

Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 1:2022

Geotekniska riskkartor

Rapport från workshop den 16 september 2021

Linköping 2022

Förord

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) är en allsidig sammansatt ideell förening, där de flesta yrkesverksamma geotekniker och företag i branschen är representerade, inklusive beställare av geotekniska utredningar. SGF anordnar regelbundet workshoppar och seminarier för att bidra till vidareutbildning och kompetenshöjning hos praktiserande geotekniker.

Detta notat ger ett sammandrag av de diskussioner som fördes på en workshop om geotekniska riskkartor den 16 september 2021. På SGF:s hemsida finns även föredragen, som introducerade diskussionsämnena, att titta på som videor.

Notatet har författats av Lars Olsson (Geostatistik) och Johan Spross (GeoSpross / KTH) i SGF:s Arbetsgrupp Risk, varefter den har godkänts av SGF:s styrelse. Ett särskilt tack till föredragshållarna för deras insatser vid workshop och granskning av notatet.

Svenska Geotekniska Föreningen

Linköping i mars 2022

Innehållsförteckning

1	<u>INTRODUKTION.....</u>	1
1.1	Användning av riskkartor inom geoteknik	1
1.2	Innehållet i utförd workshop	1
1.3	Syfte med notatet	2
2	<u>VAD ÄR EN RISKKARTA?</u>	3
2.1	Risk på en karta.....	3
2.2	Riskkartans grundläggande funktion	3
2.3	Riskens komponenter.....	4
2.4	Scenariot och hotet.....	4
2.5	Konsekvenser.....	4
2.5.1	Sårbarhet	4
2.5.2	Exponering.....	4
2.5.3	Bedöma konsekvensernas storlek	4
2.6	Troligheter	5
2.6.1	Fysikaliska beräkningar av sannolikhet.....	5
2.6.2	Erfarenhetsdata (ingenjörserfarenhet).....	5
2.6.3	Historiska data	5
2.6.4	Observerbara signaler (indikatorer)	5
2.7	Sammanvägning av komponenterna till risk	7
2.8	Användning av riskkartor	8
2.8.1	Samhällets acceptabla risknivåer	8
2.8.2	Ekonomiska överväganden	9
2.9	Krav på riskkartor	9
3	<u>EXEMPEL PÅ RISKKARTOR</u>	11
3.1	Skredriskkartor.....	11
3.1.1	Probabilistiska riskkartor	11
3.1.2	Skredbenägenhetskartor med artificiella neuronät (AI).....	13
3.2	Riskkartor för stranderosion	15
3.3	Riskkartor för översvämning	16
3.4	Utmaningar med att kartera risker – användarperspektivet	16

3.5	Digital framställning av riskkartor.....	17
4	<u>SAMMANFATTNING AV GRUPPDISKUSSIONER</u>	18
4.1	Användningsområden för riskkartor och andra alternativ	18
4.2	Vem läser riskkartor?.....	18
4.3	Utmaningar i användningen av riskkartor	18
4.4	Utvecklingsbehov inom geotekniska riskkartor	19
5	<u>FÖRSLAG TILL UTVECKLINGSPROJEKT.....</u>	20
5.1	Riskkartor för kommunal planering och lovgivning.....	20
5.2	Andra sannolikhetsbedömningsmetoder än beräkningsbaserade modeller	20
5.3	Förbättra användarvänligheten – förstår läsaren vad hen ser?.....	20
6	<u>REFERENSER.....</u>	21

1 INTRODUKTION

1.1 Användning av riskkartor inom geoteknik

Riskhantering är en viktig aktivitet för att nå hög kvalitet i geotekniskt byggande och andra geotekniska aktiviteter. Om riskhanteringen berör stora områden kan det ofta vara lämpligt att redovisa risknivåer på en karta. Ett exempel är skredriskkartor, som Statens geotekniska institut (SGI) arbetat fram för flera geografiska områden i Sverige.

Riskbegreppet kan dock ofta vara svårt att förstå, så det är lätt att användaren av en riskkarta tolkar innehållet felaktigt. Det finns inte heller något standardiserat sätt att göra kartorna, vilket kan leda till misstag för den som stöter på många olika riskkartor. SGF har därför sett ett behov av att belysa detta område och har genomfört en workshop, där olika utvecklare av riskkartor presenterade sin syn på utmaningarna i att tillverka och tolka riskkartor. Inbjudan att delta i workshopen gick ut till SGF:s medlemmar.

1.2 Innehållet i utförd workshop

Workshopen anordnades den 16 september 2021 av SGF:s arbetsgrupp (AG) Risk i samarbete med AG Stranderosion och AG CBGR (CAD / BIM / GIS / Redovisning). Workshopen hade ca 30 deltagare och behandlade:

- Dagens behov och användning av riskkartor i olika sammanhang och för olika intressenter
- Olika sätt att redovisa risk på kartor:
 - För- och nackdelar, inkl. svårighet att läsa och tolka informationen
 - Koppling till GIS och BIM
- Identifiering av faktiskt utvecklings- och utbildningsbehov i geoteknikbranschen avseende användning av riskkartor

Workshopen innehöll dels ett antal presentationer, dels gruppdiskussioner i mindre grupper med redovisning och gemensam diskussion. Workshopen modererades av Johan Spross (GeoSpross AB / KTH). Följande presentationer gavs.

Tema

Riskkartor allmänt

Exempel på riskkartor som används idag

Skredriskkartor

Stranderosion

Utmaningar med att kartera risker

Översvämning

Kartritning digitalt

Presentatör

Lars Olsson, Geostatistik

Karin Odén, SGI

Per Danielsson, SGI

Anette Björlin, SGI

Nancy Joy Lim, Högskolan i Gävle

Davide Bonfante, Tyréns

De inspelade presentationerna och föredragshållarnas material finns upplagt på SGF:s hemsida: www.sgf.net

1.3 Syfte med notatet

Detta notat ger en översikt över de ämnen som presenterades och diskuterades på workshopen. Notatet ger också en skriftlig sammanfattning av de gruppdiskussioner som fördes under workshopen. Baserat på dessa diskussioner har vi (notatförfattarna) tagit fram förslag på några utvecklingsprojekt som geoteknikbranschen kan arbeta vidare med, kopplat till användningen av geotekniska riskkartor.

