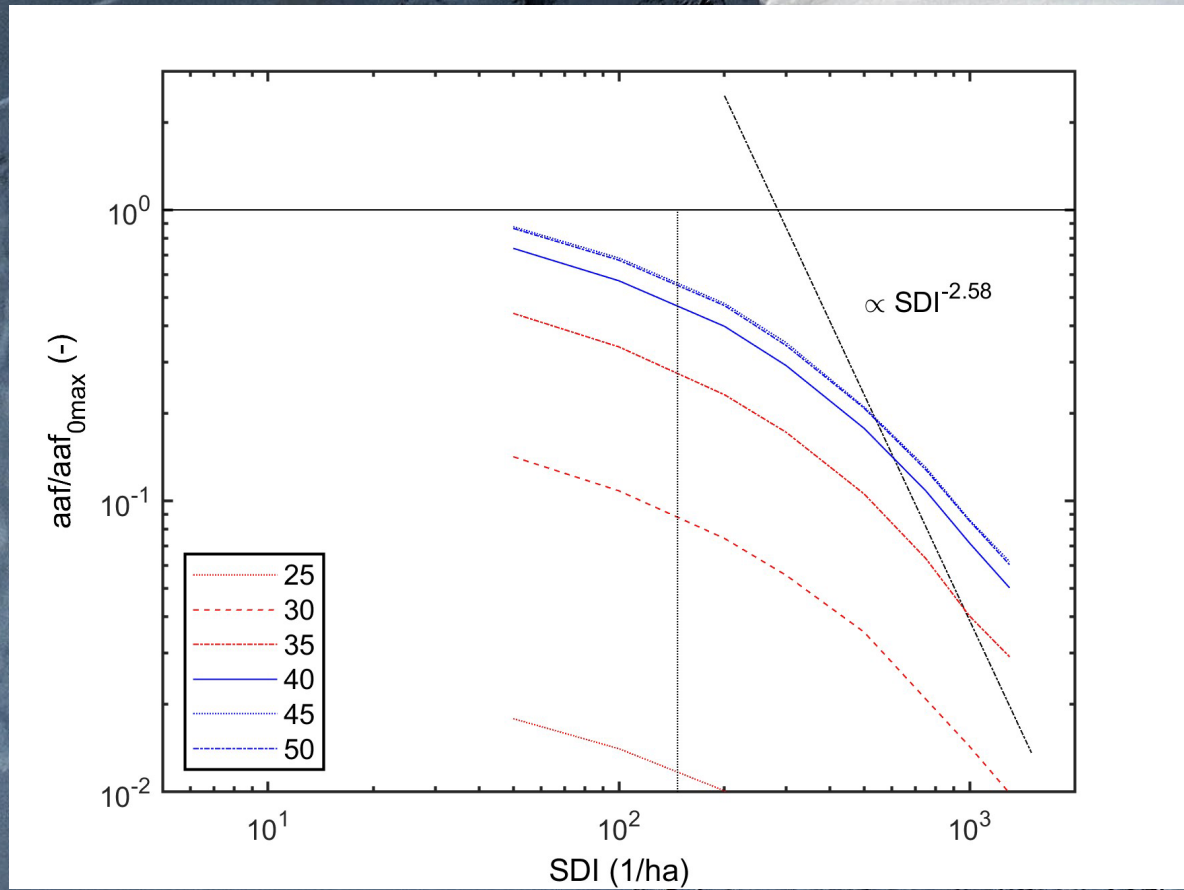
Tetthet a

$$G = -1 + \left(\underbrace{\frac{C}{g\rho HS\cos\varphi\sin\varphi}}_{O\approx 0.1-1} + \underbrace{\mu_s \cot\varphi}_{O\approx 0.3-1} \right) + \frac{1}{2}\frac{N_{ha}}{10^4}\frac{d_t}{c}$$

snowpack stability

Veien videre: forbedret skogseffekt





Kort oppsummert:

Vannekvivalent heller enn snøhøyde

Ekstrapolering → 3 x tidsserie (200-år)

Bruddhøyde avhenger av mer enn 3-døgns snøtilvekst

NAKSIN – noe overestimerte bruddhøyder

AvaRelPro videre: tuning, skog og snødrift


AARN
APPLIED AVALANCHE RESEARCH IN NORWAY
Takk for
oppmerksomheten!


NGI
På sikker grunn