



KTH ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

TILLFÖRLITLIGHETSBASERAD DIMENSIONERING AV FÖRSTÄRKNING I BERGTUNNLAR

DOKTORAND: WILLIAM BJURELAND

HANDLEDARE: FREDRIK JOHANSSON, STEFAN LARSSON, JOHAN SPROSS



BAKGRUND

NATIONELLA REGLER OCH FÖRORDNINGAR STYRDE
DIMENSIONERING AV TUNNLAR

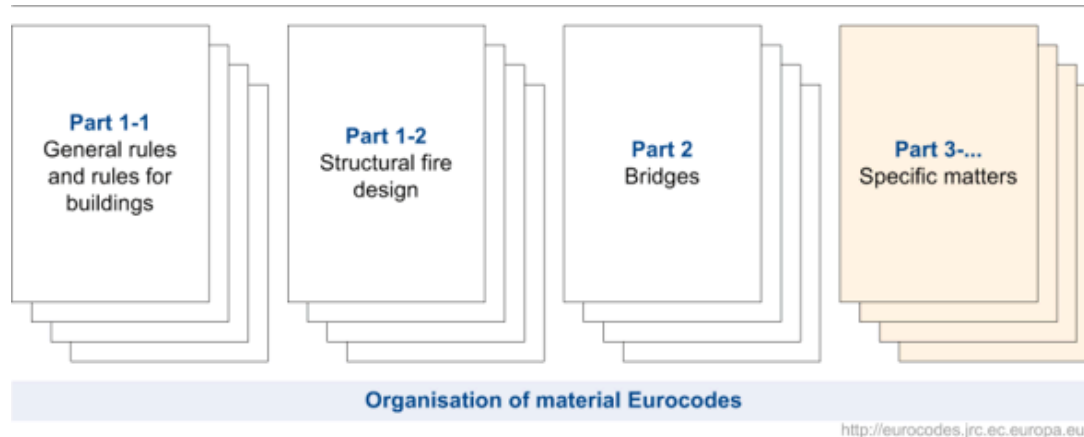


STANDARDISERAT REGELVERK INOM EU VORE
FÖRDELAKTIGT



BAKGRUND

EUROKODERNA BÖRJADE GÄLLA 2009





DEN HUVUDSAKLIGA SKILLNADEN

HUR HÄNSYN SKALL TAS TILL OSÄKERHETER

TRADITIONELLT:

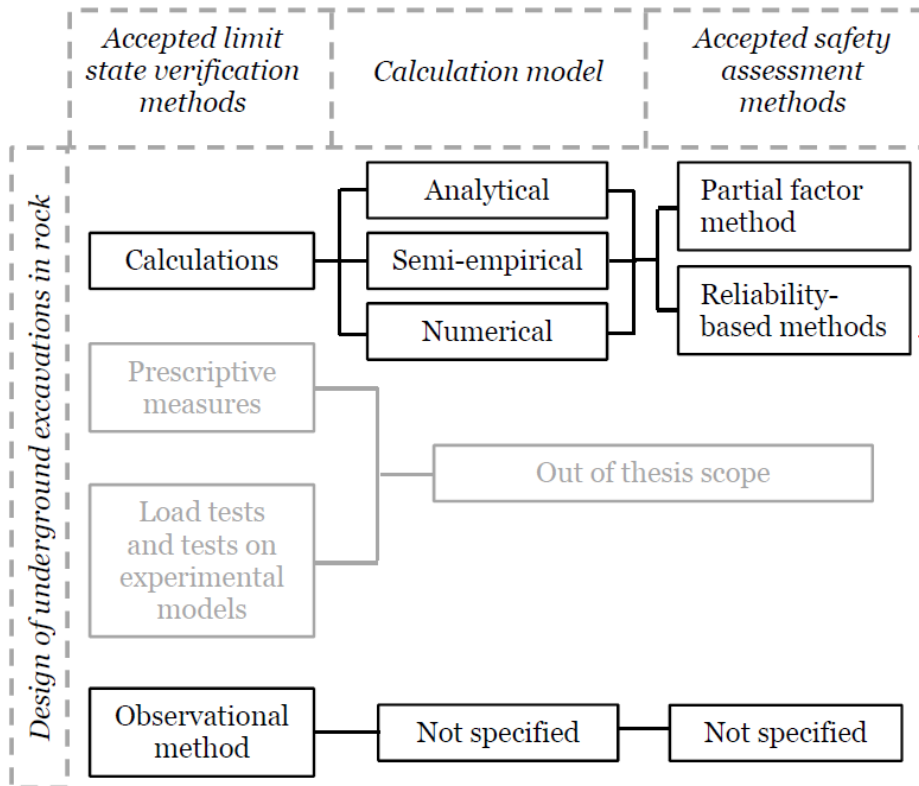
- SÄKERHETSFAKTOR

$$\cancel{SF = \frac{\mu_R}{\mu_S}}$$

EUROKODERNA:

- GRÄNSTILLSTÅNDSANALYS VID DIMENSIONERING MED HJÄLP AV BERÄKNINGAR

GRÄNSTILLSTÅNDSVERIFIERING OCH SÄKERHETSBEDÖMNINGSMETODER



FASTA
PARTIALKOEFFICIENTER

STATISTIKT HÄRLEDDA ELLER
BASERADE PÅ ERFARENHET

ÄR DET VERKLIGEN
LÄMPLIGT?

SANNOLIKHETSFÖRDELNINGAR

SANNLIKHETEN FÖR
GRÄNSÖVERSKRIDANDE

HUR SKALL DET GÖRAS?



MÅLET MED PROJEKTET

ÖVERGRIPANDE MÅL:

- *UTVECKLA TILLFÖRLITLIGHETSBASERADE DIMENSIONERINGSMETODER FÖR OPTIMERING AV BERGFÖRSTÄRKNING.*

MÅLET MED PÅGÅENDE STUDIE:

- *IDENTIFIERA MÖJLIGHETER OCH PRAKTISKA SVÅRIGHETER MED ANVÄNDADET AV PARTIALKOEFFICIENTMETODEN OCH TILLFÖRLITLIGHETSBASERADE METODER, UTESLUTANDE ELLER I KOMBINATION MED OBSERVATIONSMETODEN, FÖR DIMENSIONERING AV BERGTUNNELFÖRSTÄRKNING.*

FORSKNINGSMOTIVERING:

- *GENOM OVANSTÅENDE KAN OPTIMERING AV BERGTUNNELFÖRSTÄRKNING, MED HÄNSYN TILL OSÄKERHETER, VARA MÖJLIG UTAN ATT KOMPROMISSA PÅ SAMHÄLLET'S KRAV PÅ ERFORDERLIG STRUKTUREL SÄKERHET.*



**VAD SKA VI
FOKUSERA PÅ
FÖRST?**

The background image is a photograph of a tall giraffe standing in front of a multi-story building with a stone facade and many windows. The building is partially covered in ivy on the left side. The giraffe is facing right, and its long neck extends upwards towards the upper floors of the building. The scene is brightly lit, suggesting daytime.

**OBSERVATIONER ÄR EN VIKTIG
DEL I ALL DIMENSIONERING AV
BERGTUNNELFÖRSTÄRKNING.**



GENERELL DIMENSIONERINGSSTRATEGI FÖR BERGTUNNELFÖRSTÄRKNING

DIMENSIONERING AV BERGTUNNELFÖRSTÄRKNING UTFÖRS MED ETT **OBSERVATIONSBASERAT TILLVÄGAGÅNGSSÄTT** SOM INNEHÅLLER FÖLJANDE TRE STEG:

1. *PREDIKTIONER*
2. *OBSERVATIONER*
3. *ÅTGÄRDER*

SOM EXEMPEL, I GODA OCH MEDELGODA BERGFÖRHÅLLANDEN (GK-2) INKLUDERAR DETTA:

1. *SÄTTA UPP FÖRDEFINIERADE BERGFÖRSTÄRKNINGSKLASSER FÖR TYPFÖRSTÄRKNING.*
2. *KARTLÄGGNING AV BERGKVALITETEN UNDER TUNNELDRIVNING.*
3. *VÄLJ KORREKT FÖRSTÄRKNINGSKLASS.*



EXEMPELVIS PROJEKT CITYBANAN

**99% AV BERGFÖRSTÄRKNING
TILLHÖR TYPFÖRSTÄRKNING (GK-2)**

**1% TILLHÖR SPECIELLT
DIMENSIONERAD FÖRSTÄRKNING FÖR MER
KOMPLEXA FÖRHÅLLANDEN (GK-3)**

**SAMMA FÖRHÅLLANDE GÄLLER FÖRMODLIGEN
ÄVEN I MAJORITETEN AV FÖRSTÄRKTA
VATTENKRAFTTUNNLAR**

**DÄRFÖR KAN MAN ANTA ATT OM
TYPFÖRSTÄRKNINGEN OPTIMERAS KAN STORA
BESPARINGAR UPPNÅS**

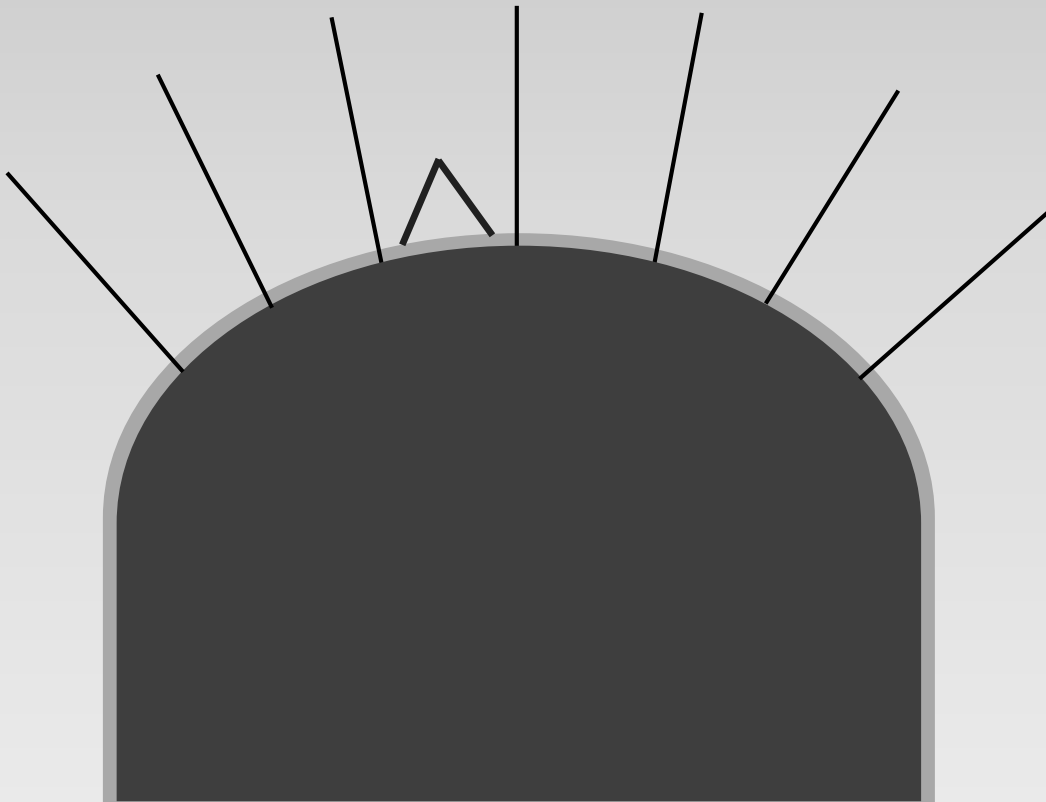
**DOCK SÅ DIMENSIONERAS FÖRSTÄRKNINGEN
IDAG BASERAT PÅ EMPIRISKA ELLER VÄLDIGT
ENKLA ANALYTISKA MODELLER. UTÖVER DET SÅ
ÄR OFTAST INDATA PARAMETRAR
KONSERVATIVT VALDA DETERMINISTISKA
VÄRDEN OCH SÄKERHETSNIVÅN ÄR DÄRFÖR I
PRINCIP OKÄND.**