2 VAD ÄR EN RISKKARTA?

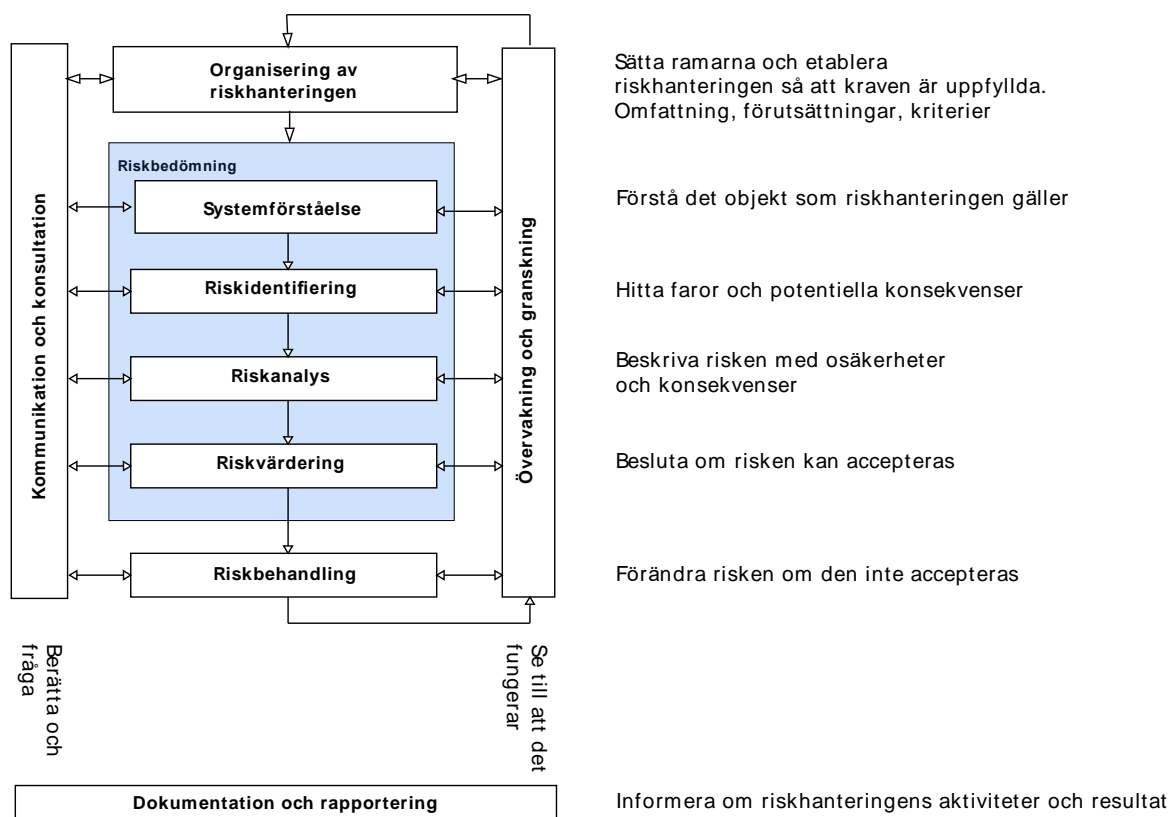
2.1 Risk på en karta

Riskkartan är en väldigt speciell typ av karta, som på ett till synes enkelt sätt ger relativt komplex information: den visualiserar riskens storlek på olika platser. Problemet är att ”risk” i sig är ett abstrakt begrepp, så en precis tolkning av kartan är inte så enkel som den först kan te sig. Detta kan leda till att läsaren av kartan inte gör den tolkning som tillverkaren avsåg.

Det finns också kartor som ibland sägs visa en risk, fast de inte gör det i egentlig mening. Ett exempel är riskkartor för gräsbrand, som i grunden visar var det finns nödvändiga rekvisit (villkor) för att en gräsbrand skulle kunna sprida sig om den uppstår, men som inte tar med sannolikheten att den uppstår. Det gäller alltså att som kartmakare vara mycket tydlig med vad kartan visar och inte visar.

2.2 Riskkartans grundläggande funktion

En riktig riskkarta visar egentligen resultaten av en riskbedömning, där man för en viss identifierad risk analyserat riskens storlek i ett geografiskt område, och därefter visualiserat risken i form av en färgkodning. Figur 1 visar hur detta tar sig ut vid riskhantering i enlighet med ISO 31000. För att få fram en karta görs riskbedömningen givetvis gjorts för ett tillräckligt stort antal punkter (eller delområden) som man sedan kan interpolera emellan. Riskkartans grundläggande funktion är att visa risken på olika platser, så att man kan fatta ett beslut om det krävs åtgärder (”riskbehandling”). Den är alltså ett beslutsunderlag för riskägare (beslutsfattare).



Figur 1 Arbetsgång vid riskhantering (tolkat från ISO 31000)

2.3 Riskens komponenter

Begreppet ”risk” är långt ifrån entydigt och det finns ett antal olika definitioner. I detta här notatet, liksom vid workshopen, låter vi ”risk” syfta på något oönskat (motsatsen kallas ofta chans eller möjlighet).

Risken har tre komponenter:

- Scenariot (beskrivningen av hot och möjliga konsekvenser)
- Konsekvens storlek om risken inträffar
- Troligheten att risken inträffar

2.4 Scenariot och hotet

Som vid all riskhantering är det viktigt att definiera riskscenariot precist och entydigt, så att det inte kan bli missförstånd om vad riskkartan visar. Avgränsningen av sammanhanget som riskhanteringen, och därmed riskkartan gäller, är väsentlig: man behöver definiera både kategorin av hot (skred, översvämningar, etc.) och vilka kategorier som hotas (människor, miljö, samhällsviktiga funktioner, ekonomi och i viss mån även goodwill och förtroende.)

Hoten kan också innehålla dominoeffekter så att ett realiserat hot, t.ex. ett skred, får följdefekter, såsom avskurna vägar eller uppdämningar i vattendrag med översvämningsskador. I scenariot kan därför ingå en beskrivning av möjliga händelsekedjor som leder fram till en eller flera konsekvenser.

2.5 Konsekvenser

Konsekvensernas storlek beror på två huvudfaktorer: sårbarhet och exponering.

2.5.1 Sårbarhet

Vilka sårbara objekt finns i det hotade området och hur sårbara är de för det aktuella hotet? Exempel: hur känsliga för påverkan är hus i ett skredhotat område, eller hur enkelt kan vatten ta sig in i förråd i källare där översvämning kan förekomma? Finns det många personer i hotade områden? Kan de själva bidra med skademinskande åtgärder?

2.5.2 Exponering

I analysen av exponering tittar man på hur ”utbredd” hotet är i termer av tid och area. Hur stor är varaktigheten av en översvämning i ett givet område? I vilken omfattning blir de hotade kategorierna utsatta och påverkade av hotet?

2.5.3 Bedöma konsekvensernas storlek

Hur skall man identifiera och bedöma sårbarhet och exponering för att kunna ge en uppskattning av konsekvenserna? I basen finns ingenjörstänkande (kreativt tänkande), modeller, beräkningar och uppgifter om sådant som inträffat tidigare. Men det finns ju många osäkerheter i detta, så en deterministisk beskrivning av konsekvenserna kan bli missvisande. Man blir ofta tvungen att ta med troligheter i beräkningarna och redovisa flera konsekvensnivåer med tillhörande grad av trolighet. Man måste här alltså skilja på troligheten att risken inträffar (t.ex. att det blir ett skred av någon storlek), och troligheten att effekten blir en viss allvarlighets-

grad av konsekvensen (t.ex. troligheten att skredet drar med sig byggnad X men inte vägsträcka Y). Att använda sådant som ”värst möjliga” eller ”värsta tänkbara” konsekvenser kan leda fel och bör bara användas vid friklassning av områden.

2.6 Troligheter

Ett lämpligt sätt att beskriva troligheter är att använda sannolikheter. För geotekniska ändamål är subjektiva (bayesianska) sannolikheter att föredra då de blir enklare att tolka och förstå än frekventistiska sannolikheter, som lärs ut på grundkurser i statistik. Sannolikheten för en händelse, t.ex. att ett specificerat hot faller ut, kan fås på olika sätt:

- Ur fysikaliska beräkningar
- Erfarenhetsdata (ingenjörserfarenhet)
- Ur historiska data
- Observerbara tecken på hot:
 - Weight of evidence / LR
 - GIS (via AI)

2.6.1 Fysikaliska beräkningar av sannolikhet

Man kan ibland med hjälp av fysikaliska modeller beräkna sannolikheten för att ett hot skall realiseras. Ett exempel är beräkning av skredsannolikhet som kan baseras på en konventionell stabilitetsberäkning, men man måste då givetvis beskriva de osäkerheter som finns i indata med statistiska termer och göra beräkningarna med metoder som FORM (β -metoden), punkt-skattningsmetoden eller Monte Carlo-simulering.

2.6.2 Erfarenhetsdata (ingenjörserfarenhet)

Sannolikheter kan åsättas subjektivt utifrån erfarenhetsdata, se till exempel Baecher (2019), Olsson (2000), Roberds (1990). Detta gäller både sannolikheter för en enstaka händelse eller en statistisk fördelning. När det gäller kartering kan detta bli arbetskrävande, om man inte kan definiera större områden som är likartade.

