

Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 5:2025

Grafiska metoder för systemförståelse

Metodbeskrivning

SGF:s AG Risk

Linköping 2025

Förord

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) är en allsidigt sammansatt ideell förening, där de flesta yrkesverksamma geotekniker i branschen är representerade. Föreningens mål är att främja utvecklingen av geoteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv. En stor del av SGF:s arbete bedrivs genom olika sektioner, som ansvarar för informations- och utbildningsfrågor, initierar forsknings- och utvecklingsarbeten, samt driver specifika arbetsuppgifter genom projekt och arbetsgrupper.

Medlemmar i SGF:s Arbetsgrupp Risk tog 2019 fram en SBUF-rapport *Verktyg för hantering av geotekniska risker – Vägledning till systemförståelse och riskidentifiering* (SBUF 13417). I den användes olika grafiska metoder för att strukturera och analysera geotekniska system för att förstå och även kommunicera svagheter och hot som riskerar systemens funktion.

Eftersom en grundprincip för geoteknisk riskhantering är att den skall utföras av geotekniker, har AG Risk tagit fram detta notat för att ge en beskrivning av de olika grafiska metoderna som är riktad till geotekniker.

Huvudförfattare har varit Lars Olsson och Johan Spross. Notatet har granskats av Sektion Jord varefter det har fastställts av SGF:s styrelse.

Innehållsförteckning

Förord

Innehållsförteckning

Sida:

1	<u>BAKGRUND</u>	<u>4</u>
1.1	Systemförståelsen och riskhanteringen.....	4
1.2	System och sätt att beskriva system.....	5
1.3	Händelsekedjors roll i systemförståelse och riskhantering.....	5
1.3.1	Följder av en händelse	6
1.3.2	Grundorsaker till en skadehändelse	6
1.3.3	Sammansatta händelsekedjor	6
1.4	Kommunicera om risker	7
2	<u>SYSTEMBESKRIVNINGAR</u>	<u>8</u>
2.1	Systemets delar	8
2.2	Huvudtyper bland system	9
2.2.1	Seriesystem	9
2.2.2	Parallellsystem	10
2.2.3	Kombinationer av serie- och parallellsystem.....	10
3	<u>BESKRIVA SYSTEM MED BLOCKDIAGRAM</u>	<u>12</u>
3.1	Vad är ett blockdiagram?	12
3.1.1	Grunder	12
3.1.2	Reliability Block Diagrams.....	13
3.1.3	Kan vara ett alternativ till felträd	13
3.2	Hur rita blockdiagram?	14
3.2.1	Systemets funktion.....	14
3.2.2	För systemet erforderliga funktioner.....	14
3.2.3	Kopplingar mellan funktionerna i systemet	14
3.2.4	Redundans.....	15
3.3	Några tips för att rita ett läsbart blockdiagram	17
3.3.1	Klargör målet och huvudfunktioner som behövs	17
3.3.2	Gör stora seriesystem läsbara.....	17

3.3.3	Dela upp blockdiagrammet i undersystem.....	18
3.4	Att läsa och tyda blockdiagram	20
3.5	Verktyg och programvara för blockdiagram	21

4 HÄNDELSETRÄD: VART KAN HÄNDELSEN LEDA?..... 22

4.1	Till vad används händelsetråd?	22
4.2	Händelsetrådets uppbyggnad	22
4.2.1	Elementen	22
4.2.2	Exempel: dieseltransport.....	23
4.3	Hur ritas man ett händelsetråd?.....	24
4.3.1	Starthändelsen.....	24
4.3.2	Grenar	24
4.3.3	Håll nere storleken	25
4.3.4	Beskriv konsekvenserna.....	25
4.4	Sannolikheter i händelsetråd	25
4.4.1	Sannolikheter inuti trädet.....	25
4.4.2	Hur troliga är de olika utfallen?	26
4.4.3	Att tänka på när man använder händelsetråd	26
4.4.4	Beslutstråd	27
4.5	Verktyg och programvara för händelsetråd	30

5 FELTRÄD: HUR UPPKOMMER SKADEHÄNDELSEN?..... 31

5.1	Till vad används feltråd?.....	31
5.2	Felträdets uppbyggnad.....	31
5.2.1	Huvudstrukturen och de olika elementen.....	31
5.2.2	Grindar	32
5.2.3	Händelser och löv	32
5.3	Hur ritas man ett feltråd?	33
5.3.1	Beskrivning av topphändelse	33
5.3.2	Underliggande händelser	34
5.3.3	Viktiga arbetsprinciper.....	34
5.3.4	När sluta gå neråt?	34
5.4	Sannolikheter i feltråd.....	34
5.4.1	Oberoenden etc	35

5.4.2	Olika grindar	35
5.4.3	Utvärdering	35
5.4.4	Common cause.....	36
5.4.5	Att tänka på när man använder felträd	36
5.5	Verktyg och programvara för felträd	37
6	<u>KOMBINATION HÄNDELSE- OCH FELTRÄD</u>	38
7	<u>SAMLAD BILD: OLYCKSFJÄRIL (BOW-TIE DIAGRAM).....</u>	39
7.1	Skapa en olycksfjäril.....	39
7.1.1	Systemförståelse	39
7.1.2	Identifiera olyckssituationer.....	40
7.1.3	Minska sannolikhet	40
7.1.4	Minska konsekvenser.....	40
7.2	Olycksfjäril. Kommentarer	40
7.3	Programvara för att rita olycksfjärilar	41
8	<u>AVSLUTANDE KOMMENTARER</u>	41
9	<u>REFERENSER OCH VIDARE LÄSNING</u>	43
9.1	Refererad litteratur	43
9.2	Vidare läsning	44
	Blockdiagram (RBD)	44
	Händelseträd (Event Tree Analysis, ETA).....	44
	Felträd (Fault Tree Analysis, FTA).....	45
	Olycksfjäril (Bow-Tie).....	45

1 BAKGRUND

Systemförståelsen är fundamental i hanteringen av georisker. All geoteknisk riskhantering måste bygga på ingenjörskunskap och på att man är grundligt insatt i problemställningen, det är nödvändigt att man ser det stora sammanhanget. Eftersom risken ofta är kopplad till en viss delkomponent av ett större system krävs en systemförståelse som gör det möjligt för ingenjören att se samband. Sambandet mellan olika delar i systemet gör också att delarna påverkar varandra så att en händelse ger upphov till en annan och skapar händelsekedjor, Olsson m.fl. (2019). Det är också viktigt för ingenjören att kunna kommunicera tankegångarna i riskhanteringen.