DET ÄR
UNGEFÄR SÅHÄR
MYCKET

Av <http://www.openstreetmap.org/> kompletterad av Holger Ellgaard - <http://www.openstreetmap.org/>, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7855806>

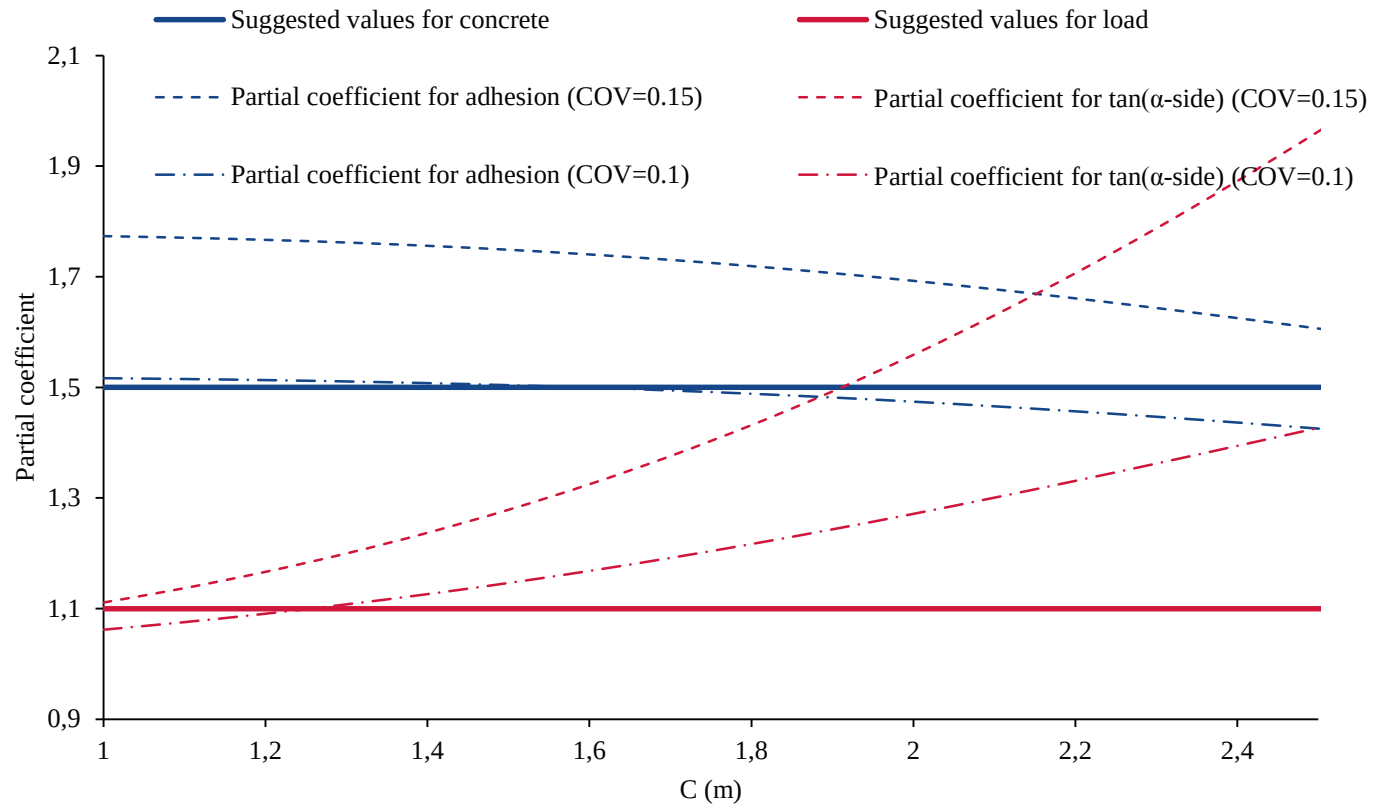
FALL I: BLOCKSTABILITET MELLAN BERGBULTAR



