

(5) Grunnlag for stabilitetsanalyse

Bjørn Nilsen, Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU

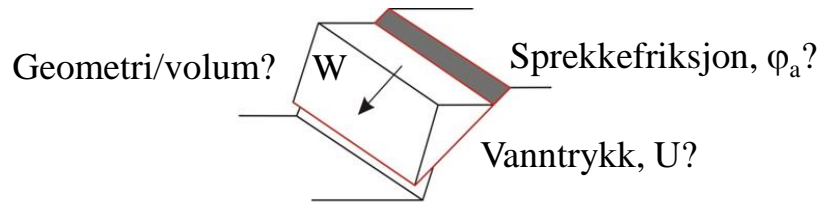
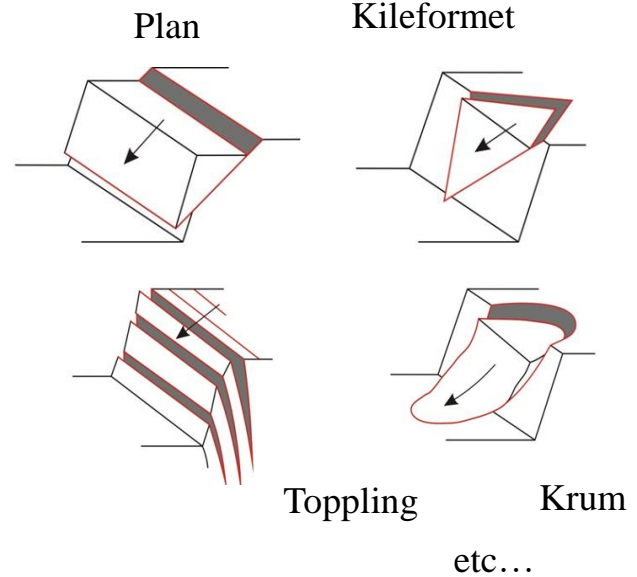
- Grunnleggende metodikk for analyse
- Forhold som innvirker på stabiliteten
- Kvantifisering av inngangsparametre, usikkerheter
- Bruk av parametrene i beregninger
- Likevektsberegning etter partialfaktor-metoden
- Litt om probabilistisk analyse



Grunnleggende metodikk for stabilitetsanalyse

1) Identifisering av potensielt stabilitetsproblem

2) Kvantifisering av inngangsparametre



3) Beregning

- likevektberegning
- numerisk analyse

deterministisk eller probabilistisk?

$$\text{Krav: } \Sigma \text{ stab. krefter} > \Sigma \text{ drivende krefter} \Rightarrow$$
$$(W \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p) \cdot (\tan \phi_a / \gamma_m) >$$
$$(W \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p)$$

Eks.: Løsberga, E6 ved Steinkjer, juni 2008 – ca. 8000 m³



Fra referansegruppe-rapport: <https://www.vegvesen.no/attachment/82127/binary/76595>

FAKTORER SOM INNVIRKER PÅ STABILITETEN

GEOLOGISKE

- Bergartstype
- Sprekker / svakhetssoner
- Grunnvann / klima
- Bergspenninger

”IKKE GEOLOGISKE”