2.6.3 Historiska data

I vissa områden och för vissa typer av hot kan det finnas historiska data som kan användas för att göra en skattning av sannolikheten. Det krävs dock relativt mycket data för en tillförlitlig skattning. Ett problem är att avgöra om platserna där hot tidigare realiserats är tillräckligt lika det område som man ska tillverka kartan för. Här kommer alltså ingenjörserfarenhet att behöva användas i bedömningen. Ett speciellt fall är beräkning av likelihoodkvoter ur data, vilket diskuteras i nästa avsnitt.

2.6.4 Observerbara signaler (indikatorer)

Det kan finnas tecken i naturen som är varningssignaler och som kan användas för att bedöma troligheten av en händelse. Det kan för en skredrisk till exempel gälla en faktor som ”kraftig slänthlutning”. Man måste då på något sätt bestämma vilken tyngd som de olika faktorerna skall ha. Man talar ofta om ”weights of evidence”, en term som även används i juridiken om vittnesmål.

Det finns olika metoder att bedöma dessa vikter, till exempel sannolikhetsbaserade metoder och metoder baserade på AI. En listning av metoderna har gjorts av Shahri, m.fl. (2019). En tillämpning på skredfara finns i Neuhäuser & Terhorst (2007), där även ytterligare några andra metoder diskuteras. Två av metoderna tas upp här, fast kortfattat: expertbedömningar och användning av neurala nät (AI)

Expertbedömningar är en kunskapsbaserad metod där experter direkt ger vikter åt olika faktorer. Två möjliga angreppssätt är att använda likelihoodkvoter eller att använda en rangordningsmetod, exempelvis AHP (Analytic Hierarchy Process). En diskussion om detta finns till exempel i Olsson & Berggren (2010) och Daneshvar (2014).

Likelihoodkvoter

Likelihoodkvoten beskriver hur troligt det är att se indikatorn om hotet finns, respektive inte finns. Inom geotekniken har detta använts exempelvis för riskbedömningar av dammtypen invallningar, se Baecher (2017), Baecher (2019) och Margo m.fl. (2009). Experterna får då svara på frågor av typen:

- ”Om det finns ett hot om skred, hur stor är sannolikheten att se indikatorn ’kraftig släntlutning’?”
- ”Om det inte finns ett hot om skred, hur stor är sannolikheten att ändå se indikatorn?”

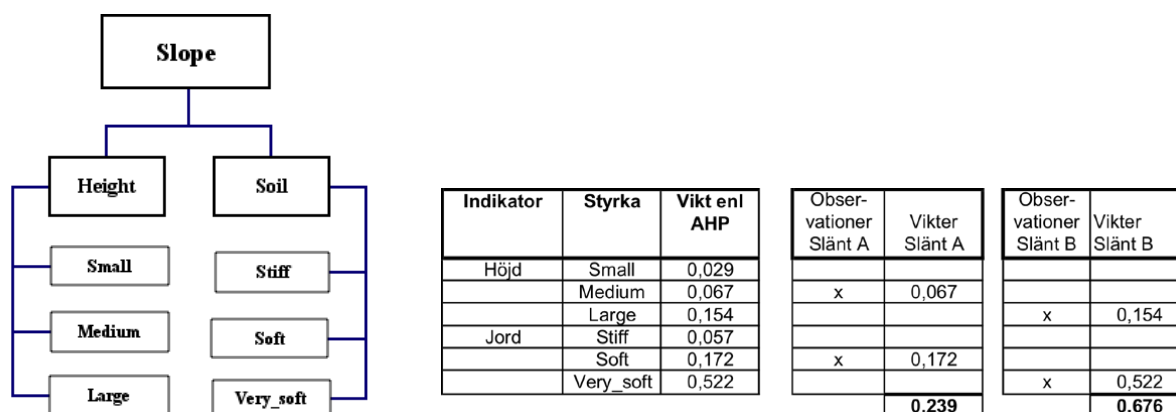
Metoden med likelihoodkvoter har fördelen att man kan ange troligheten som en sannolikhet. Utvärderingen görs med användandet av bayesiansk statistik och likelihoodkvoter (LR). Likelihoodkvoten har fördelen att den på ett transparent sätt återspeglar experternas (och därmed förhoppningsvis branschens) kunskap. En diskussion kring användandet av likelihoodkvoter finns i Olsson & Taube (2021).

AHP-metoden

Vid AHP-metoden jämför man olika indikatorer parvis mot varandra och gör en bedömning av vilken som är effektivast. Ett exempel hämtat ur Olsson & Berggren (2010) visas i Figur 2. I analysen jämför man parvis alla de olika faktorerna i den hierarkiska strukturen:

- ”Vilken faktor har störst inverkan på släntstabiliteten: en stor höjd, eller en mycket lös jord?”

Jämförelsen görs på en särskild skala (1 – 9) och utvärderingen görs vanligen med särskilda program. Som resultat får man vikterna för de olika faktorerna. Man måste här tänka på dels att det finns ett subjektivt inslag när det gäller val av indikatorer, dels att AHP-metoden inte ger troligheten i sannolikheter. Istället får man en skredbenägenhetskarta.



Figur 2 Illustrerande exempel på AHP-struktur och utvärdering (Olsson & Berggren 2010)

Användning av AI-metoder

Ett annat sätt att ge vikter åt olika indikatorer är att låta en AI-metod, till exempel neurala nät, ta fram vikterna genom träning mot en databas med områden som av experter bedömts som farliga respektive säkra. En tillämpning på skredbenägenhetskartor finns i Avsnitt 3.1.2. Även här skall observeras att troligheten för skred inte ges som en sannolikhet.

2.7 Sammanvägning av komponenterna till risk

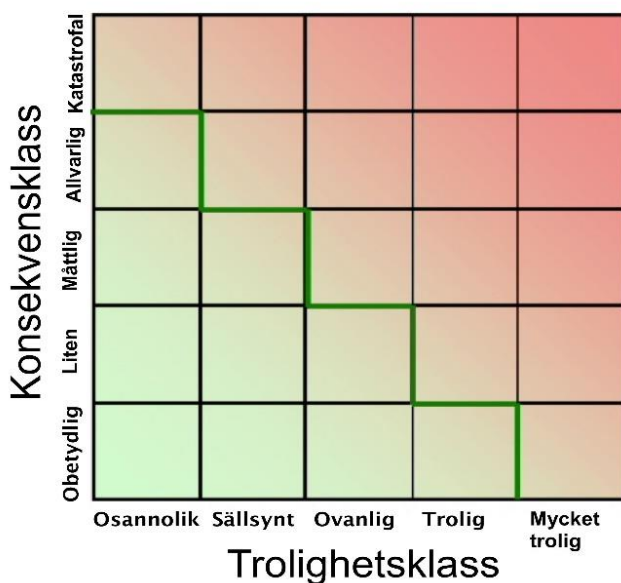
Hur väger man sedan ihop riskens komponenter? Ofta används definitionen

$$Risk = Sannolikhet \times Kostnad,$$

vilket ger ett måttetal för risken. Detta måttetal har dock vissa brister. Ett hot med en konsekvens av 1000 kr och en trolighet av 10 % har samma risk (100 kr) som ett hot med 1000 000 kr i konsekvens och en trolighet av 10^{-4} . Men den stora konsekvensen kanske inte är acceptabel, även om den är mycket mindre sannolik.

Det är mycket bättre att visa komponenterna separat. Ett vanligt redskap är riskmatriser med trolighetsklass och konsekvensklass, se Figur 3. Trolighetsklasser och konsekvensklasser (för olika konsekvenser) som skall användas definieras i lämpliga storheter, för trolighetsklassen ofta som sannolikheter.

I riskmatrisen kan man bedöma hur acceptabel en risk är, eftersom dess plats i matrisen åter speglar kombinationen av trolighet och konsekvens. Ofta har man färgkodat cellerna eller dragit in en gränslinje som stöd för beslutsfattaren. Men på en karta ger det två mått som skall redovisas för varje punkt, vilket är svårt i en tvådimensionell redovisning. En möjlig utväg är att använda en väl kalibrerad riskmatris och låta matrisen styra rekommenderade åtgärder, t.ex. "acceptera risken" och "utred ytterligare" som kan markeras med olika färger på kartan. Mer om riskmatriser allmänt finns i Cox (2008).