DE SVENSKA RIKTLINJERNA FÖR EXEMPELVIS VÄG OCH JÄRNVÄGSTUNNLAR FÖRESLÅR ATT EXEMPELVIS SPRUTBETONG SKALL DIMENSIONERAS I ENLIGHET MED EC7 SOM FÖRESKRIVER GRÄNSTILLSTÅNDSANALYS MED PARTIAL KOEFFICIENTER.

MEN DÅ KAN MAN FRÅGA SIG, ÄR DETTA VERKLIGEN LÄMPLIGT?

FALL I: BLOCKSTABILITET MELLAN BERGBULTAR





FALL I: BLOCKSTABILITET MELLAN BERGBULTAR

- **PARTIALKOEFFICIENTER VARIERAR** MED STORLEKEN OCH OSÄKERHETEN PÅ INDATA PARAMETRAR.
- **PARTIALKOEFFICIENTER BÖR INTE ANVÄNDAS** VID DIMENSIONERING AV BERGFÖRSTÄRKNING, ENLIGT VÅR ÅSIKT.
- VI FÖRESLÅR ATT **TILLFÖRLITLIGHETSBASERAD DIMENSIONERING BÖR ANVÄNDAS** ISTÄLLET, OCH EVENTUELLT DÅ I KOMBINATION MED OBSERVATIONSMETODEN.
- **VI BEHÖVER EN BÄTTRE FÖRSTÅELSE OM DE OLIKA INDATA PARAMETERAR** SOM ANVÄNDAS VID DIMENSIONERING OM TILLFÖRLITLIGHETSBASERAD DIMENSIONERING SKALL KUNNA ANVÄNDAS VID BERGBYGGANDE SÅ .

PÅGÅENDE ARBETE- BLOCKSTABILITET MELLAN BERGBULTAR

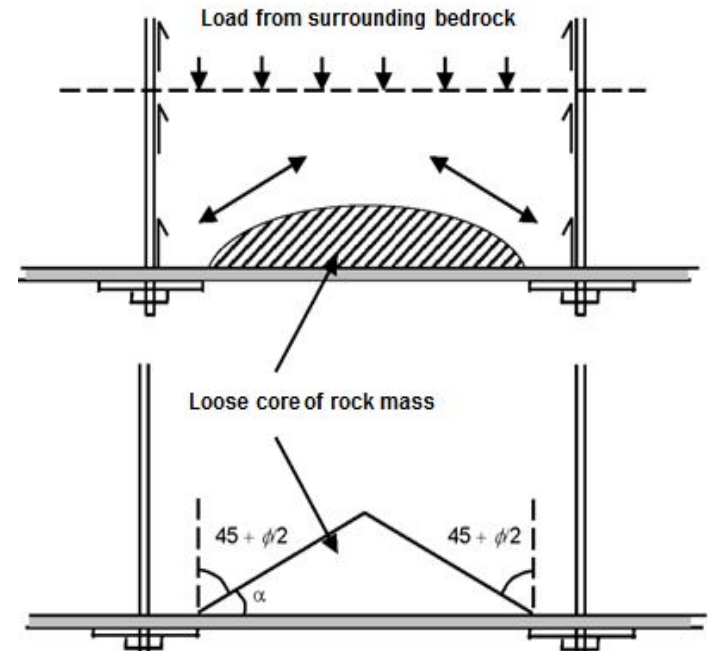
ANALYS AV BLOCKSTABILITET MED VIDHÄFTNING I
GRÄNSYTAN BERG-SPRUTBETONG.