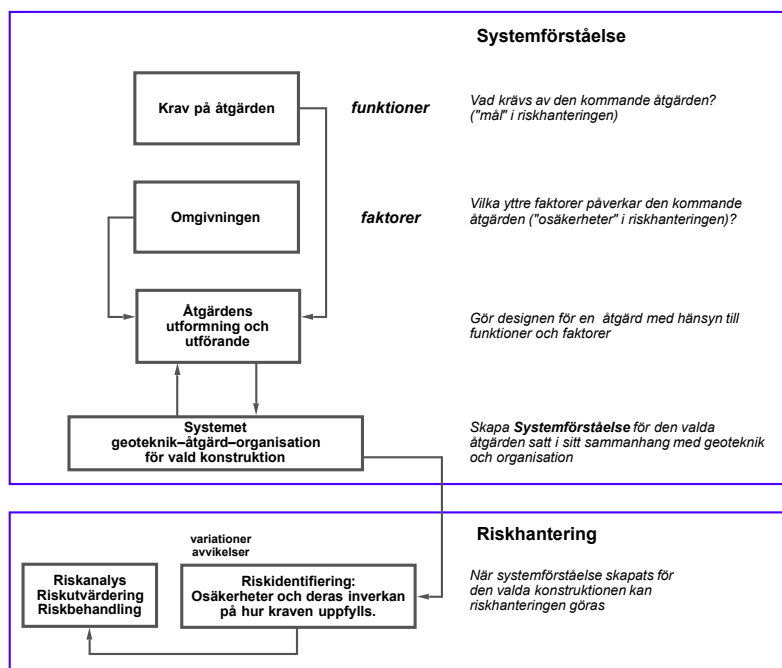
En bra systemförståelse är alltså väsentlig för den fortsatta riskhanteringen, och för att nå dit är hjälpmedel värdefulla.

Eftersom grafiska bilder är mycket effektiva för att beskriva och analysera både samband och händelsekedjor har SGF tagit fram detta notat som visar vi på några grafiska metoder för att systemets uppbyggnad, identifiera svagheter och illustrera händelsekedjor.

Kapitlet ska ge en översikt av olika delar i systembeskrivningen och indikerar var olika grafiska metoder kan vara lämpliga.

1.1 Systemförståelsen och riskhanteringen

Det vi vill med vår riskhantering är att tydliggöra och vid behov åtgärda de osäkerheter som kan hindra eller försvåra att man uppnår ett mål. Men riskhanteringen som sådan kan startas först efter det att man har en förståelse för det mål man skall uppnå och det system som målet är en del av, se Figur 1.



Figur 1. Systemförståelsen som bas för riskhanteringen. Ur Olsson m.fl. (2019)

Detta arbetssätt överensstämmer med standarden ISO 31000. Där definieras risk som:

Osäkerheters effekt på mål

I systemförståelsen ingår att beskriva själva systemet och även att beskriva de händelsekedjor som kan vara en del av riskhanteringen.

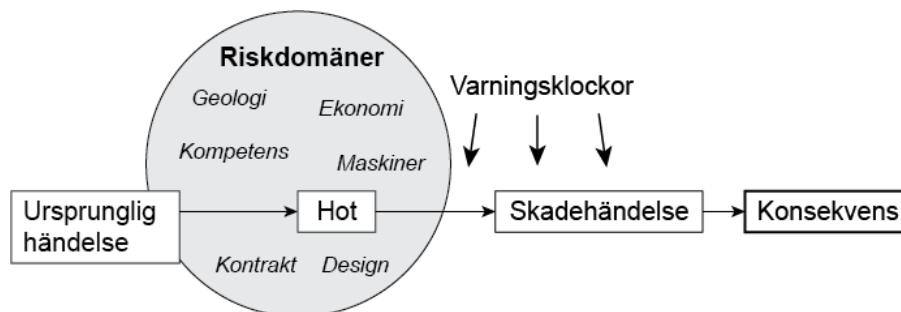
1.2 System och sätt att beskriva system

I Olsson m.fl. (2019) beskrivs ett system som ”En sammansättning av samverkande element organiserade i syfte att uppnå ett eller flera uttalade syften”. Man måste observera att elementen inte nödvändigtvis behöver vara fysiska komponenter i en konstruktion, utan kan vara organisatoriska, procedurer, lagar osv.

I systembeskrivningen behövs alltså en redovisning av de element som systemet är uppbyggt av, hur de är länkade (interagerar) och hur viktiga de är för att systemet skall fungera. En lämplig metod för detta är Blockdiagram (Reliability Block Diagram). Se Kapitel 3

1.3 Händelsekedjors roll i systemförståelse och riskhantering

I beskrivningen av ett system och i riskhantering vill man oftast beskriva möjliga händelseförlopp. Då kan man identifiera vad som kan vara grundorsaken till en skadehändelse och hur vägen fram till skadan ser ut. Figur 2 visar en modell för hur en risks händelseförlopp kan beskrivas. Sätt att grafiskt illustrera händelsekedjor beskrivs i Kapitel 4 - 7.

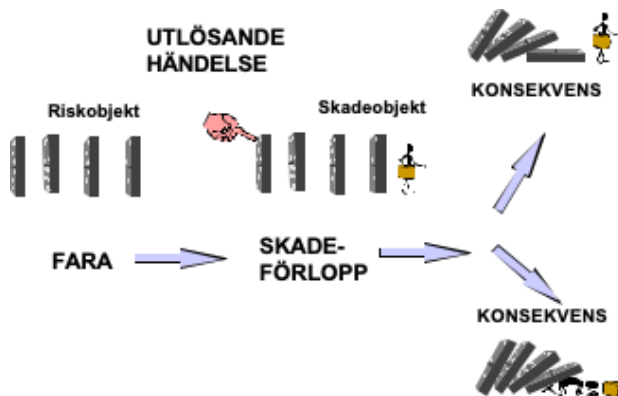


Figur 2. Vägen från en händelse till en konsekvens

Efter Sturk, 1998.