Figur 3 Exempel på riskmatris

Som vi sett ovan ger dock inte alla metoder för trolighetsbedömningar av hot svaret som en sannolikhet. Det är då inte givet vad bästa måttet är för det som man vill visualisera på kartan, eftersom "risken" inte enkelt låter sig beräknas. Principiellt bör det vara möjligt att lösligt koppla trolighetsklass till något annat trolighetsmått, till exempel "hög skredbenägenhet", men kalibreringen när det gäller matrisens celler torde bli svår. Givet floran av bedömningsmetoder blir det extra viktigt för kartmakaren att tydligt berätta för kartläsaren exakt vad som visas och hur måttet tagits fram och ska tolkas. Allt som lekmannamässigt kallas "riskkartor" med färger i grönt, gult och rött visar alltså inte nödvändigtvis samma sak.

2.8 Användning av riskkartor

Riskkartor används normalt som kommunikation för att redovisa riskläget för ett område. Huvudsakliga användningen är att tjäna som beslutsstöd där man har att fatta beslut om hur man skall hantera risken. Det finns då tre möjligheter:

- Acceptera risken
- Utred den ytterligare
- Behandla (minska) den

Beslutet kan i dessa fall gälla två aspekter: uppsatta riskgränser och ekonomiska överväganden. Givetvis bygger beslutet på att man kommunicerat risken på ett bra sätt.

2.8.1 Samhällets acceptabla risknivåer

I samhället finns det gränser för vad som är acceptabla risknivåer, som inte får överskridas. De gäller ofta människors liv och hälsa. Ett exempel är dimensioneringsstandarderna Eurokoderna, som i grunden är baserade på ett riskövervägande kring acceptabel brottsannolikhet för

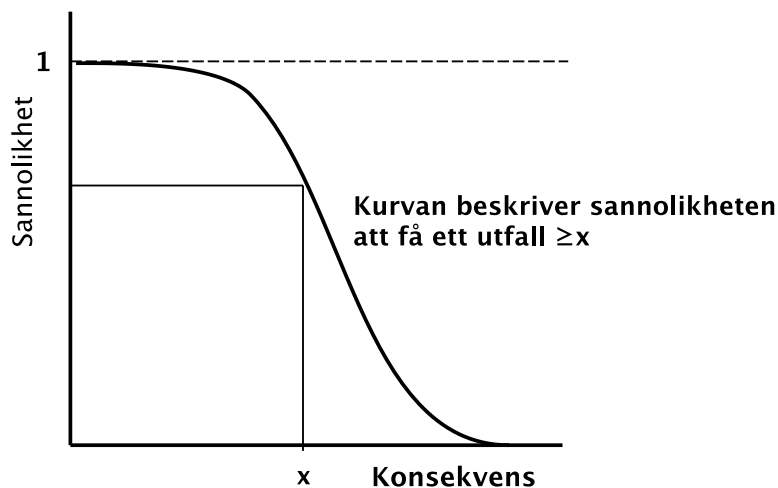
konstruktioner. Här skall påpekas, att vad som skall anses som säkert inte avgörs av ingenjörer, utan det är ett politiskt beslut (Baecher 2021). Ingenjörerna tar fram uppgifter om risknivån för ett objekt så att den kan jämföras med samhällets lagar och normer.

2.8.2 Ekonomiska överväganden

En del beslut om åtgärder baseras inte på acceptabel samhällsrisk utan på ekonomiska överväganden. Det är särskilt vanligt när konsekvensen inte drabbar tredje man, utan bara den egna plånboken. Man kan använda förväntad kostnad som ett beslutskriterium, den påminner om den gamla definitionen av risk:

$$E(\text{Kostnad}) = \sum(P_i \times C_i),$$

där P_i är sannolikheten att en viss kostnad C_i inträffar. Detta kriterium ger dock egentligen ett medelvärde av många skador, när man har en portfölj av hotade objekt. Ett annat och kanske bättre beslutsunderlag är en redovisning av sannolikhet överskrida kostnader av olika storlek, se Figur 4.

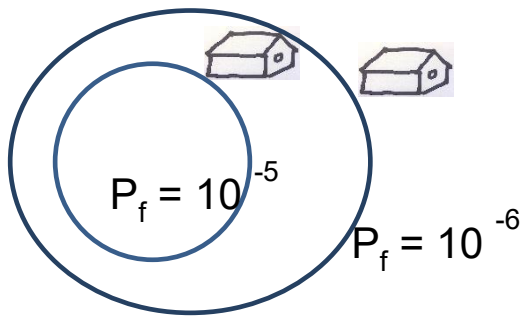


Figur 4 Sannolikhet att överskrida olika kostnadsnivåer

2.9 Krav på riskkartor

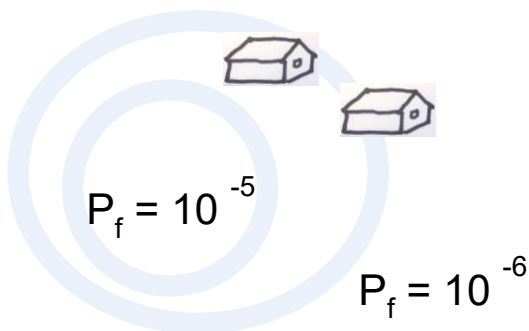
För att en riskkarta skall vara användbar krävs det att man visualiserar risken på ett sätt som passar mottagaren: kartan skall vara tydlig och lätt att förstå. Ett annat krav som kartan skall uppfylla, är att visa att det finns osäkerheter i själva kartan, inte bara i risken. Det är ju så, att dagens färgglada dator ritade kartor kan upplevas som "sanna" av en lekman.

Ett enkelt exempel visas i Figur 5: runt en viss hotkälla, ett farligt utsläpp, har vi beräknat gränslinjer för sannolikheten att utsläppet skall överskrida ett viss (farlig) koncentration. Den tillåtna sannolikheten är 10^{-6} . Man ser att det bara ena huset, det på insidan om gränslinjen för $P_f = 10^{-6}$, måste rivas, men det på utsidan är helt OK.



Figur 5 Riskkarta med skarpa gränser

Men vi vet att det finns osäkerheter i data och beräkningsmodeller. Om de tas med så kanske bilden av hotet och därmed beslutet ändras? Vi kan ju rita de skarpa gränslinjerna suddiga, så att de visar vad vi egentligen vet, se Figur 6. Nu är det inte lika tydligt vilket beslut som skall fattas!



Figur 6 Riskkarta med oskarpa gränslinjer

Möjligen kan det vara ett problem att redovisa osäkerheten, eftersom läsaren av kartan ofta har en bristfällig uppfattning om modellens grunder och hur den tagits fram. Sådana riskkartor behöver få en tydlig bruksanvisning, så läsaren förstår vad kartan egentligen säger. Detta diskuteras vidare i Avsnitt 3.4.

3 EXEMPEL PÅ RISKKARTOR

I detta kapitel ges en sammanfattning av vad workshopens presentationer innehöll. Presentationerna kan ses som videor i sin helhet på SGF:s hemsida. I avsnitt 3.1.2 ges även en kommentar om skredtrolighetskartor som skapats med hjälp av en algoritm byggd på artificiell intelligens, så kallade *artificiella neuronnät*. Sådana kartor diskuterades inte i detalj på workshopen men togs upp i Lars Olssons introduktion till ämnet. Skredtrolighetskartor har därför fått ett eget avsnitt i notatet för att belysa skillnaden mot klassiska probabilistiska riskkartor.