OMFATTANDE MÄNGD DATA HAR ERHÅLLITS

- SPRUTBETONGTJOCKLEK – 1800
PROVTAGNINGSPUNKTER
- VIDHÄFTNING AV SPRUTBETONG – 350
PROVER.

MÄNGDEN DATA ÖPPNAR UPP MÖJLIGHETEN ATT
FASTSTÄLLA PARAMETERARNAS FÖRDELNING,
MEDELVÄRDE OCH VARIATION.

NÄR VI STUDERAT PARAMETERARNA SÅ HAR VI
OBSERVAT ATT **PARAMETERARNA SOM ANVÄNDS
IDAG ÄR KONSERVATIVT VALDA** MEN OCKSÅ ATT
DET FINNS EN SIGNIFIKANT VARIATION.





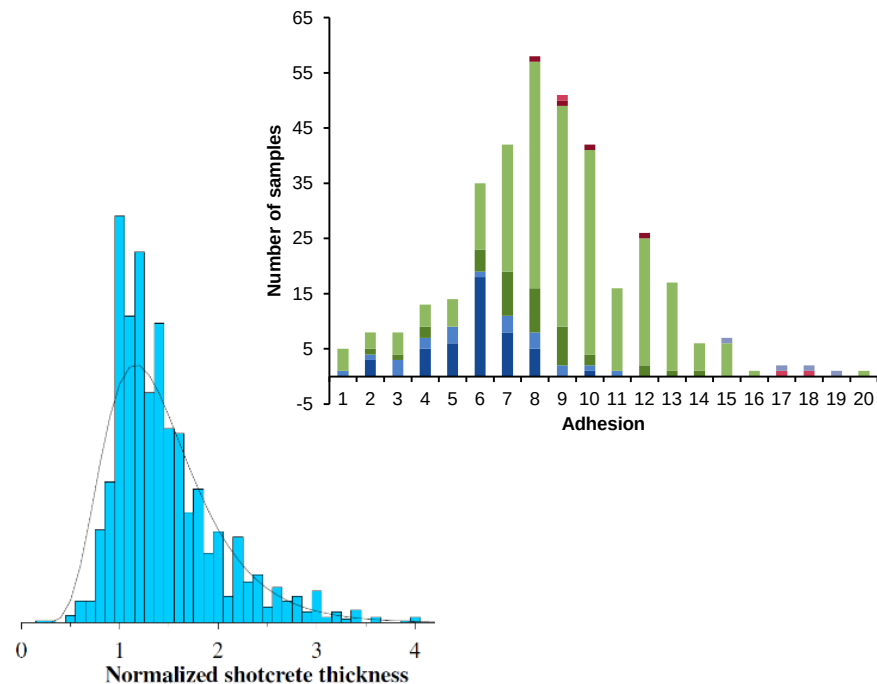
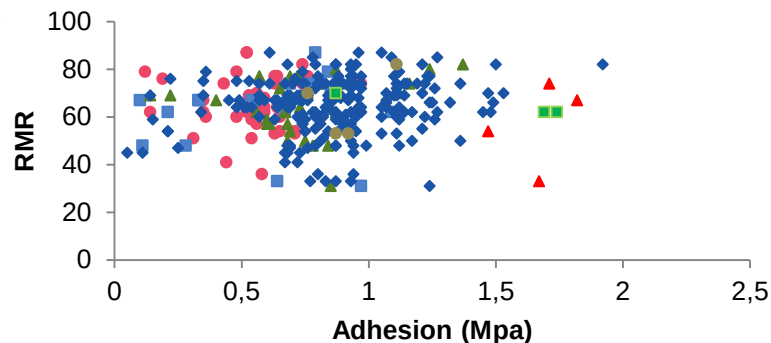
PÅGÅENDE ARBETE- BLOCKSTABILITET MELLAN BERGBULTAR