Med en annan terminologi (Figur 3) kan förloppet beskrivas i termer av:

- Ett riskobjekt, som innehåller en fara
- Ett skadeobjekt, som är det som kan drabbas av konsekvenser
- En utlösande händelse, som triggas riskobjektet
- Ett skadeförlopp, som beskriver hur faran kan nå skadeobjektet
- Möjliga konsekvenser för skadeobjektet



Figur 3. Händelseförlopp från fara till konsekvens

Frågor som är aktuella när det gäller skadeförloppet är:

- Vad blir effekten av skadehändelsen? Möjliga konsekvenser
- Hur uppkommer skadehändelsen?
- Hur trolig är den?

Dessa frågor diskuteras närmare i följande avsnitt.

1.3.1 Följder av en händelse

I hanteringen av risker identifierar man händelser som kan utgöra ett hot. Då vill man analysera möjliga följder som kan startas av en händelse. ”Om den här händelsen inträffar, vad kan det leda till?”

En ursprunglig händelse kan, genom att det finns hot inom olika riskdomäner, starta en händelsekedja som leder fram till en skadehändelse med oönskade konsekvenser. Det handlar alltså här om händelsekedjor som startar i en viss händelse och utvecklas till skador

Lämplig metod för beskrivning: Händelsetråd. Se Kapitel 4

1.3.2 Grundorsaker till en skadehändelse

Man kan också vilja analysera orsaken till att en given (skade)händelse uppträder alltså de händelsekedjor som leder fram till händelsen. ”Vad skulle kunna vara grundorsaken till den här händelsen?” Man kan i Figur 2 börja i skadehändelsen och arbeta sig bakåt (mot den ursprungliga händelsen) för att analysera grundorsakerna till att skadehändelsen kan inträffa.

Lämplig metod är Felträd. se Kapitel 5. De kan också användas när man vill göra en bedömning av hur trolig händelsen är.

1.3.3 Sammansatta händelsekedjor

Det används också kombinerade beskrivningar av händelsekedjor som är sammansatta av händelsetråd och felträd, se kapitel 6. Där får man en redovisning av både vart en händelse kan leda och vad som har orsakat den.

Ett specialfall är den så kallade olycksfjärilen (bow-tie), se Kapitel 7.

1.4 Kommunicera om risker

Ofta är den som gör analysen inte beslutsfattaren utan måste på ett tydligt sätt kunna redovisa den analys som gjorts. Det gäller både systemets struktur och dess svagheter och olika händelsekedjor som illustrerar riskerna. Grafiska beskrivningar är kraftfulla verktyg till detta.

2 SYSTEMBESKRIVNINGAR

2.1 Systemets delar

Geotekniska konstruktioner består ofta av ett antal delar (delfunktioner, element) som samverkar för att ett visst mål skall uppnås

Några exempel på geotekniska system:

- Spont med spontplank, hammarband, stag och förankringar
- Pålgrundläggning med ett antal pålar
- Upphandling av en schaktentreprenad med förfrågningsunderlag, kalkyl, anbud
- Schakt för grundläggning med schaktmaskiner schaktarbetet, borttransport, spont, nödvändiga tillstånd.

Rutherford (2018) beskriver ett system på ett likartat sätt som det beskrivs i Avsnitt 1.2 (redigering gjord av författarna):

Ett system är en grupp sammankopplade element som samverkar för att uppnå ett gemensamt syfte eller funktion. För att betrakta något som ett system måste vi ha tre saker:

- Element;
- Sammankopplingar, länkar
- Syfte eller funktion.

Delarna i systemet

Elementen

Dessa är de enskilda delarna av systemet och är vanligtvis de enklaste att identifiera. Vi kan se och röra dem i de flesta fall. Men de kan också vara immateriella. Vi talar om funktion för element som inte är fysiska utan en verksamhet som är en del av systemet.

Sammankopplingarna

Elementen samverkar och är sammanlänkade genom sammankopplingar, länkar. Ibland är sammankopplingar inte lika lätta att upptäcka eftersom de inte är synliga.

Informationsflödet i en verksamhet till exempel geotekniskt designarbete, är en sammankoppling mellan olika element (delfunktioner), till exempel geoteknisk undersökning, utvärderingar av undersökningen och dimensioneringsberäkningar.

Funktion eller syfte

När det kommer till system används ordet funktion vanligtvis för att beskriva icke-mänskliga system. Syfte används när man diskuterar mänskliga system. Beteckningarna kan dock blandas, eftersom många system är gjorda av både mänskliga och icke-mänskliga element.

2.2 Huvudtyper bland system

Beroende på hur elementen i ett system är sammankopplade så får system olika egenskaper.

Man kan tala om:

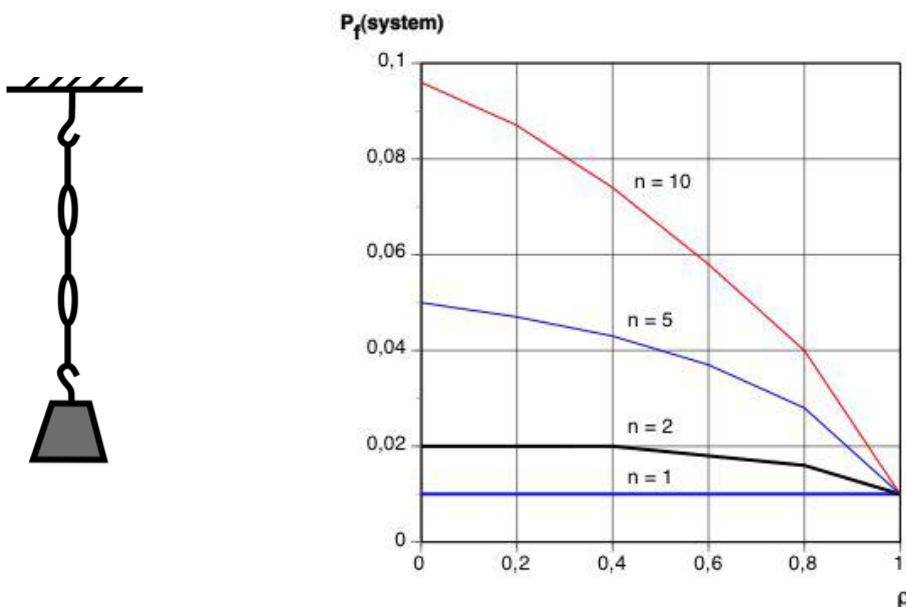
- Seriesystem
- Parallellsystem
- Sammansatta system

2.2.1 Seriesystem

Seriesystemet består av en rad länkar kopplade efter varandra i en kedja. Kedjan brister om någon enda länk brister. Svagaste länken avgör alltså bärförmågan:

- Ju fler länkar, dess troligare att någon länk är svag och brister. Ju fler länkar desto högre brottsannolikhet för systemet
- Ju mer lika länkarna är, desto mindre effekt av antalet länkar. Om en länk är svag, är nog flera svaga, t.ex. för att de tillverkades samtidigt. Detta kallas korrelation.