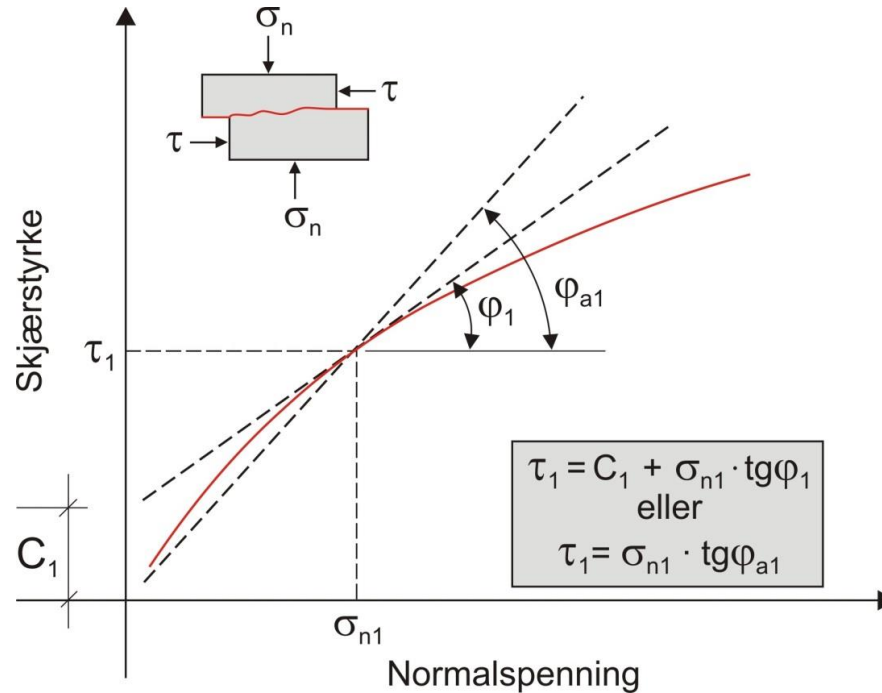
- Geometri
- Vibrasjoner / rystelser
- Evnt. ytre laster

BERGARTSTYPE

- Strukturen innvirker på utrasningstype
- Styrken innvirker på skjærkapasiteten



UTGLIDNINGSFLATENS SKJÆRSTYRKE



For ru sprekkeflater: ikke-lineært forløp mellom σ_n og τ
 $\Rightarrow c, \phi$ and ϕ_a er funksjoner av σ_n og dermed også av U

UTGLIDNINGSPLANETS SKJÆRSTYRKE

Barton-Bandis empiriske formel

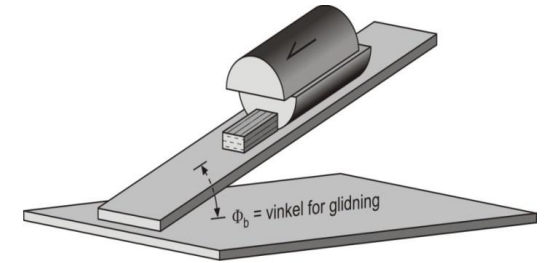
$$\tau = \sigma_n \cdot \tan [JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n) + \varphi_r]$$