PRELIMINÄRA RESULTAT FRÅN CITYBANAN

**VIDHÄFTNINGEN I GRÄNSYTAN BERG-
SPRUTBETONG ÄR STÖRRE ÄN VAD
SOM VANLIGTVIS ANTAS.**

**INGEN KORRELATION KAN OBSERVERAS
MELLAN BERGKVALITET OCH
VIDHÄFTNING. DETTA MOTSÄGER DAGENS
ANTAGANDE OM ATT NEGLEGERA
VIDHÄFTNINGEN VID DÅLIG BERGKVALITET
(RMR MINDER ÄN 50).**

**DEN APPLICERADE
SPRUTBETONGTJOCKLEKEN
ÖVERSKRIDER DEN ERFORDERLIGA MED I
MEDELVÄRDE MINST CA 20-30%.**



**VID DEN SISTA 1% AV FALLEN NÄR VI
HAR MER KOMPLEXA GEOLOGISKA
FÖRHÅLLANDEN, HUR KAN
TILLFÖRLITLIGHETSBASERAD
DIMENSIONERING AV ANVÄNDAS FÖR
ATT TA HÄNSYN TILL OSÄKERHETER?**



FOTO FRÅN FÖRBIFART STOCKHOLM, JOHANNELUND.
PASSAGE UTAN BERGTÄCKNING OCH FÖRSTÄRKNING
MED RÖRSKÄRM.



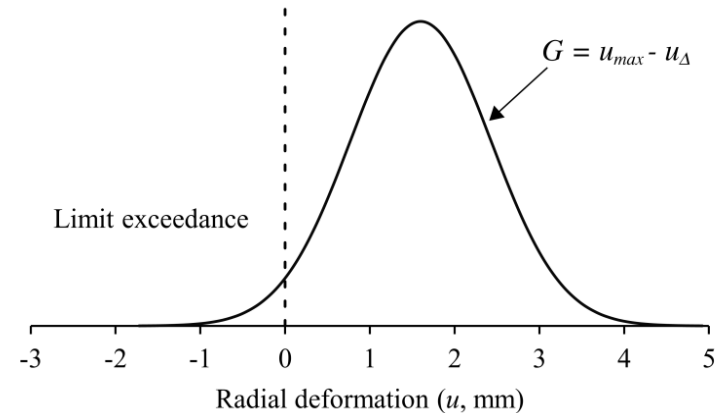
FALL II: OBSERVATIONSMETODEN VID DIMENSIONERING AV TUNNELFÖRSTÄRKNING I ETT TILLFÖRLITLIGHETSBASERAT RAMVERK

VID MER KOMPLICERADE FÖRHÅLLANDEN SÅ KAN BETEENDET VARA SVÅRT ATT FÖRUTSE, DÄRFÖR ÄR OBSERVATIONER EN NÖDVÄNDIG DEL.

MEN I OBSERVATIONSMETODEN SÅ ÄR SÄKERHETEN I PRINCIP OKÄND.

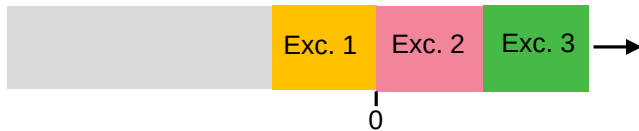
HUR KAN DETTA HANTERAS?

VI FÖRESLÅR EN TILLFÖRLITLIGHETSBASERAD METODIK.