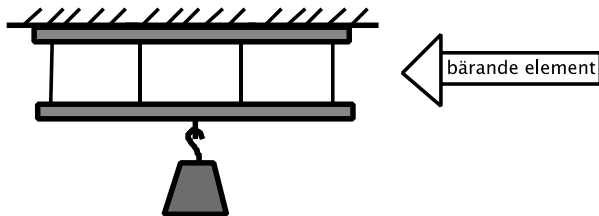
I Figur 4 visas hur brottsannolikheten för ett seriesystem beror dels på antalet länkar, dels på hur stark korrelationen är mellan länkarna. Brottsannolikheten för en länk är 0,01. Ju fler länkar man har, desto större blir brottsannolikheten för systemet. (Den är ju sannolikheten att någon länk brister.) Om länkarna är korrelerade blir effekten av antalet länkar mindre, och om de är helt korrelerade, $\rho = 1$, försvinner den helt och systemets brottsannolikhet blir samma som elementens. (Elementen är ju helt lika och brister samtidigt).



Figur 4. Brottsannolikheten hos ett seriesystem med n stycken länkar. Inverkan av antal länkar och länkarnas korrelation

2.2.2 Parallellsystem

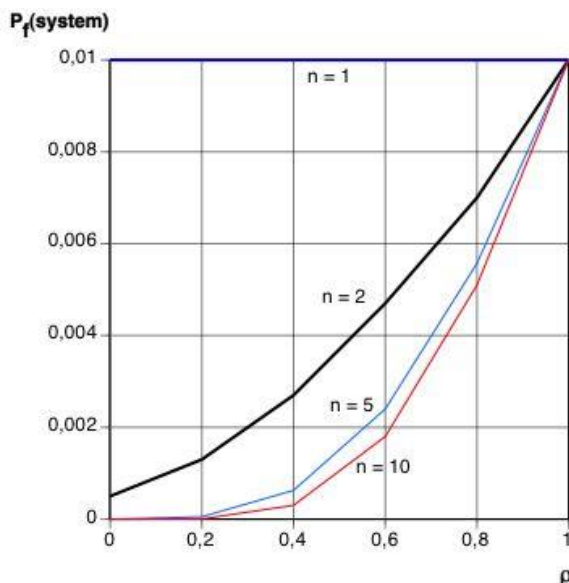
Ett parallellsystem innehåller element som är arrangerade ”i bredd” så att de delar lasten sinns emellan, se Figur 5.



Figur 5. Hur de bärande elementen är placerade i ett parallellsystem

Det betyder att parallellsystem kan bära sin last så länge någon enda länk finns kvar och håller. Ju fler länkar som bygger upp systemet, desto troligare att en svag länk kompenseras av en stark länk. Flera länkar ger alltså en lägre brottsannolikhet för systemet. Men ju mer lika länkarna är, desto mindre effekt av antalet länkar. Om en länk är svag, kan nog fler vara svaga...

Förhållandet mellan antal länkar i parallellsystemet, korrelationen mellan länkarna och systemets brottsannolikhet visas i Figur 6. Av figuren framgår att ett ökande antal element minskar brottsannolikheten för parallellsystemet och att en ökande korrelation mellan elementen ökar brottsannolikheten. En stor korrelation gör alltså att effekten av ökande antal element minskar.



Figur 6. Brottsannolikheten hos ett parallellsystem ned n stycken länkar.

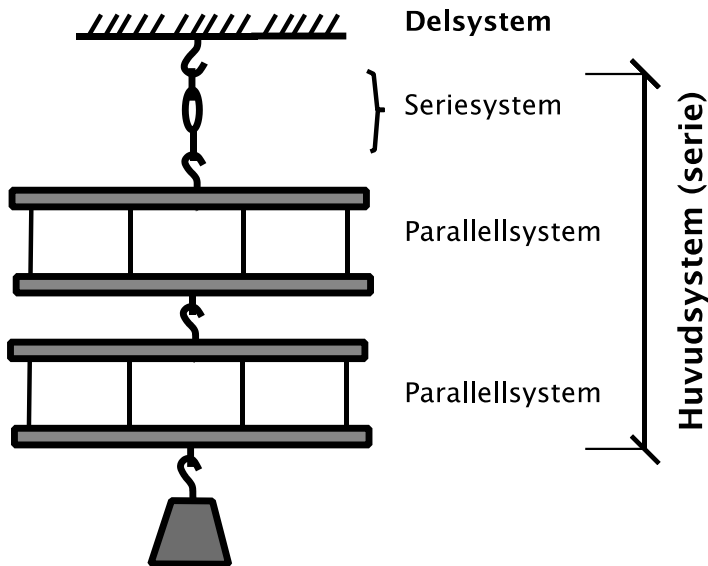
Inverkan av antal länkar och länkarnas korrelation

2.2.3 Kombinationer av serie- och parallellsystem

Det är möjligt att ha ett system som är sammansatt av ”länkar” som själva är system. I Figur 7 visas ett system där huvudsystemet är ett seriesystem som består av delsystem. Delsystemen

är dels seriesystem med enskilda länkar, dels två parallellsystem, där alltså varje sådant är en länk i huvudsystemet.

Detta system går till brott om något av delsystemen gör det. Det kan inträffa om någon av de enskilda länkarna i seriesystemet brister, eller om samtliga element i något av parallellsystem brister.



Figur 7. Sammansatt system, med serie- och parallellsystem som länkar i huvudsystemet.

