

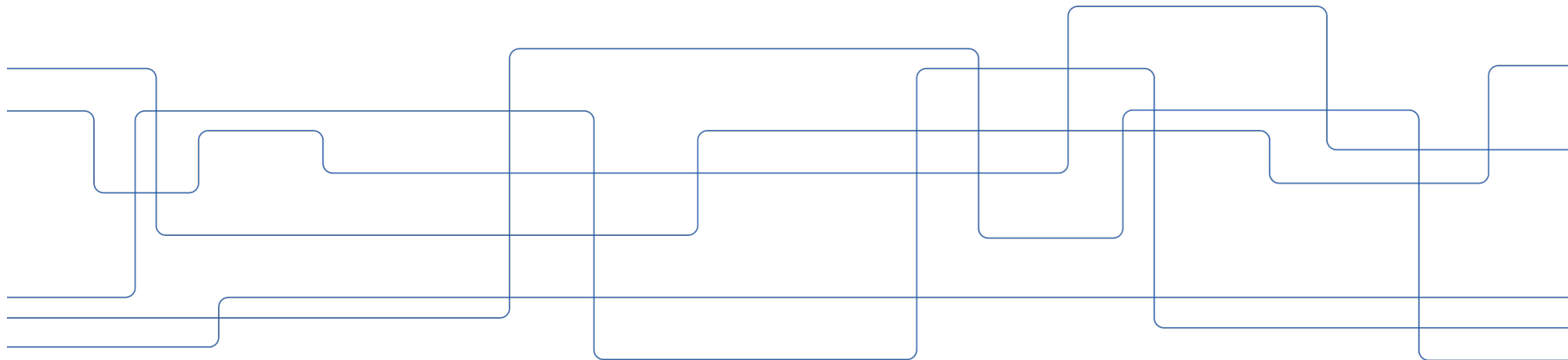


BIG webinarium: Beslutsteori i geotekniken

24 mars 2023

Johan Spross, KTH Jord- och bergmekanik

Elizabeth Bismut, Dafydd Cotoarbä, Daniel Straub, TUM Engineering risk analysis group



Beslutsteori?

Beslutsteori handlar om hur man hittar det bästa beslutet, när det finns osäkerheter som påverkar utfallet.

- Den rationella beslutsfattaren ska utvärdera sannolikheten och värdet av varje möjligt utfall och sedan välja det alternativ som maximerar nyttan.

Vanliga antaganden:

- Ofta används von Neumann & Morgensterns (1944) hypotes om att det är *nyttans väntevärde* (genomsnittet) som ska jämföras.
- Ofta antar man att maximerad nytta kan översättas med minimerad kostnad.



Blaise Pascal tänkte beslutsteoretiskt redan 1659



Bakgrund

Inom geotekniken fattar vi många beslut som potentiellt har stora konsekvenser (kostnader), trots att vi ofta hanterar stora osäkerheter. Exempelvis:

- Val av designlösning och konstruktionsmetod (utformning och utförande)
- Val av verifieringsmetod (observationsmetod eller konventionell beräkning)
- Utformning av underhållsplaner (inspektionsintervall och åtgärdsbeslut, etc.)

Givet dessa stora kostnader som har stora osäkerheter, vore det inte intressant att veta vad det optimala beslutet är?

➤ **Förstudie: Beslutsteori i geotekniken**

KTH tillsammans med TUM, München

- Utfört 2020–2022.



Varför förstudie?

Mycket lite forskning finns inom geotekniska tillämpningar



Syfte med förstudien

Förstudien syftar till att undersöka potentialen i bayesiansk beslutsteori för att lösa praktiska geotekniska dimensioneringsfrågor, särskilt avseende optimering av konstruktionens dimensioner utifrån ett riskperspektiv.

Förstudien ger:

- En översikt över hur bayesiansk beslutsteori principiellt kan tillämpas på geoteknisk dimensionering
- Ett omfattande praktiskt beräkningsexempel som är tänkt att ge läsaren mer detaljerad insikt i potentialen med metoden.

Fokus ligger på en särskild typ av problemformulering, kallat **sekventiellt beslutsproblem**, som författarna bedömt vara särskilt relevant för geotekniska konstruktioner.