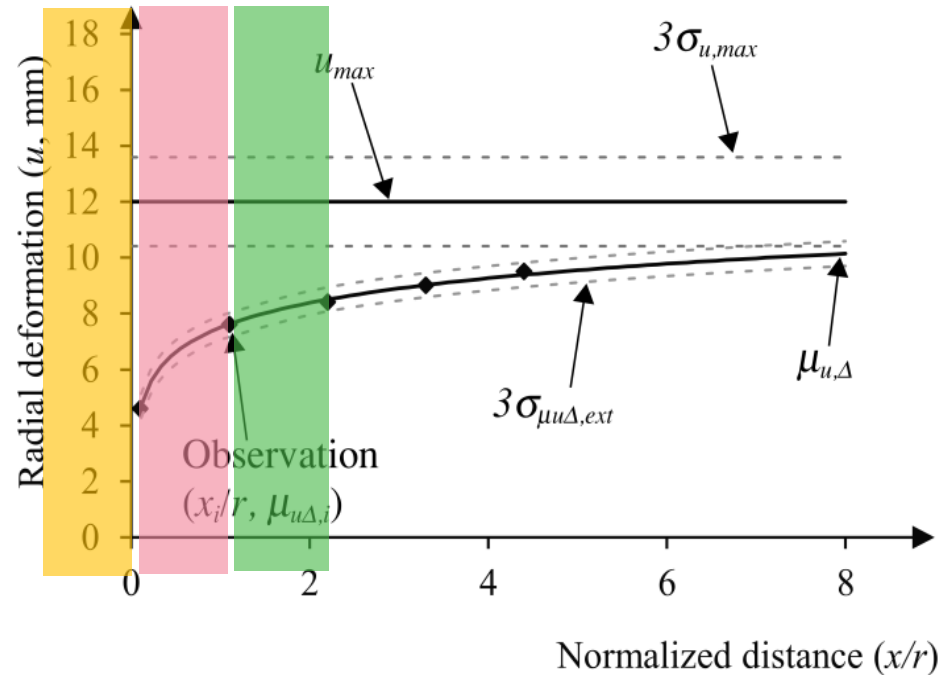


FALL II: OBSERVATIONSMETODEN VID DIMENSIONERING AV TUNNELFÖRSTÄRKNING I ETT TILLFÖRLITLIGHETSBASERAT RAMVERK

TUNNEL FRAMDRIFT



- VI FÖRESLÅR ANVÄNDADET AV EN **TÖJNINGSBASERAD** GRÄNSFUNKTION.
- DETTA MÖJLIGÖR BÅDE UPPFÖLJNING AV DEFORMATIONER **OCH** BERÄKNING AV BROTTSSANNOLIKHET.
- BASERAT PÅ BAYESIANSK UPPDATERING AV OBSERVAREADE DEFORMATIONER OCH EXTRAPOLERING SÅ KAN VI FÖRUTSPÅ DE SLUTLIGA DEFORMATIONERNA I ETT **TIDIGT** **SKEDE** OCH **SÄTTA IN** EVENTUELLA **NÖDVÄNDIGA ÅTGÄRDER**, INNAN GRÄNSEN ÖVERSKRIDS.





FRAMTIDA UTMANINGAR

- BESKRIVNING AV **VARIATION** HOS **INDATA PARAMETRAR** (PÅGÅENDE ARBETE MED DATA FRÅN TRAFIKVERKET)
- FASTSTÄLLANDE AV **VILLKORLIG SANNOLIKHETEN ATT BLOCKET EXISTERAR** (PÅGÅENDE ARBETE MED SKB OCH SLUTFÖRVARINGEN)
- HUR HÄNSYN SKALL TAS TILL **MODELLOSÄKERHETER I ANALYTISKA MODELLER?**
- **DEFINIERING AV BROTT OCH GRÄNSER FÖR ACCEPTABELT BETEENDE?**
- KOMBINATION AV **NUMERISKA OCH TILLFÖRLITLIGHETSBASERADE BERÄKNINGAR** (PÅGÅENDE ARBETE MED DOKTORAND ANDREAS SJÖLANDER PÅ BETONGAVDELNINGEN)



TILLGÄNGLIG LÄSNING FÖR DE SOM ÄR INTRESSERADE

Johansson F, Bjureland W, Spross J (2016) **Application of reliability-based methods to underground excavation in rock, BeFo report 155.**

TILLGÄNGLIG PÅ: [www. Befoonline.org](http://www.Befoonline.org)

Bjureland W (2017) **On Reliability-based design of rock tunnel support.** Licentiate thesis.

TILLGÄNGLIG PÅ: www.kth.diva-portal.org

LICENTIATSEMINARIUM 18 MAJ KLOCKAN 13.00