3 BESKRIVA SYSTEM MED BLOCKDIAGRAM

3.1 Vad är ett blockdiagram?

När man skall beskriva ett geotekniskt system är det väsentligt att man inte tappar bort något och att man behåller en överblick över hela strukturen i systemet. Det behövs därför ett bra arbetssätt/arbetsredskap för att beskriva hur beskrivningen arbetas fram under hela arbetet. Utan ett sådant arbetsredskap är det lätt att väsentliga funktionskrav missas så att risker blir försummade. Det sätt som författarna rekommenderar är att arbeta med blockdiagram.

Ett blockdiagram har generellt två syften, dels att visa hur ett system är uppbyggt med olika element och kopplingar, dels att möjliggöra en beräkning av systemets tillförlitlighet. I detta Notat behandlas inte beräkning av tillförlitlighet, utan i sådana fall hänvisas till litteraturen och också till möjligheten att i stället använda ett felträd, se Kapitel 5.

Ett blockdiagram är en förenklad visuell representation av ett system eller en process, med hjälp av sammankopplade block för att illustrera relationerna mellan olika komponenter och funktioner. Dessa diagram fokuserar på den övergripande strukturen och informationsflödet snarare än specifika detaljer.

Viktiga egenskaper hos blockdiagram:

- Visuell representation av systemet
De använder grundläggande former (vanligtvis rektanglar eller rutor) för att representera komponenter eller funktioner, och linjer eller pilar för att visa anslutningar och informationsflöde.
- Förenklad bild av systemet
Blockdiagram är inte lika detaljerade som tekniska ritningar, kretsscheman eller flödesscheman. De ger en översikt på hög nivå.
- Fokus på relationer
De betonar hur olika delar av ett system interagerar och kommunicerar, snarare än specifika implementeringsdetaljer

3.1.1 Grunder

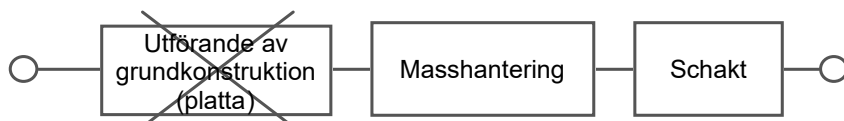
Systemet visas med elementen som block och kopplade med linjer mellan blocken. För att systemets funktion skall vara uppfylld måste det finnas minst en väg genom diagrammet. Viktigt att komma ihåg är att elementen inte behöver ligga i tidsordning, diagrammet skall bara belysa vilka de är och kopplingen dem emellan. I Figur 8 visas ett enkelt exempel på ett blockdiagram som visar huvudfunktionerna i ett system där målet med systemet är att få till stånd en färdig grundkonstruktion (plattgrundläggning).



Figur 8. Exempel på ett enkelt system visat som blockdiagram

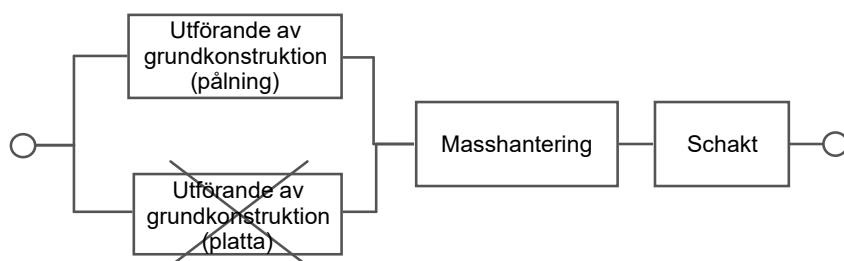
Systemet innehåller funktionerna Schakt, Masshantering och Utförande av grundkonstruktion (platta). Alla dessa måste fungera för att det skall finnas en obruten väg genom diagrammet

och systemet skall fungera. Om till exempel det inte går att utföra en plattgrundläggning så fungerar inte systemet, se Figur 9.



Figur 9. System som inte fungerar eftersom en funktion saknas

Om det finns alternativ som kan utföra samma funktion räcker det med att ett av alternativen fungerar, se Figur 10. I det systemet finns pålgrundläggning som ett alternativ till utförandet av grundkonstruktionen, så även om plattgrundläggning inte fungerar så finns det en obruten väg genom blockdiagrammet, dvs systemet fungerar.



Figur 10. System med alternativa funktioner

3.1.2 Reliability Block Diagrams

Det finns också så kallade Reliability Block Diagram, som kan användas för att beräkna systemets tillförlitlighet (eng. reliability). De är uppbyggda på samma sätt som blockdiagrammen, men innehåller också information om de olika elementens tillförlitlighet. Ur dessa kan man sedan beräkna systemets tillförlitlighet.

I detta Notat beskrivs inte Reliability Block Diagram, den som är intresserad hänvisas till litteraturen, se Kapitel 9.

3.1.3 Kan vara ett alternativ till felträd

Blockdiagram kan vara ett alternativ till felträd.

Ett blockdiagram visar hur olika element kan få systemet att sluta fungera om elementet faller bort och det inte finns någon alternativ väg. Ungefär samma gäller för felträd som visas senare i Kapitel 5. I felträd visas olika funktioner och vägar mellan dem och hur bortfall kan leda till att systemet inte fungerar.

Skillnaden är alltså att i blockdiagram tittar man på vilka funktioner som behövs för att systemet skall uppfylla sin funktion, medan man i felträd mer fokuserar på hot som kan få systemet att falla.

3.2 Hur rita blockdiagram?

3.2.1 Systemets funktion

Det första steget när man ritar blockdiagram är givetvis att göra klart avgränsningarna för systemet och vad det skall åstadkomma, alltså målet för systemet. Systemet är inte nödvändigtvis det stora övergripande systemet utan den del som man ansvarar för eller påverkas av, till exempel geotekniska arbeten inom ett husbyggnadsprojekt. Men det kan ibland behövas att man går lite utanför det egna området, till exempel om någon annans verksamhet kan ses som en nödvändig funktion i det geotekniska systemet, nödvändiga tillstånd är ett exempel.

3.2.2 För systemet erforderliga funktioner

När systemets funktion är definierad är nästa steg att identifiera nödvändiga element (funktioner) som krävs och att beskriva deras inbördes relationer.