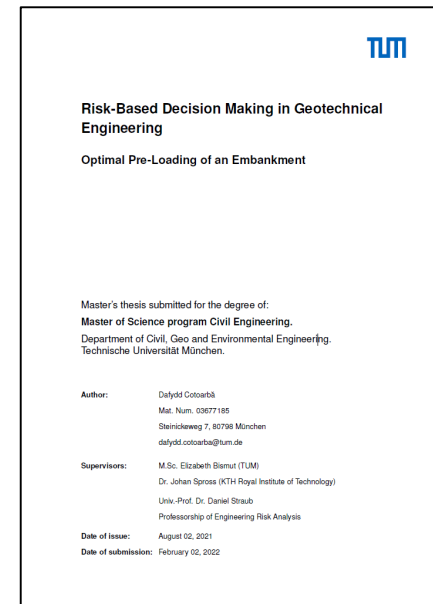


Finansiering och publikationer

Projektet har utförts som en del av Johan Spross vistelse som gästforskare på TUM med medfinansiering från Formas.

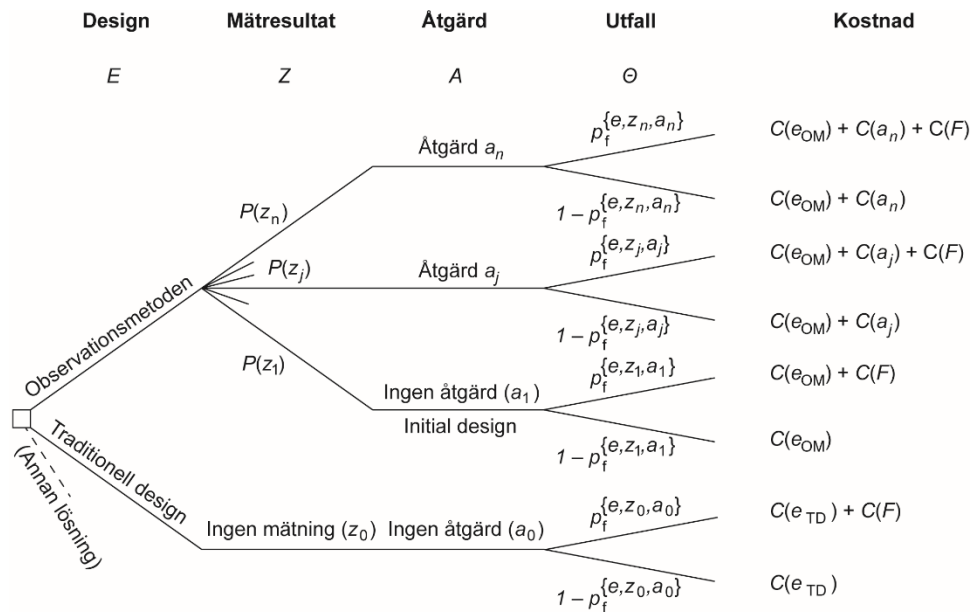
Projektet har resulterat i följande publikationer:

- Spross J., et al. (2022). Beslutsteori i geotekniken: Förstudie. **Teknisk rapport, KTH.** (Under utgivning.)
- Bismut E., et al. (2022). Optimal adaptive decision rules in geotechnical construction considering uncertainty. Submitted to **Geotechnique**.
- Cotoarbă D. (2022). Risk-Based Decision Making in Geotechnical Engineering: Optimal Pre-Loading of an Embankment. **Master thesis, TUM.**



Olika typer av beslutsteoretiska analyser

- **A priori-analysen:** den vanliga dimensioneringsuppgiften att välja den mest kostnadseffektiva lösningen.
- **A posteriori-analysen:** analys av effekten av en utförd åtgärd, t.ex. påverkan på brottsannolikhet givet tillkommen kunskap från ytterligare undersökningar.
- **Preposteriori-analysen:** Analys av om det är värt att utföra ytterligare undersökningar jämfört med andra möjliga åtgärder – ska vi göra mer undersökningar eller förstärka konstruktionen direkt?
- **Sekventiella beslutsproblem:** mer om dem på nästa slide



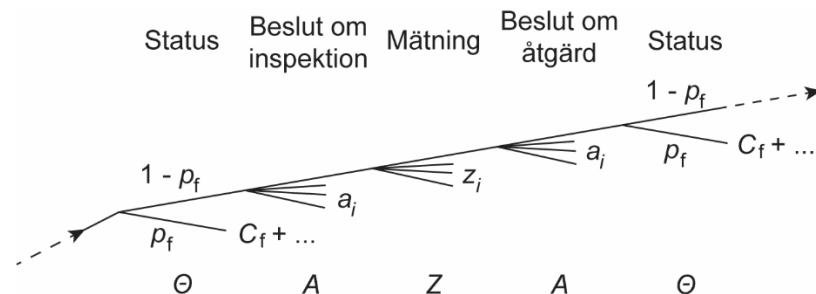
Figur: Preposteriori-analys

Sekventiella beslutsproblem: POMDP

I många geotekniska tillämpningar fattas flera beslut efter varandra, *i sekvens*.