JCS

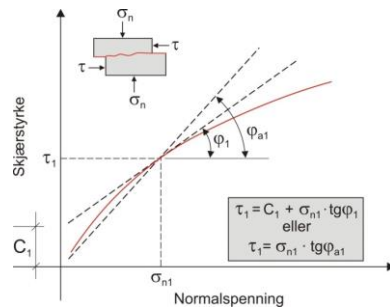


JRC



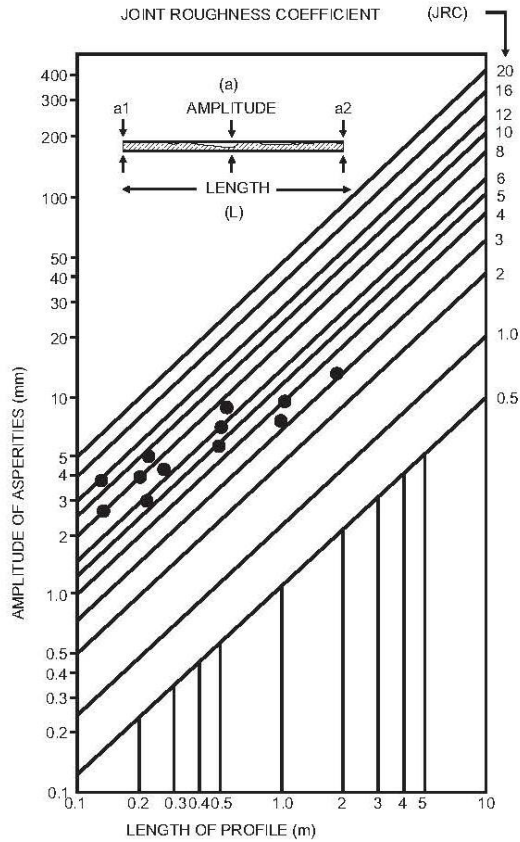
Φ_b

$$\Phi_r = (\Phi_b - 20) + 20(r/R)$$



DIAGRAMMER FOR FASTLEGGING AV JCS OG JRC

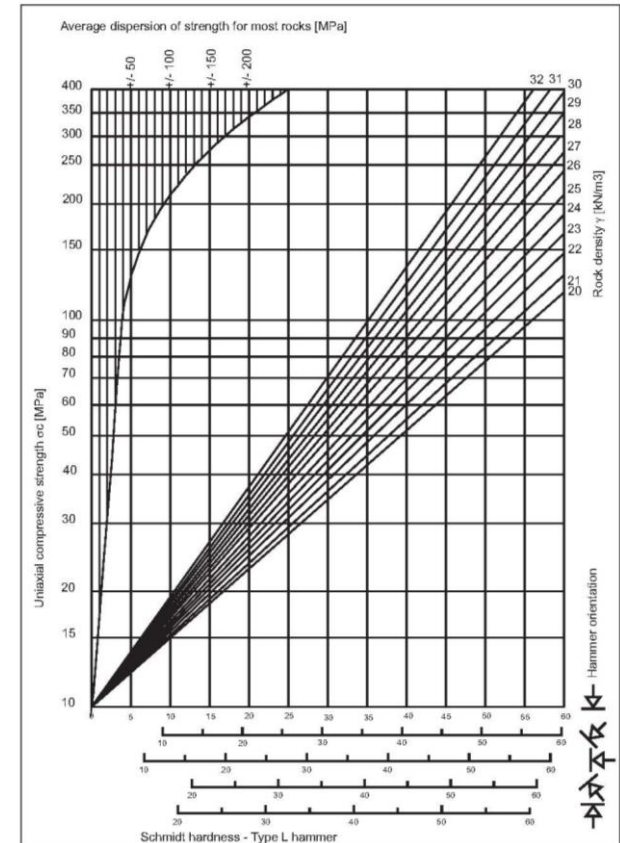
$$\tau = \sigma_n \cdot \tan [JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n) + \varphi_r]$$



JRC

Relationship between Jr and JRCn			
Subscripts refer to block size (cm)			
	Jr	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
I rough	4	20	11
II smooth	3	14	9
III slicksided	2	11	8
Stepped			
IV rough	3	14	9
V smooth	2	11	8
VI slicksided	1.5	7	6
Undulating			
VII rough	1.5	2.5	2.3
VIII smooth	1.0	1.5	0.9
IX slicksided	0.5	0.5	0.6
Planar			

Estimation of UCS based on Schmidt hardness



JCS

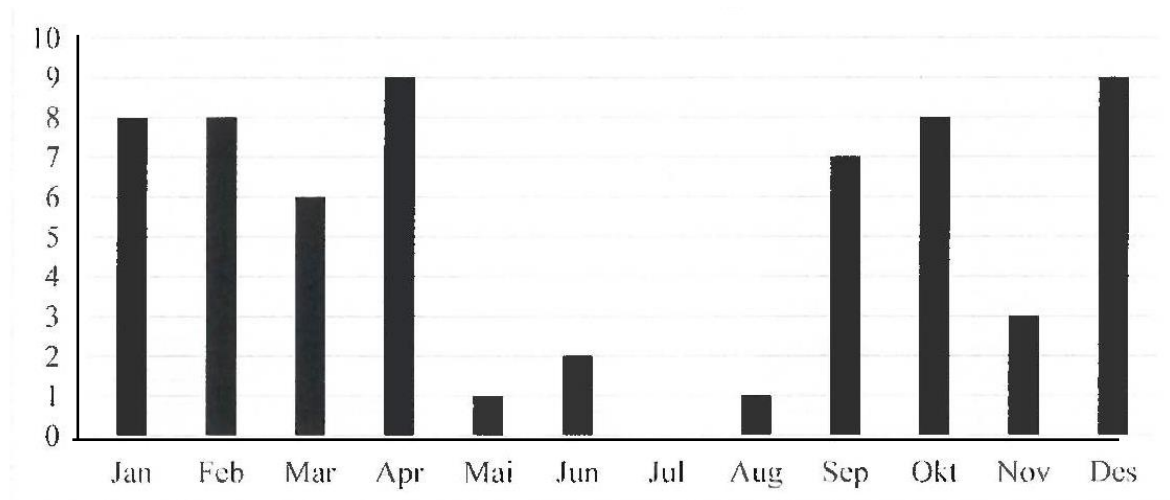
Må skaleres iht. feltforhold:

$$JRC_n = JRC_o (L_n/L_o)^{-0.02JRC_o}$$

$$JCS_n = JCS_o (L_n/L_o)^{-0.03JRC_o}$$

RAS/SKRED-FREKVENS SOM FUNKSJON AV NEDBØR/ÅRSTID

Eks.: Steinsprangfrekvens Bynesveien 1978-2016 (SVV)

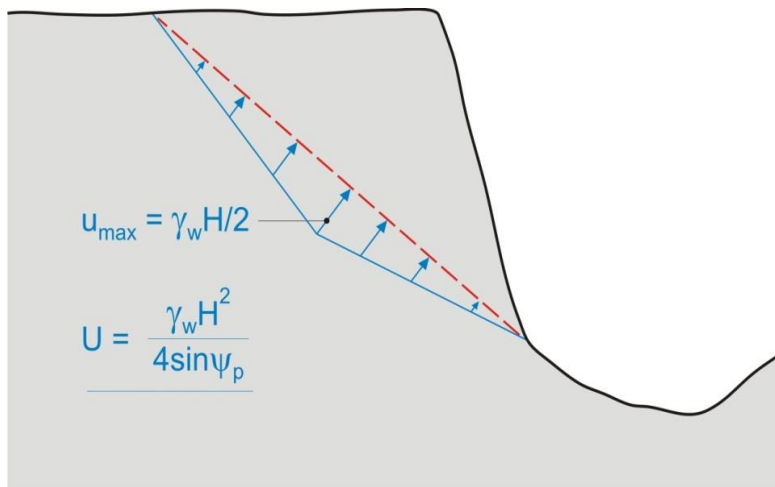


Siste store fjellskred:

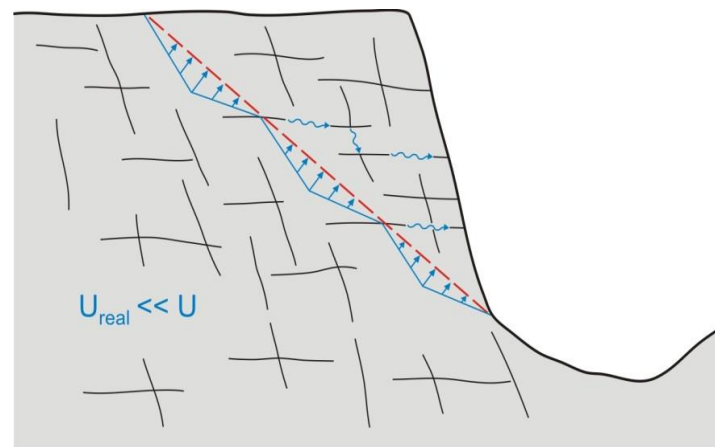
- Tafjord 7.4.1934
- Loen 15.1.1905 og 13.9.1936

=> Regn/nedbør og frysing/tining av stor betydning

GRUNNVANNSTRYKK



Vanlig brukt som «worst case» scenario, representerer langvarig, kraftig regnvær



Mer realistisk «worst case» scenario?

STABILITETSBEREGNING

Skal i dag utføres iht. Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering
- erstattet nasjonal standard NS3480 i 2010

standard
norge

Norsk Standard
NS-EN 1997-1:2004+NA:2008

ICS 91.010.30; 93.020
Språk: Engelsk
(NA på norsk)

Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler

Eurocode 7: Geotechnical design
Part 1: General rules

Innarbeidet i standarden: / Incorporated in this standard:
Nasjonalt tillegg / National Annex NS-EN 1997-1:2004/NA:2008

eurokoder



© Standard Norge. Henvendelse om gjengivelse rettes til Standard Online AS. www.standard.no

standard
norge

Norsk Standard
NS-EN 1997-2:2007+NA:2008

ICS 91.060.01
Språk: Engelsk
(NA på norsk)

Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver

Eurocode 7: Geotechnical design
Part 2: Ground investigation and testing

Innarbeidet i standarden: / Incorporated in this standard:
Nasjonalt tillegg / National Annex NS-EN 1997-2:2007/NA:2008

eurokoder



© Standard Norge. Henvendelse om gjengivelse rettes til Standard Online AS. www.standard.no

standard
norge

Norsk Standard
NS-EN 1990:2002+NA:2008

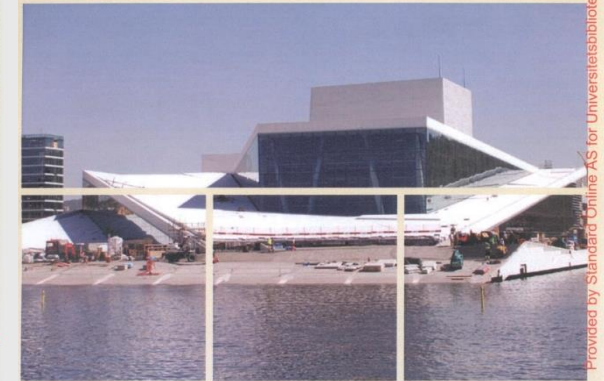
ICS 91.010.30; 91.080.01
Språk: Engelsk
(NA på norsk)

Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

Eurocode: Basis of structural design

Innarbeidet i standarden: / Incorporated in this standard:
Nasjonalt tillegg / National Annex NS-EN 1990:2002/NA:2008

eurokoder

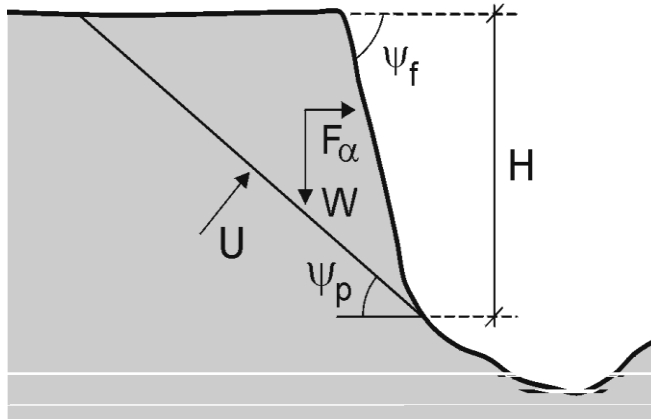


© Standard Norge. Henvendelse om gjengivelse rettes til Standard Online AS. www.standard.no

Provided by Standard Online AS for NTNU Universitetsbiblioteket | Trondheim - NTNU 2011-09-29

BEREGNINGSEKSEMPEL

Partialfaktor-metoden i henhold til Eurokode 7



$$H = 35\text{m}$$

$$\psi_f = 80^\circ$$

$$\psi_p = 40^\circ$$

$$W = 16.173 \text{ kN/m}$$

$$F_\alpha = m\alpha$$

Stabiliserende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p) \text{tg} \phi_{ka} / \gamma_m$

Drivende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p)$

ϕ_{ka} = karakteristisk aktiv friksjonsvinkel

γ_f = partiell faktor for last

γ_m = materialfaktor

F_k = karakteristisk last

R_k = karakteristisk motstand (styrke)

$M_d = F_k \cdot \gamma_f$ = dimensjonerende last

$F_d = R_k / \gamma_m$ = dimensjonerende motstand (styrke)

Partielle faktorer iht Eurocode 7
(NS-EN 1997-1:2004+NA:2008):