Identifieringen påminner om riskidentifiering (se t.ex. SGF 2014), men med ”positiva förtecken”. Viktigt att komma ihåg är att inriktningen är främst på *vad* och inte på *hur* eller *när*, huvudfrågan är vilka funktioner som behövs och inte hur och när de behövs. Det kan dock förenkla identifieringen om man går igenom systemets funktion i tidsordning.

Bäst är att använda en ”top-down approach”, dvs att börja med huvudfunktionerna (huvudelementen) och att sedan vid behov använda samma metodik för att analysera de elementen.

I samband med att funktionerna identifieras så bör deras inbördes relationer redovisas, då i termer av ett system, se Avsnitt 2.

3.2.3 Kopplingar mellan funktionerna i systemet

Följande typer av kopplingar är de vanligaste, se Figur 11 och Figur 12.

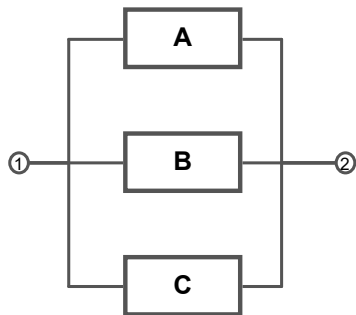
Serie



Figur 11. Funktionerna i blockdiagrammet är ett seriesystem

Det finns en enda möjlig väg genom diagrammet. Systemet fungerar om alla ingående element (funktioner) A – C fungerar.

Parallell

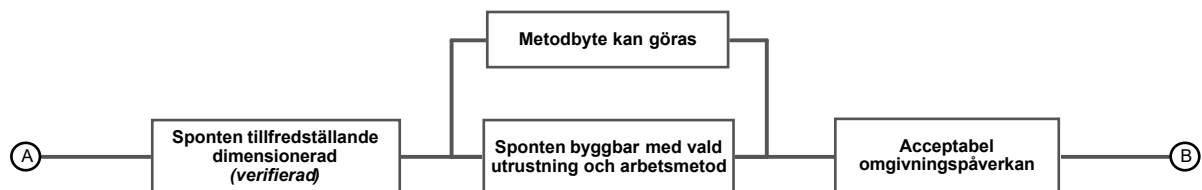


Figur 12. Funktionerna är ett parallellsystem

I ett parallellsystem finns det lika många vägar som element. Systemet fungerar så länge som något enda av elementen A – C (funktionerna) fungerar.

3.2.4 Redundans

Om man har element i en parallellkoppling talar man om redundans man har alltså ”överflödiga” element som säkerställer att systemet fungerar även om något av elementen inte gör det. Detta visas i Figur 13, som avser byggandet av en spont med funktionerna Dimensionering, Byggnade och Omgivningspåverkan. I anbudet har valts en specifik utrustning och metod för drivningen, men om den inte fungerar kan ett metodbyte göras till annan drivningsmetod. (exemplet hämtat ur SGF digitala kurs Grunder i geoteknisk riskhantering)



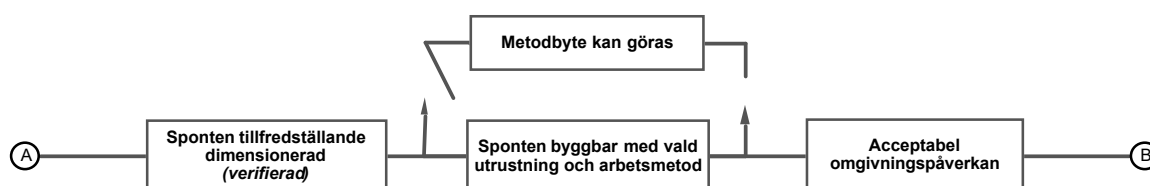
Källa: SGF Digital kurs – Grunder i geoteknisk riskhantering – teori och praktik

Figur 13. Blockdiagram för system med redundans för metoden för byggandet av spont

När det gäller redundans används begreppen aktiv redundans (hot standby) och standby-redundans (cold standby).

Vid hot standby är den redundanta funktionen ”inkopplad” och tar sin del av funktionen (lastdelning). Vid standby-redundans krävs att den ”kopplas in” innan den börjar fungera i systemet.

I vårt exempel (Figur 13) måste utrustning hämtas och kanske köpas innan den kan tas i drift, vi har alltså ett fall med standby-redundans. Ett vanligt sätt att visa detta är att rita in ”brytare” som måste slås till för att den redundanta funktionen skall träda i funktion, se Figur 14.



Källa: SGF Digital kurs – Grunder i geoteknisk riskhantering – teori och praktik

Figur 14. Blockdiagram för system med standby-redundans, (cold standby)

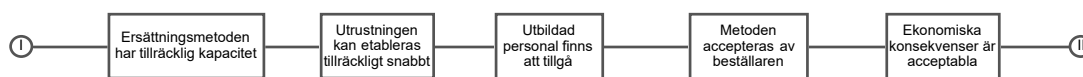
I geotekniska projekt förekommer båda typerna av redundans, exempel:

- Aktiv redundans: stag i bakåtförankrad spont, där dimensioneringen gjorts för att klara stagbortfall
- Standby-redundans: ofta byte av arbetsmetod eller utrustning, jämför ovan.

Vid systemanalysen är det viktigt att beskriva funktionskraven som gäller vid standby-redundans, så att funktionen verkligen finns som ett alternativ.

Ett illustrerande exempel:

Funktionen ”Metodbyte kan göras” kan brytas ner till ett seriesystem, se Figur 15. Om någon av funktionerna (elementen) i seriesystemet inte fungerar så har det ursprungliga systemet (Figur 13) i verkligheten ingen redundans.



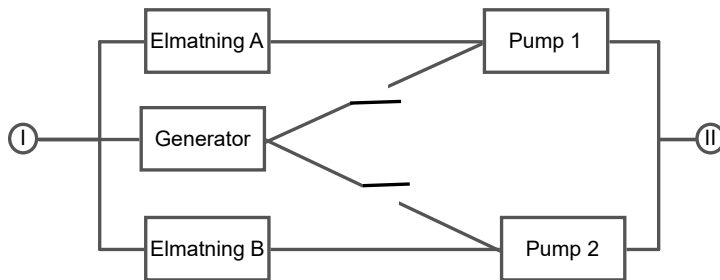
Figur 15. Funktionen "Metodbyte kan göras" kan brytas ner till ett seriesystem.