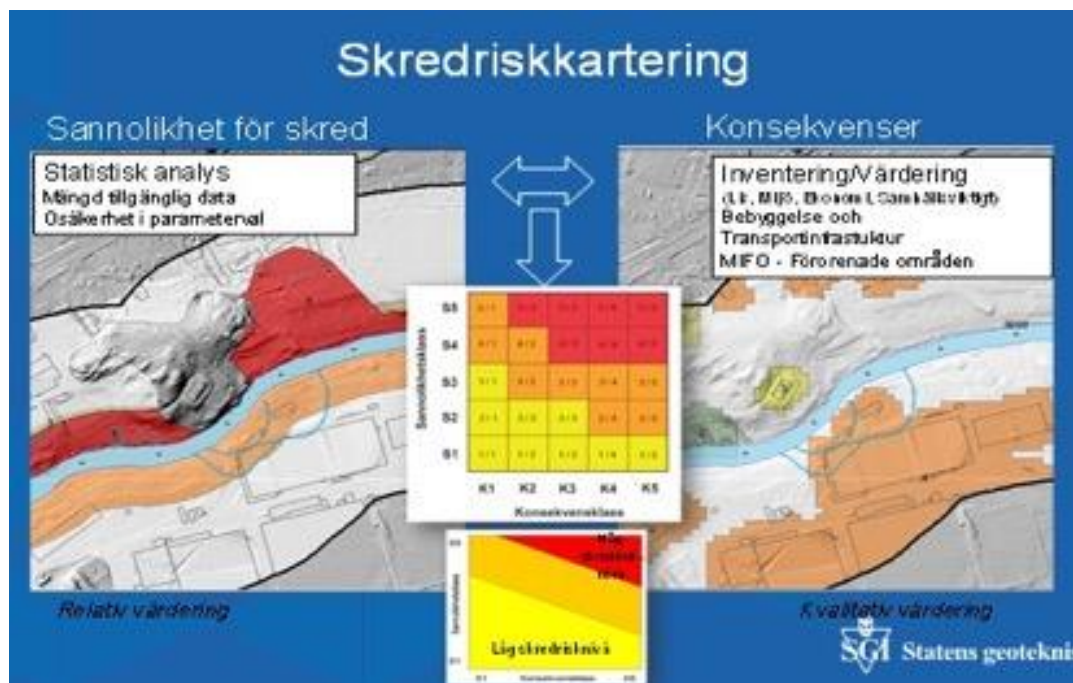
3.1 Skredriskkartor

3.1.1 Probabilistiska riskkartor

Karin Odén på Statens geotekniska institut (SGI) berättade om myndighetens arbete med skredriskkartor. En skredriskkarta skall redovisa hotet och de möjliga konsekvenserna och troligheten för att de inträffar. I riskkarteringen som görs av SGI redovisar man sannolikheten för skred och möjliga konsekvenser på separata kartor och klassar risken genom att använda en riskmatris med angivna riskklasser som visas på en tredje karta (Figur 7).

Sannolikheter

Sannolikheten för skred beräknas med traditionella geotekniska metoder för valda typområden men där variationer i geotekniska parametrar tas med, SGI (2012). Man använder en beräkningsmetod som kallas FORM (First Order Reliability Method) och får fram en sannolikhet för skred. Man har sedan grupperat sannolikheterna i klasser 1–5.



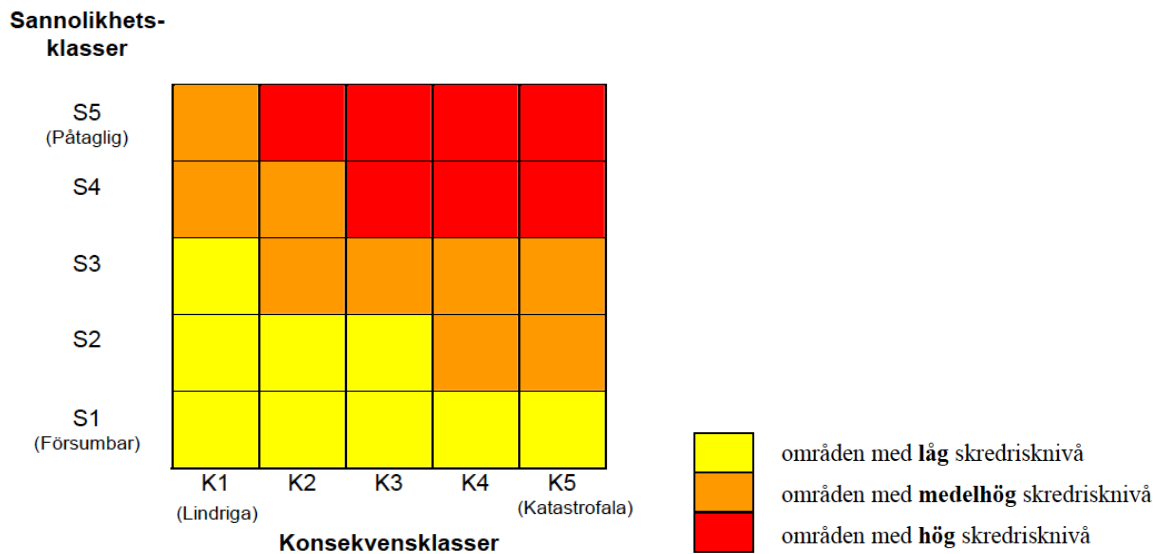
Figur 7 Skredriskkartans delar.

Konsekvenser

En metod har utvecklats för att bedöma de samhällsekonomiska konsekvenserna av skred. De konsekvenser som beaktats är bebyggelse, människoliv, väg och järnväg, energi- och ledningssystem, VA-system, miljöfarliga verksamheter och förorenade områden samt näringsliv. Konsekvenser för skred anges i fem konsekvensklasser och uttrycks i ekonomiska intervall.

Riskmatris

Den riskmatris som används visas i Figur 8.



Figur 8 Riskmatris som används i Göta älvutredningen (SGI 2012)

Riskkarta och utvärdering

En karta kan sedan byggas upp utifrån de skredrisknivåer som tagits fram med riskmatrisen. Ett exempel visas i Figur 9.

För de olika risknivåerna anges:

Gult

Område med låg skredrisk. För befintliga byggnader och anläggningar krävs ingen särskild utredning. För nyexploatering krävs stabilitetsutredning.

Orange

Område med medelhög skredrisk. Befintliga byggnader och anläggningar kontrolleras med detaljerad stabilitetsutredning. För nyexploatering krävs detaljerad stabilitetsutredning och eventuellt åtgärder.

Rött

Område med hög skredrisk. Behov av åtgärd för befintliga byggnader och anläggningar klarläggs med detaljerad stabilitetsutredning och sannolikt stabilitetshöjande åtgärder.



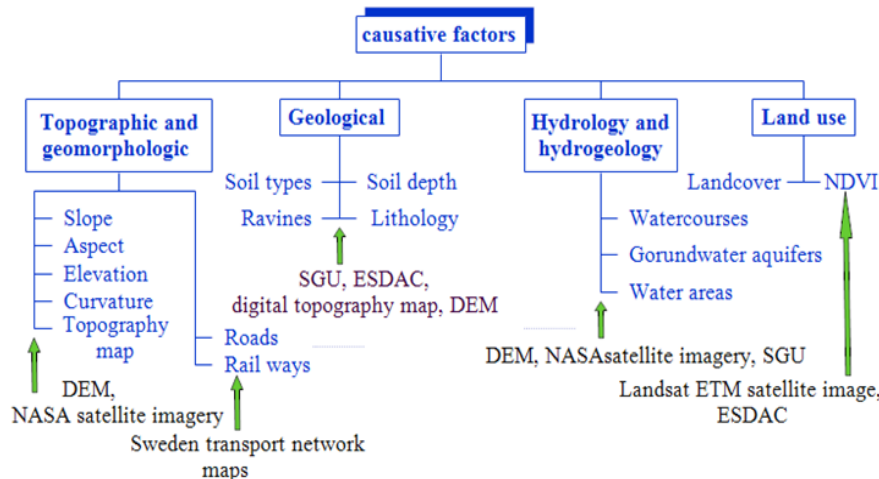
Figur 9 Exempel på skredriskkarta.