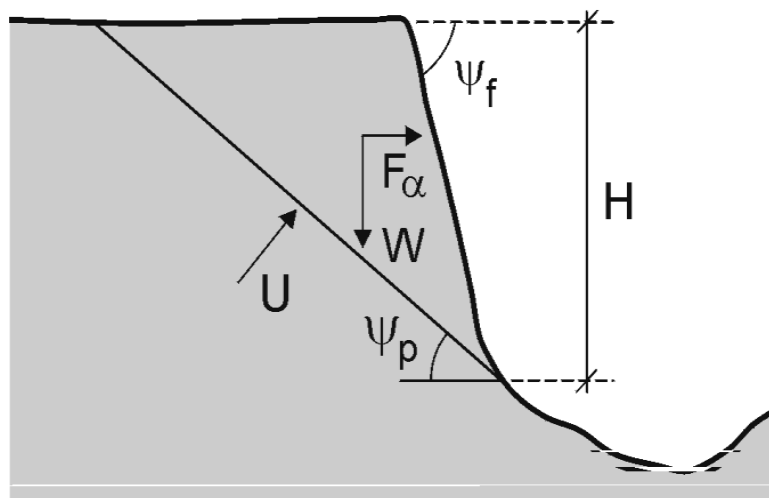
$W, U: \gamma_f = 1,0$

$F_\alpha: \gamma_f = 1,3$

$\text{tg} \phi_a: \gamma_m = 1,25$

Konstruksjonen/designen tilfredsstillende dersom $\Sigma M_d > \Sigma F_d$

BEREGNINGSEKSEMPEL, PARTIAL-FAKTOR METODEN



Last: $F_d = F_k \cdot \gamma_f$
 Styrke: $M_d = M_k / \gamma_m$

$\gamma_f = 1,0$ for W og U

$\gamma_f = 1,3$ for F_α

$\gamma_m = 1,25$ for $\tan\varphi_a$

$\alpha = 0,04g$

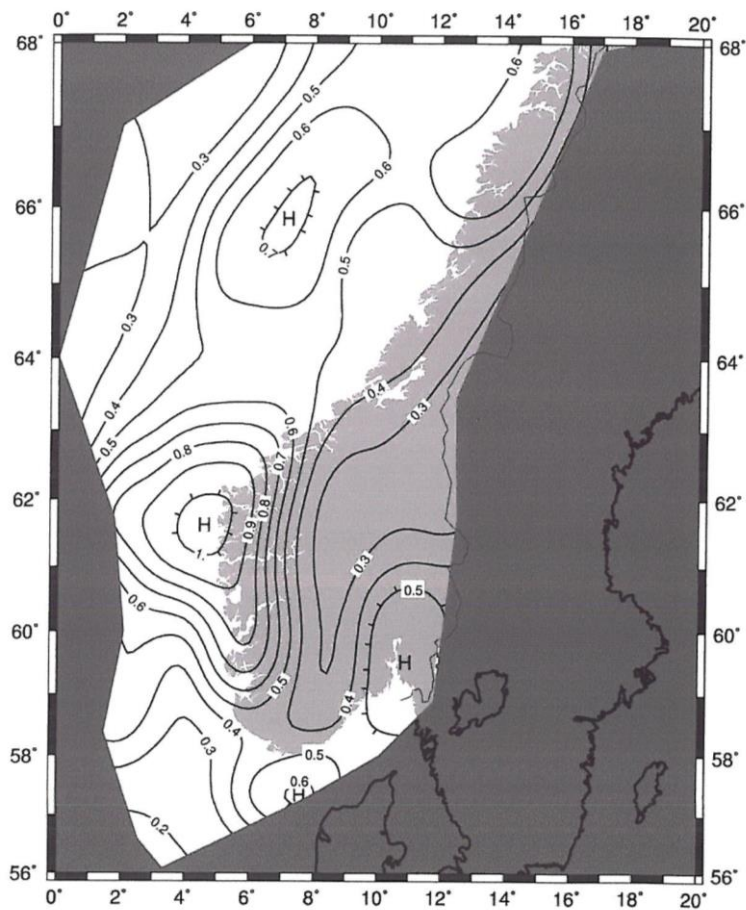
KRAV: $\Sigma M_d > \Sigma F_d \Rightarrow$

$$(W \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p) \cdot (\tan\varphi_{ka} / \gamma_m) > (W \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p)$$

Situasjon	Worst case	Best case	Jordskjelv/ ikke vann	Vann/ikke jordskjelv
$F_\alpha \cdot \gamma_f$	841	0	841	0
σ_n	132	228	220	140
φ_a	65	56	56,5	64
ΣM_d (kN/m)	12126	14682	13784	12490
ΣF_d (kN/m)	11032	10391	11040	10391
$\Sigma M_d / \Sigma F_d$	1,10	1,41	1,25	1,20

SEISMISK AKTIVITET

Hvor relevant å ta med i beregningen i Norge?