Ett speciellt fall av redundans finns där ett element (en funktion) kan ersätta något av flera andra. Ett påhittat exempel:

En schakt i bebyggelse är mycket känslig för hydraulisk bottenuppträckning. Stora krav ställs alltså på kontroll av grundvattentryck i bottenlagren. Man har därför installerat dubbla pumpanläggningar där vardera har kapacitet att hålla nere grundvattnet. Båda är konstant inkopplade, så vi har aktiv redundans (hot standby). För att ytterligare säkerställa funktionen har de

båda pumparna separat elförsörjning från nätet. Då det förekommit vissa elavbrott i området har man därför installerat en dieseldriven generator som kan startas och kopplas till endera eller bägge av pumparna (standby-redundans).

Systemet visas som blockdiagram i Figur 16.



Figur 16. System för att kontrollera grundvattennivån med två pumpar parallellt och med generator i standby-redundans

3.3 Några tips för att rita ett läsbart blockdiagram

Att rita ett blockdiagram är ett ingenjörsarbete som skall göras av en geotekniker.

Det finns ingen svensk standard utan man får anpassa diagrammet efter behov. Viss ledning ges nedan och i den litteratur som listas tillsammans med referenser.

3.3.1 Klargör målet och huvudfunktioner som behövs

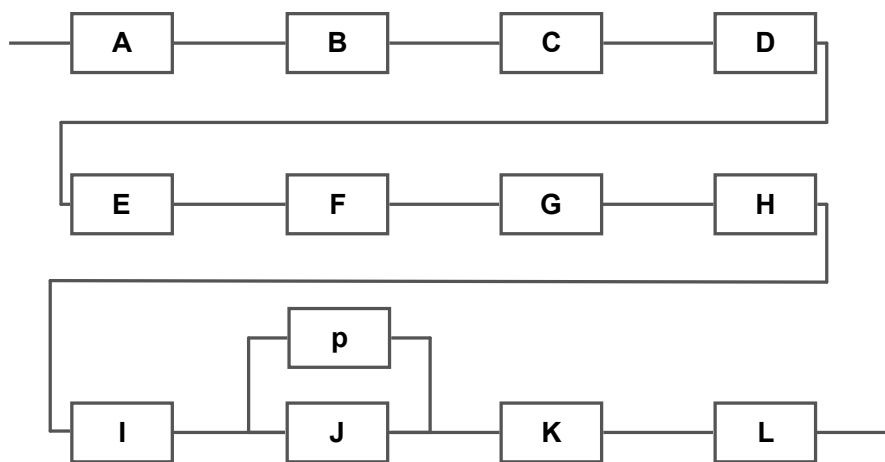
Användbarheten hos ett blockdiagram styrs av dess läsbarhet och struktur. För att diagrammet skall bli tydligt är ett första krav att den som ritat det har klargjort för sig vad som är det mål som skall uppnås av systemet. Observera att målet är kopplat till vilken aktören är.

När målet är klarlagt kan man börja lista vilka funktioner som ingår och sedan hur de är kopplade inbördes. Sedan kan man fortsätta med att öka detaljeringsgraden efter behov och önskemål.

3.3.2 Gör stora seriesystem läsbara

Huvudstrukturen hos systemen är ofta ett seriesystem som kan bli väldigt långt och slingrande!

Ett sätt att hantera det problemet är att rita diagrammet på flera rader, med krökar på vägen genom diagrammet. De ordnas bäst som i Figur 17, så att man läser varje rad från höger till vänster. Givetvis kan man anpassa avståndet mellan raderna så att parallella funktioner kan ritas in.



Figur 17. Seriesystem med en parallellfunktion ritat på flera rader

3.3.3 Dela upp blockdiagrammet i undersystem

Ett sätt att göra diagrammen mer överskådliga vartefter de görs mer detaljerade är att lägga in undersystem, som mer detaljerat visar uppbyggnaden av olika funktioner. Undersystemen kan läggas in i olika nivåer, där undersystemen (funktionerna) i sin tur delas upp.

Detta har fler fördelar, dels blir uppritandet och läsandet enklare, dels kan man fördela uppgiften att rita undersystemen till de som har hand om den funktionen (delprojektet).

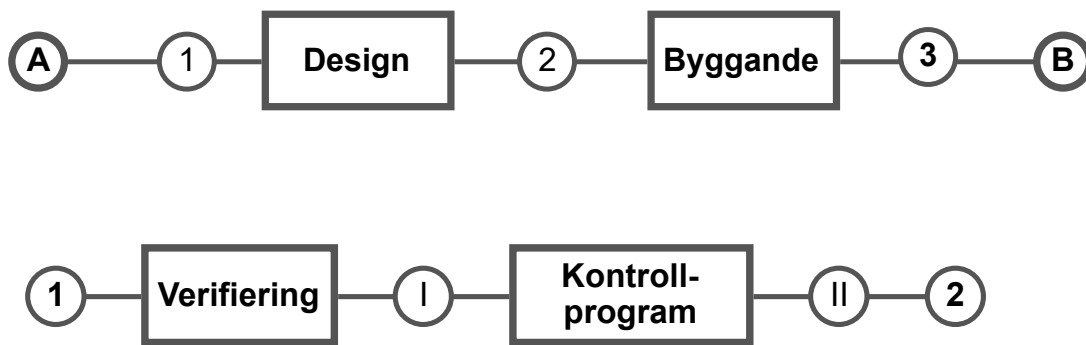
Ett exempel på uppdelning av blockdiagram som avser design och byggande av en spont.

Blockdiagrammet för huvudsystemet i dess enklaste form innehåller bara funktionerna Design och Byggande, se Figur 18.



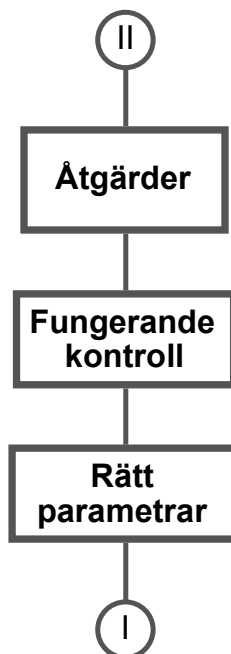
Figur 18. Byggande av spont, huvudsystemet som blockdiagram

Funktionen Design kan göras mer detaljerad, se Figur 19, där olika funktioner som finns mellan två nummerade punkter på vägen genom diagrammet motsvaras av ett mer detaljerat diagram, med samma nummeringar. Funktionen Design delas här upp (mellan punkterna 1 och 2) i funktionerna Verifiering och Kontrollprogram.