Skredriskkartan har en upplösning som är lämplig för översiktsplanering. Vid detaljplanering och bygglov så räcker inte skredriskkartan som underlag utan det behöver göras mer detaljerade geotekniska utredningar.

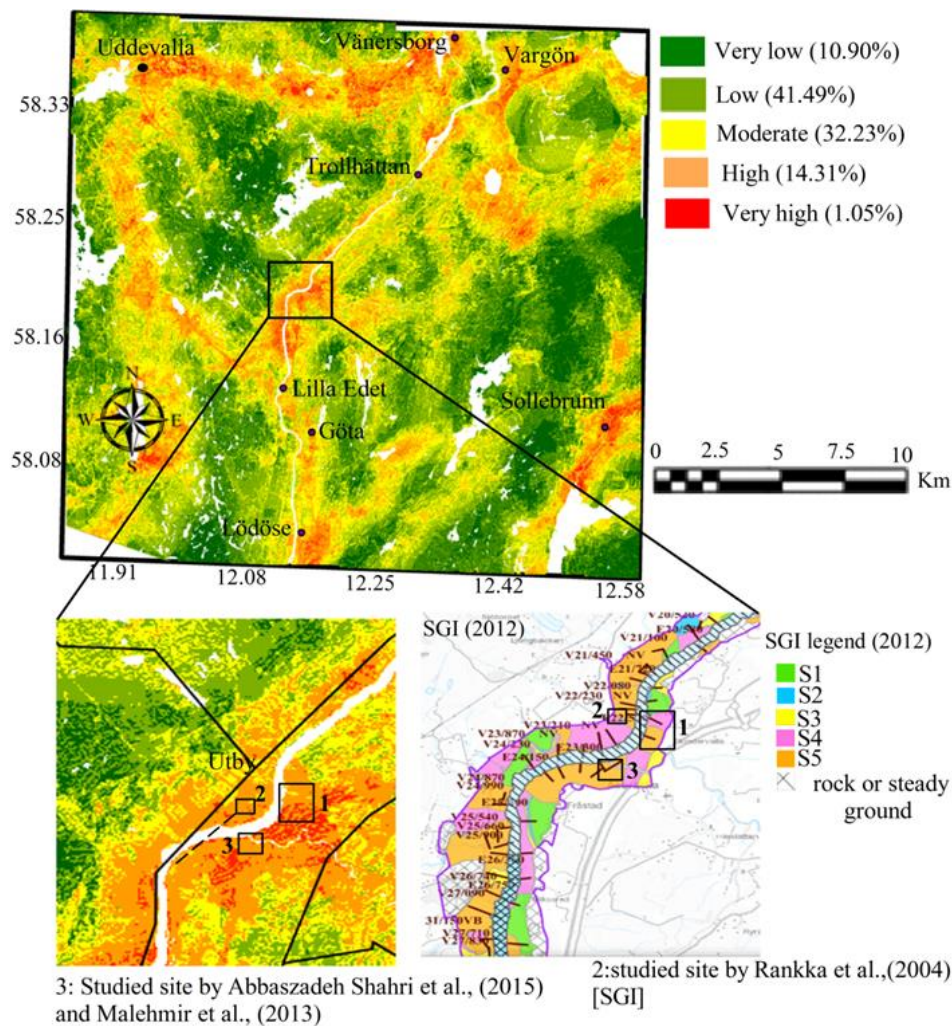
3.1.2 Skredbenägenhetskartor med artificiella neuronnät (AI)

Ett liknande angreppssätt för att visualisera var skred kan uppkomma är att använda artificiella neuronnät för att skapa så kallade skredbenägenhetskartor. Artificiella neuronnät är en sorts självlärande algoritmer som försöker efterlikna hur biologiska neuronnät fungerar, d.v.s. hur en hjärna hanterar och processar information. I detta fall används algoritmerna för mösterigenkänning och kräver stora mängder data om historiska skred och möjliga bakomliggande faktorer för att ge bra resultat. Man utgår här ofta från möjliga identifierade indikatorer i form av data som kan hämtas ur databaser (GIS) ofta som grafisk information i bilder, exempelvis kartor och satellitbilder.

Genom att se mönster i vilka förhållanden som skred historiskt har skett, kan man skapa skredbenägenhetskartor för mycket stora områden, där man får hög benägenhet för framtida skred i områden som egenskapsmässigt liknar andra skredbenägna områden. Här är det förstärkt viktigt att de för skred mest relevanta faktorerna inkluderas i det analyserade materialet. Den stora fördelen jämfört med probabilistiska riskkartor är att det är en i stort sett automatiserad beräkning. En nackdel är att kartan i sig inte redovisar risken – eller ens sannolikheten – för skred, utan anger skredbenägenheten i den relativa enheten *trolighet*, på skalan ”mycket låg” till ”mycket hög”. Exakt *hur* sannolikt ett skred är i sannolikhetsskalan 0-100% går därför inte att säga, eller ens hur mycket troligare det är med skred i ett område som klassats som ”mycket högt”, jämfört med ett som klassats som ”högt”.



Figur 10 Möjliga bakgrundsfaktorer som kan påverka skredbenägenhet (Shahri m.fl. 2018).



Figur 11 Skredbenägenhetskarta framtagen med artificiella neuronnät för del av Västra Götalandsregionen. I nedre delen jämförs resultatet med SGI:s skredsannolikhetskarta (Shahri, m.fl. 2018).

Du kan läsa mer om skredbenägenhetskartor i artikeln av Shahri m.fl. (2019), som sammanfattats populärvetenskapligt på Grundläggningdagen (Shahri m.fl. 2018). I Figur 10 visas möjliga bakgrundsfaktorer som beaktades i analyserna i de artiklarna. Figur 11 visar den framtagna skredbenägenhetskartan för ett område i Västra Götalandsregionen, med en jämförelse mot SGI:s skredsannolikhetskarta.

3.2 Riskkartor för stranderosion

Per Danielsson berättade om SGI:s arbete med ett kustsårbarhetsindex (KSI). Kusterosion är främst ett problem i södra Sverige, exempelvis Ängelholm och Ystad. För att identifiera problemområden på ett systematiskt sätt har man tagit fram KSI, Danielsson m.fl. (2019). Detta index är en funktion av förutsättningar för erosion och samhällsvärden som kan påverkas av erosionen. Indexet identifierar områden som har potential att erodera under särskilda förhållanden, t.ex. vid stormtillfällen och höga vattennivåer, men även vid de ständigt pågående (långsamma) erosionsprocesserna, samt vilka konsekvenser det kan medföra. Förutsättningarna för stranderosion som beaktas i indexet är:

- Erosionskänslighet
- Geologi
- Lutning
- Avstånd till vatten
- Topografi

Dessa förutsättningar vägs sedan samman med de socioekonomiska konsekvenserna vid erosionsskada, vilket kan utgöras av värdet av skadade byggnader eller infrastruktur (Figur 12). Mer om kustsårbarhetsindex och SGI:s karttjänst för detta kan du läsa i den här länken till SGI:s hemsida: [KSI-karta](#).

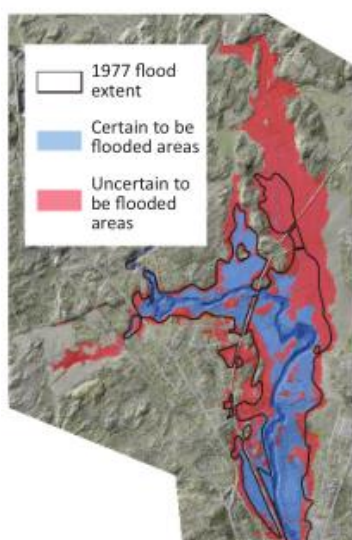


Figur 12 Kustsårbarhetsindex för del av Ängelholm. Indexet är en sammanvägning av förutsättningar och konsekvenser. Høgt KSI ges därför exempelvis till järnvägen som ses som en orangeröd linje, då en borteroaderad järnväg är hög konsekvens för samhället.