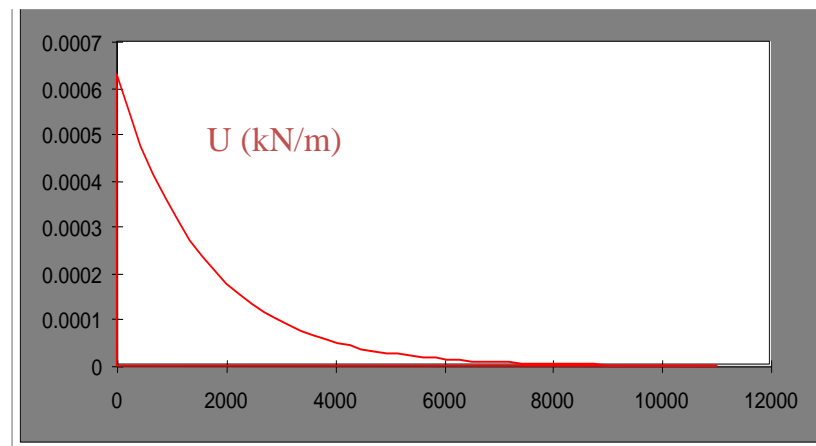


Fra NS-EN 1998-1: 2004+NA2008

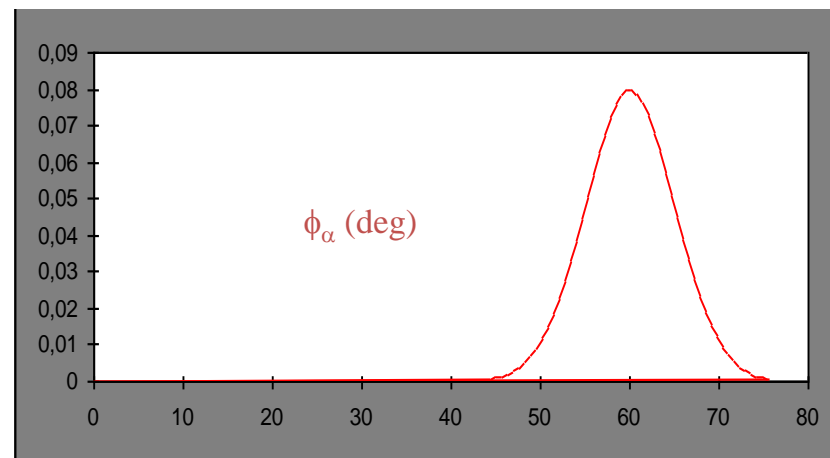
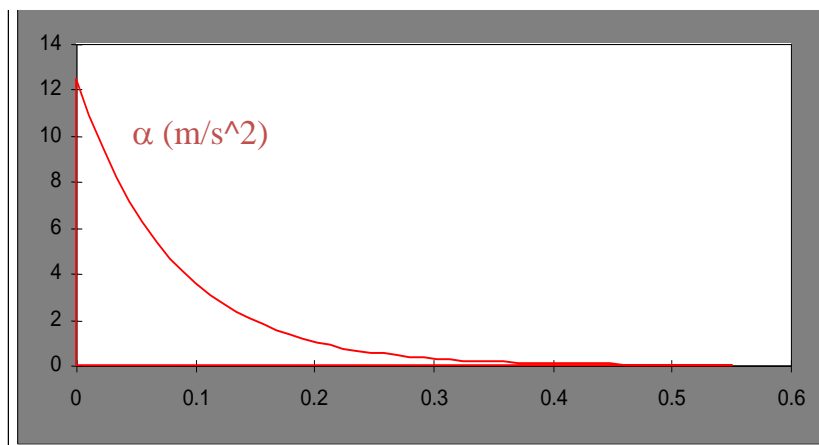
Returperiode 475 år: $a_g=0,4 m/s^2=0,04 g$