Exempel: när en konstruktion övervakas genom upprepade mätningar.

- Vilken typ av inspektion ska genomföras?
- När ska inspektionen genomföras?
- Ska åtgärd utföras givet mätresultatet?



Detta kan teoretiskt beskrivas som den "Partiellt observerbara Markovbeslutsprocessen", förkortat POMDP på engelska. Denna svarar på:

- Vilken är den optimala övervaknings- och åtgärdsstrategin för att minimera kostnaderna?



Förutsättningar för optimeringen

Principiellt behöver vi ha tillgång till följande:

- Kostnadsmodeller för alla ingående kostnader – t.ex. byggnation, skadekostnad, kostnad för mätprogram...
 - Prediktionsmodeller som förutsäger hur konstruktionen förväntas bete sig – t.ex. sättning över tid, materialnedbrytning ...
 - Modellerna ska beskriva *sannolikheten* för olika möjliga mätresultat över tid och beakta modellfel, mätfel, osäkerheter av bristande kunskap, m.m.
- **Syftet med POMDP-analysen blir att ta fram en uppsättning regler som kan guida beslutsfattaren till det optimala beslutet efter varje ny observation.**

Heuristiska strategier förenklar optimeringen

Att hitta den teoretiskt optimala sättet att utföra mätningar och åtgärder är ogörligt.

- Det går inte att analysera och jämföra alla teoretiskt möjliga alternativ.

Lösningen:

Vi förenklar beslutsproblemet genom att bara beakta en begränsad uppsättning förenklade beslutsregler eller procedurer – kallade *heuristiker*.

- Vi *parametriserar* strategierna genom att beskriva dem med parametrarna $\mathbf{w} = [w_1, w_2 \dots]$
- Hitta de optimala \mathbf{w}^* för varje strategi, $S_w^{(i)}$.
- Välj den strategi som har lägst kostnad av de analyserade.

Exempel på heuristiska strategier för potthålsinspektion

- $S_w^{(1)}$: Inspektion sker den första vardagen i varje tjälfri månad. Om inspektionen upptäcker fler än w_1 potthål som okulärt bedöms vara bredare än ca 40 cm, ska vägen hyvlas till ett djup av 6 cm.
- $S_w^{(2)}$: Inspektion sker var w_1 :e dag, helgdagar oräknade, under den tjälfria delen av året. Om detta är en dag när inspektion ska ske, inspektera potthålen i vägen. Om fler än w_2 potthål är djupare än w_3 centimeter, ska vägen hyvlas till djupet w_4 centimeter.

Metoder för att lösa optimeringsproblemet

För att hitta de optimala värdena på våra parametrar $\mathbf{w} = [w_1, w_2 \dots]$ finns flera metoder tillgängliga.

Totalsökning är enklast att förstå:

- Välj möjliga största och minsta värde på parametrarna i $\mathbf{w} = [w_1, w_2 \dots]$.
- Diskretisera varje parameter, d.v.s. dela upp i små bitar: $w_1 = 0.1, 0.2, \dots$; $w_2 = 2.2, 2.3, \dots$
- Beräkna kostnaden som associeras med varje möjlig kombination av alla w -värden i \mathbf{w} .
- Optimala värden i \mathbf{w} ges av den kombination som har lägst kostnad.

➤ Men kräver stor beräkningskraft för det är ju många kombinationer.

➤ Med smartare simuleringsmetoder kan man minska antalet beräkningar.
Korsentropimetoden!

Exempel: Hur hög ska överlasten vara? Och när mäta?

En 23 m bred, 1,2 m hög och 500 m lång vägbank ska anläggas på 15,5 m lös lera med överlast och vertikaldränering. Hur hög överlast behövs?