3.3 Riskkartor för översvämning

Nancy Joy Lim var inbjuden från Högskolan i Gävle för att berätta om hur man kan ta fram översvämningskartor. Dessa kombineras ofta med sårbarhetskartor för att tillsammans skapa en riskkarta. Dessa kartor är inte direkt geotekniskt kopplade, men ändå av intresse för att se hur kartor för risk och osäkerhet kan användas i andra sammanhang. Lim har arbetat just med att visualisera osäkerheter i översvämningskartor.

Figur 13 visar en vilka områden längs Testeboån i Gävleborgs region som kan komma att översvämmas. Ofta används en kombination av GIS och hydrauliska modeller, med hydrauliska data från databaser. I hydraulisk modellering finns ofta relativt stora osäkerheter. Lim har i sin forskning visat hur sådana osäkerheter kan redovisas för användaren av kartan i form av osäkerhetszoner. Lim visade i sin presentation ett antal olika sätt som detta kan göras på. Hon har även gjort experiment på hur användaren tolkar och förstår de olika kartorna som hon producerat, bland annat avseende ifall en viss plats är lämplig för byggnation eller inte.



Figur 13. Översvämningskarta för Testeboån i Gävleborgs region, där områden färglagts olika beroende på om de säkert eller bara kanske kan komma att översvämmas (Brandt, m.fl. 2021, CC-BY 4.0).

3.4 Utmaningar med att kartera risker – användarperspektivet

Anette Björnin diskuterade i sin presentation vilka utmaningar som SGI stött på i relation till sina olika riskkartor. Bakgrunden är att flera myndigheter idag hänvisar till SGI:s karttjänster. Exempelvis Elsäkerhetsverket poängterar att fastighetsägare bör anpassa elanläggningen, ifall fastigheten ligger i ett riskområde för översvämning eller skred och ras.

Det finns idag både en vägledning och ett produktblad till SGI:s karttjänst, men frågan är om dessa hjälpmedel är tillräckligt lättillgängliga för ovana användare? Björnin lyfte 5 dilemman i hur SGI ska presentera sin information i karttjänsten:

1. Är informationen i karttjänsten för skred och ras begriplig?
2. Hur ska användaren förstå om information alls finns?
3. Hur ska användaren förstå vilken noggrannhet och kvalitet som informationen har?

4. Är användaren medveten om i vilket syfte som kartan tagits fram?
5. Förstår användaren informationen?

Dessa utmaningar diskuterades sedan även i workshopens smågrupper efter presentationerna.

3.5 Digital framställning av riskkartor

Davide Bonfante, Tyréns, framhöll i sin presentation att alla kartor i grunden bygger på data. Liksom för alla digitala verktyg behöver en digital riskkarta bygga på en behovsanalys av vad kartan faktiskt ska användas till. Här har osäkerheter en central position.

Den data som ligger till grund för kartan kommer ofta från fältundersökningar, som sedan går igenom en geoteknisk bedömning och blir underlag i en beräkningsmodell. Men eftersom dataunderlaget är osäkert, blir också beräkningsresultaten osäkra. Dessa osäkerheter behöver kommuniceras, vilket kan göras i en osäkerhetsmodell. Men för att redovisningen ska bli användbar så måste den väljas i samråd med beställaren av kartan och användaren.

4 SAMMANFATTNING AV GRUPPDISKUSSIONER

I detta kapitel ges en sammanfattning av de gruppdiskussioner som fördes under workshopen. Följande frågor hade förberetts som underlag för diskussionerna, som fördes i så kallade break-out rooms i Zoom.

- Finns det fler användningsområden för riskkartor? Finns bättre alternativ än riskkartor?
- Vem läser dem? Geotekniker? Allmänheten? Beslutsfattare som inte är geotekniker?
- Vilka utmaningar ser du med att använda riskkartor?
 - Tillverkning?
 - Tolkning / användning?
- Utvecklingsbehov inom geotekniska riskkartor:
 - Vad behöver vi i branschen kunna bättre?
 - Finns bra verktyg för tillverkningen?

Efter gruppdiskussionerna fördes en gemensam diskussion i storgrupp.

4.1 Användningsområden för riskkartor och andra alternativ

Några områden som lyftes var riskkartor för att visa områden med geoteknisk komplexitet / geotekniska utmaningar. Det skulle då vara ett (bland flera andra) underlag för tidiga beslut om exploatering eller ny infrastruktur. Även risk för sättning kan vara intressant. Här kan noteras Jonas Sundells arbeten kring sättningar och risk i hans doktorsavhandling från Chalmers (Sundell, 2018). En grupp diskuterade hur riskkartor kan kopplas till andra styrande dokument, exempelvis inom kommunal planering. Riskkartor bör kunna utgöra ett underlag för beslut om var ny bebyggelse ska ske.

4.2 Vem läser riskkartor?

Företrädare för SGI berättade om några oväntade användare av deras skredriskkartor: fastighetsmäklare och försäkringsbolag. En grupp diskuterade vad som kan hända om så viktiga aktörer feltolkar riskkartorna och använder dess information på individnivå, för enskilda fastigheter. SGI:s kartor är främst avsedda för kommunal planering, översiktsplaner, prioritering av skredförebyggande åtgärder och liknande. Detaljnivån är inte tillräckligt god för att uttala sig om risken för enskilda fastigheter. Kan offentlig publicering av sådana skredriskkartor då påverka enskilda medborgare negativt, genom att deras fastigheter bör svårare att sälja eller inte längre går att försäkra, ifall fastighetsmäklare och försäkringsbolag feltolkar den geotekniska riskkartan? Vilket ansvar har den som publicerar kartan, i relation till andra skråns feltolkningar av geotekniska riskkartor?

4.3 Utmaningar i användningen av riskkartor

Flera lyfte problemet att en digital karta kan ge skenet av exakthet, fastän det finns avsevärda osäkerheter i underlaget. Det är skillnad på att ha starka bevis för att skredrisken är hög och att inte kunna utesluta hög skredrisk på grund av dåligt underlag. Hur ska man kommunicera osäkerheter i kartans underlag? Är underlaget tillräckligt spårbart och är osäkerheten transparent redovisad? Man måste alltid ha med sig att det geotekniska underlaget i sig kan ha olika

stor osäkerhet beroende på undersökningsmetodens noggrannhet. Det är inte bara antal undersökningspunkter som är viktigt här. I andra fall kan det vara den geotekniska beräkningsmodellen som är för grov och tillför egna osäkerheter i beräkningarna (motsvarar säkerhetsfaktor = 1 verkligen jämvikten i verkligheten?)

Ett annat problem är att användare lätt glömmar att kartan är en ögonblicksbild givet nuvarande infrastruktur. Ett ”grönt” obebyggt område på kartan har kanske låg risk för att konsekvensen är liten just nu, men om man bygger hus där, så ökar riskklassen för området enbart på grund av husbygget! ”Grönt” betyder alltså inte ”fritt fram att bygga”, vilket man lätt kan förledas att tro, utan indikerar ofta snarare att ingen känslig bebyggelse finns där *just nu*.

4.4 Utvecklingsbehov inom geotekniska riskkartor

Ett förslag som lyftes var att SGI:s kartvisare skulle kunna ha lämpliga förinställda lager för olika typer av användare. ”Om du är en kommunal planerare vill du nog veta [detta]. Tryck då [här] för att se just den informationen.” Då drunknar inte ovana kartanvändare bland alla lager, utan man får lätt den information som man själv har nytta av. Även tydlig varningstext om vad kartan faktiskt INTE visar, kan vara lämpligt för att stävja vanliga missuppfattningar och felanvändning.