(10.000 år: $a_g=1,8 m/s^2=0,18 g$)

PROBABILISTISK ANALYSE SOM ALTERNATIV TIL DETERMINISTISK – beregningseksempel

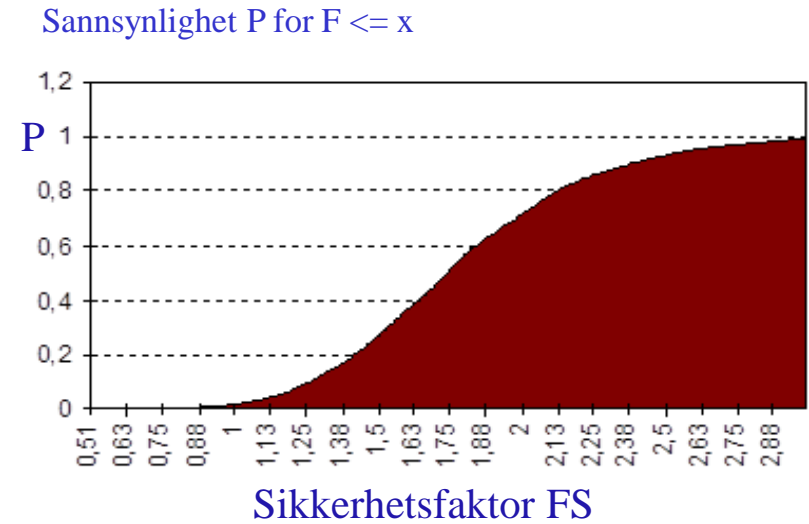
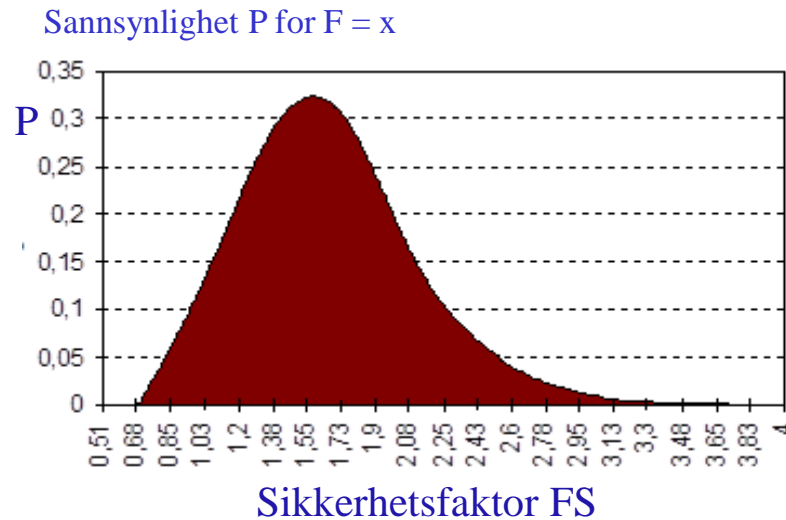


Sannsynlighetsfordelinger for inngangsparametre over en 50-års periode



Arealet under kurven er i alle tilfeller 1,0 – dvs. sannsynligheten er 1.0

PROBABILISTISK ANALYSE - beregningseksempel



Krav iht. TEK-17 (2021):

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

Over en 50 års periode:

$$P(\text{utglidning}) = P(F < 1,0) = 0,046$$

$$\text{Årlig sannsynlighet: } P(\text{utglidning}) = 0,92 \cdot 10^{-3}$$

SLUTTKOMMENTARER

God kontroll med stabiliteten forutsetter innsats på flere felter og trinnvis tilnærming:

- 1) Identifisering av mulig stabilitetsproblem / forståelse av problemstillingen
- 2) Sikker fastlegging av parametre som inngår i beregning og analyse
- 3) Riktig/relevant beregningsmodell
- 4) Oppfølging i form av målinger om nødvendig

- Mest avgjørende for sikker analyse: kvaliteten av inngangsparametrene
- Grundige felt- og lab.undersøkelser av stor betydning!