Kostnader: byggkostnad, förseningsvite och sättningsskadekostnader

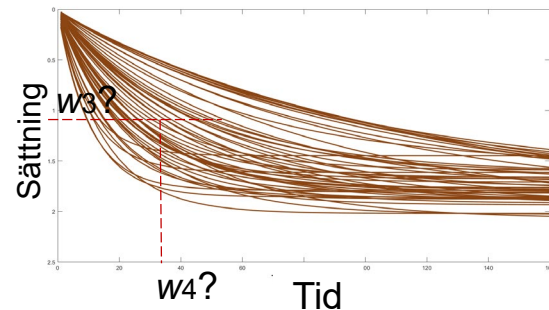
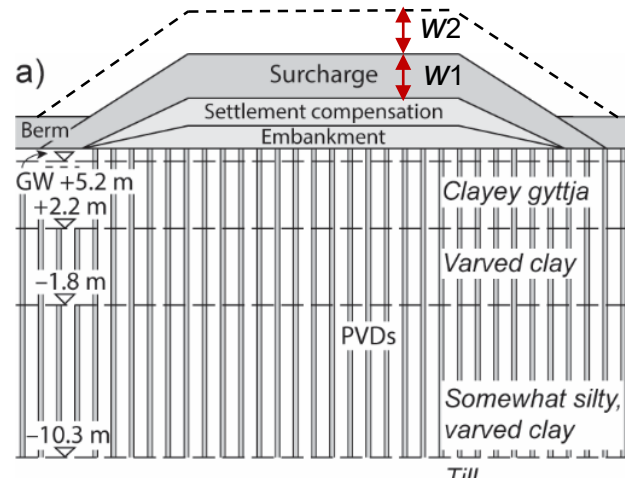
Sättningsmodell: Spross & Larsson (2021), en probabilistisk sättningsmodell för överlaster

Tre beslutsscenarioer:

DS #1: Enbart initial höjd, w_1 , på överlast söks.

DS #2: Möjlighet att mäta sättning efter halva liggtiden (36 v.) och då höja överlasten w_2 meter om sättning $< w_3$.

DS #3: Möjlighet att mäta sättning efter w_4 veckors liggtid och då vid behov höja överlasten w_2 meter om sättning $< w_3$.



Beräkningsresultat

		DS #1	DS #2	DS #3
Parameter	Unit	Heuristic 1	Heuristic 2A	Heuristic 3
$h_0 = w_1$	[m]	1.05	0.98	0.95
$h_1 = w_2$	[m]	-	1.06	1.81
$s_{th} = w_3$	[m]	-	0.71	0.37
$t_1 = w_4$	[weeks]	-	36 ^(*)	20
Expected cost	[10 ⁶ SEK]	8.11	6.54	6.06
Std. dev. cost	[10 ⁶ SEK]	7.4	6.3	5.6

(*) Value is not optimized but fixed

Minst kostnad:
Optimalt beslut!

Man får också fram detaljerad information om
t.ex. vilka kostnader som bidrar mest till totalen



Slutsatser av förstudien

- Beslutsteoretiska analyser har stor potential att bidra till ett beslutsfattande som i ett långsiktigt perspektiv bättre hushållar med tillgängliga medel.

Fortsatt forskning:

- Undersökning av hur andra geotekniska dimensioneringsfrågeställningar kan beskrivas som beslutsteoretiska problem.
- Undersökning av hur underhållsplaner för geotekniska konstruktioner kan optimeras av beslutsteoretiska analyser. Sådana planer bör kunna beskrivas som sekventiella beslutsproblem.
- Utveckling och validering av kostnadsmodeller för vanliga kostnadstyper som uppkommer i geotekniska byggprojekt.
- Fortsatt forskning på probabilistiska modeller för att beskriva markens beteende före, under och efter byggnation.

CHAT

Webbinarium 2023-03-24: Beslutsteori

[12:02] Gunilla Franzén

Skriv gärna frågor/kommentarer i chat under tiden som Johan presenterar!! Så att du inte glömmer din fråga

[12:26] Anders Beijer-Lundberg

Kan man optimera flera parametrar, som både tid och kostnad samtidigt?

[12:27] Göran Sällfors

Hur bestämmer du variationskoefficienten för de ingående geotekniska parametrarna?

[12:29] Minna Karstunen

Also the importance of different geotechnical parameters change in time, stress level and space.

[12:32] B (Gäst)

Tack för bra presentation! Blir begripligare och begripligare för oss oinvigda! Skulle du/ni kunna analysera med tillförlitlighet nästa verkliga projekt hos Trafikverket med förbelastning med överlast?

Från Bosse Vesterberg....

[12:44] Clifford, Fredrik

Tack för en väldigt bra och intressant presentation 🙌🏻

[12:45] K.Viking TrV (Gäst)

Tack