Rent generellt behöver geoteknikbranschen bli bättre på att kommunicera osäkerheten i såväl faktaunderlag som i metod och analys. För att kunna göra bra riskkartor är det av stor vikt att sådan information är av hög kvalitet.

5 FÖRSLAG TILL UTVECKLINGSPROJEKT

Baserat på vad som framkom i workshopen, har vi (notatförfattarna Lars Olsson och Johan Spross) i detta kapitel sammanställt några förslag på vad branschen kan arbeta vidare med i utvecklingsprojekt, för att förbättra tillverkningen och användningen av geotekniska riskkartor.

5.1 Riskkartor för kommunal planering och lovgivning

Workshopen lyfte potentialen i att använda geotekniska riskkartor som ett verktyg vid kommunal planering och lovgivning (exempelvis av bygglov). Sådan användning ställer dock vissa krav på tolkningskompetens hos den kommunala planeraren eller bygglovshandläggaren. Vi tror därför att detta område skulle lämpa sig för ett tvärvetenskapligt forskningsprojekt på en teknisk högskola, där man studerar hur begreppet ”geoteknisk risk” kan förstås och användas av icke-geotekniker, som ändå har att beakta geoteknisk information.

Ett sådant forskningsprojekt bör drivas gemensamt av forskare inom geoteknisk riskhantering och forskare i kommunal planering, gärna i samarbete med SGI och geoteknikkonsulter i branschen, som dagligdags utför uppdrag åt kommuner.

5.2 Andra sannolikhetsbedömningsmetoder än beräkningsbaserade modeller

Det är lätt att fastna i att risk måste beräknas som en beräknad sannolikhet multiplicerat med en skattad storlek på en konsekvens. I forskningslitteraturen finns dock andra förslag på metoder för att bedöma sannolikheter. Vi tror att bra riskkartor skulle kunna utvecklas med så kallade indikatorer eller likelihood-kvoter. De ger ett sätt att utnyttja expertkunskap på ett transparent sätt och som också ger troligheten i sannolikhetsform, se Avsnitt 2.6.2 om expertbedömningar. Med hjälp av expertbedömningar väljer man ut ett antal olika indikatorer. Vikten för indikatorerna uttrycks som så kallad likelihoodkvot. Sedan inspekteras områden och man söker efter olika tecken på instabilitet, så kallade indikatorer. När man konstaterat vilka indikatorer som finns i det aktuella området, kan man ur deras samlade vikt beräkna en sannolikhet för instabilitet i området. Inspektionen kan göras på flera sätt beroende på typen av indikator, bland annat kan användning av drönare övervägas, liksom tillämpning av GIS.

5.3 Förbättra användarvänligheten – förstår läsaren vad hen ser?

Geotekniska riskkartor kan komma i många skepnader med förvillande lika visuella presentationer i grönt, gult och rött, samtidigt som färgernas betydelse kan skilja sig åt avsevärt mellan olika kartor. Ibland visas en ”sannolikhet”, ibland en ”benägenhet”, ibland en ”risk”, ibland ett sammanbakat ”sårbarhetsindex”. Vi ser ett behov av att förbättra användarvänligheten i branschens riskkartor, särskilt de som tillhandahålls av myndigheter publikt. Förhållandena som man vill förmedla i kartan är ofta mycket komplexa, samtidigt som kartan är förrädisk enkel i sitt utseende. Här behöver man arbeta med presentationen av använda begrepp, men även hur man förmedlar en förståelse av underliggande osäkerheter i kartmaterialet.

6 REFERENSER

- Baecher, G. (2017).** Bayesian Thinking in Geotechnics. *Geo-Risk 2017, Geotechnical Special Publication 282*. <https://doi.org/10.1061/9780784480694.001>.
- Baecher, G. (2019).** Putting Numbers on Geotechnical Judgment. *Companion whitepaper to the 27th Buchanan Lecture, 18 October 2019*.
- Brandt, S.A., Lim, N.J., Colding, J., Barthel, S. (2021).** Mapping Flood Risk Uncertainty Zones in Support of Urban Resilience Planning. *Urban Planning*, 6(3), sid. 258-251. <https://doi.org/10.17645/up.v6i3.4073>
- Cox, T. (2008).** What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis* 28(2), sid. 497-512.
- Daneshvar, M. (2014).** Landslide susceptibility zonation using analytical hierarchy process and GIS for the Bojnurd region, northeast of Iran. *Landslides* 11(6), sid. 1079-1091.
- Danielsson, P. Hedfors, J. Björlin, A. Kiilgaard, R. (2019),** Sårbarhetskartering, Stranderosion i kustområden, Statens geotekniska institut, 2019-04-30.
- ISO (2009).** *ISO 31000:2009. Riskhantering – Principer och riktlinjer*. ISO, Geneve.
- Margo, D., Harkness, A., & Needham, J. (2009).** Levee screening tool. *United States Society on Dams Conference, Nashville, TN*.
- Neuhäuser, B. & Terhorst, B. (2007).** Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology* 86, sid. 12-24.
- Olsson, L., (2000).** *Att bestämma subjektiva sannolikheter*. SGI Varia 488. Statens Geotekniska Institut, Linköping.
- Olsson, L., & Berggren, B. (2010).** *System för utvärdering av indikatorer och observationer*. Rapport projekt F08-6661/AL50. Statens Geotekniska Institut, Linköping
- Olsson, L., & Taube, A. (2021).** *Utveckling av metodik för inspektion av tunnlar med inner-tak*. Rapport 226. BeFo, Stockholm.
- Roberds, W.J. (1990).** Methods for Developing Defensible Subjective Probability Assessments. *Transportation Research Record No 1288*, sid. 183-190.
- SGI (2012).** *Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat. Slutrapport, del 1: Samhällskonsekvenser*. Linköping.
- Shahri, A., Spross, J., Johansson, F. and Larsson, S. (2018).** Storskalig kartering av skredbenägenhet i Västra Götaland med artificiell intelligens. *Grundläggningdagen 15 mars 2018*, sid. 107-113.
- Shahri, A., Spross, J., Johansson, F., Larsson, S. (2019).** Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network. *Catena* 183, 104225.
- Sundell, J. (2018).** *Risk Assessment of Groundwater Drawdown in Subsidence Sensitive Areas*. Doktorsavhandling, nr 4472. Chalmers, Göteborg.

SGF Notat

- 1:2004 Packning och packningskontroll av blandkorning och finkornig jord
- 2:2004 Direkta skjuvförsök - en vägledning
- 3:2004 Laborieutrustningar med stora provdimensioner - en sammanställning
- 1:2005 Våra framtida geotekniska arbetsredskap - en introduktion
- 2:2005 Permeabilitetsbestämning genom laborieförsök
- 3:2005 Packningsresultat ytpackning - väsentliga faktorer analyserade med AHP-3:2007
Laborieprovning för geotekniska utredningar
- 4:2005 Karakteristiskt värde - utredning kring riktlinjer hur vi skall tillämpa Euorkod (EN 1997-1 och EN 1997-2) modellen
- 1:2007 Medlemsmatrikel 2006
- 2:2007 Resultatkontroll genom bestämning av luftporhalt och vattenkvot
- 3:2007 Laborieprovning för geotekniska utredningar
- 1:2009 Jämförande sonderingar – Jb-totalsondering, CPT och hejarsondering
- 1:2013 SGF:s riktlinjer
- 1:2016 Akustisk JB-sondering, resultat från etapp 1
- 1:2018 Konflytgränsen
- 2:2018 Fallkonförsöket
- 1:2019 Bildbaserad metod för mätning och övervakning av rörelser hos konstruktioner vid geotekniska projekt – Förstudie
- 1:2022 Geotekniska riskkartor – Rapport från workshop den 16 september 2021

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1900 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning, ingenjörsgologi och miljöteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserier utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.