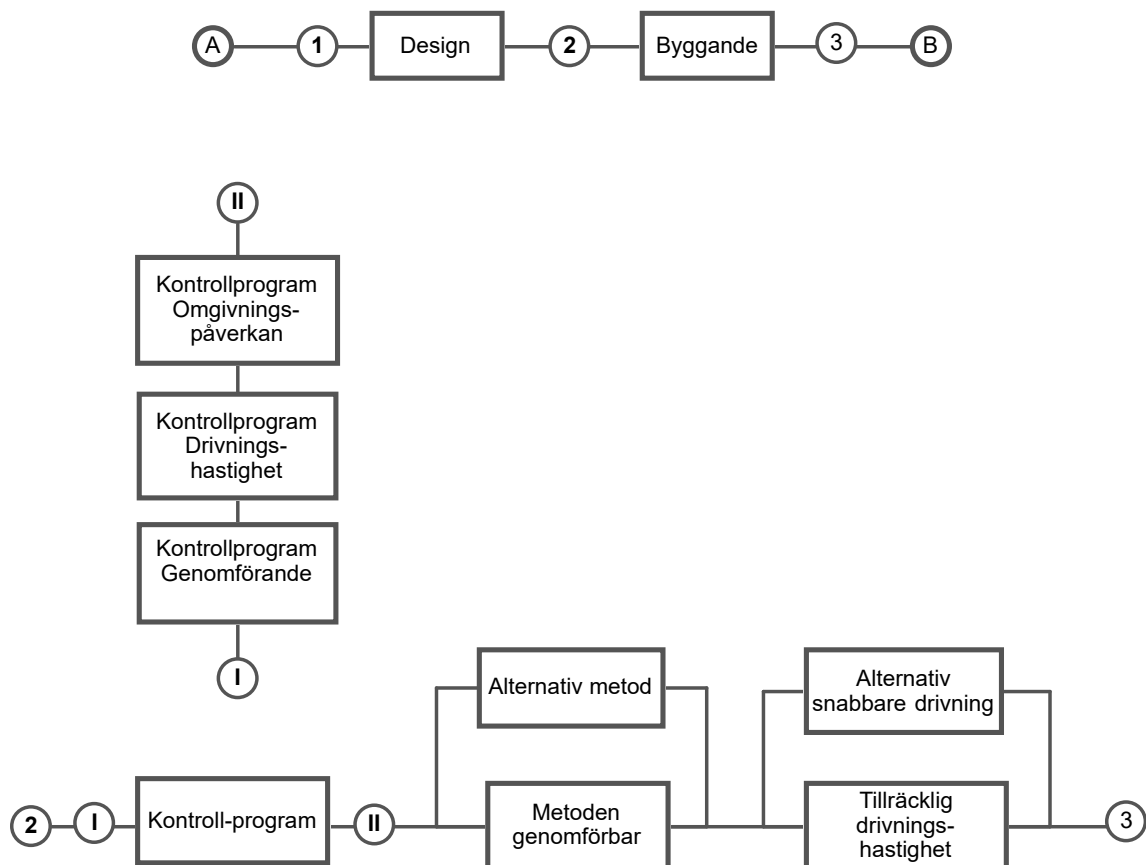
Figur 19. Detaljering av funktionen Design

Funktionen Kontrollprogram kan i sin tur göras mer detaljerad (mellan punkterna I och II), se Figur 20.



Figur 20. Detaljering av funktionen Kontrollprogram

På motsvarande sätt kan man detaljera funktionen Byggande, se Figur 21.



Figur 21. Funktionen Byggande detaljerad i två nivåer.

3.4 Att läsa och tyda blockdiagram

Det måste finnas minst en väg genom diagrammet. Genom att följa linjen genom diagrammet kan man identifiera vilka funktioner som är nödvändiga för att systemet skall fungera och vilka som är redundanta, det vill säga som kan ersätta en annan funktion.

Detta framgår av hur elementen (funktionerna) är länkade, i serie eller i parallell.

Sammanfattning av de olika stegen när man läser blockdiagram

1. Identifiera block och kopplingar:
 Block: Varje block i diagrammet representerar en komponent eller ett delsystem inom det större systemet.
 Kopplingar: Linjer förbinder blocken och indikerar hur komponenterna är relaterade i termer av deras inverkan på systemfunktionen.
2. Hitta seriekonfigurationer:
 Funktion: I en seriekonfiguration måste alla block fungera för att systemet ska fungera. Om något block i en serie fallerar, fallerar hela systemet
3. Hitta och förstå parallella konfigurationer:
 Funktion: I en parallellkonfiguration fungerar systemet så länge minst ett block är i drift. Systemet fallerar bara när alla parallella block fallerar.

4. Identifiera kritiska komponenter och felvägar
En bedömning bör göras av hur troligt det är komponenten inte fungerar så att risken kan hanteras
5. Effekt av förändringar:
Du kan analysera hur förändringar i komponenternas tillförlitlighet eller systemets konfiguration (till exempel genom att lägga till redundans) skulle påverka den övergripande systemets tillförlitlighet.

3.5 Verktyg och programvara för blockdiagram

Det finns speciella program för att rita och utvärdera blockdiagram, till exempel ReliaSoft BlockSim, Relyence RBD, and Isograph, men om man bara behöver visualisera systemet kan andra program, som inte är specialiserade användas.

Blockdiagrammet är ju i princip ett flödesschema, så ritprogram som Visio kan användas. (Illustrationerna i detta Notat har gjorts med Inspiration). För enstaka tillfällen kan också Excel, Word och Powerpoint (eller motsvarande) användas.

Några förslag på gratisprogram på Internet visas i Tabell 1 nedan,

Tabell 1. Programvaror för Reliability Block Diagram (RBD)

Programvara	OS	Systemkrav	Pris	Länk
PyRBD++	WindowsLinux, macOS	Python 3.x, C++	Gratis	https://github.com/shakt-hij98/PyRBD_plusplus
PyRBD	WindowsLinux, macOS	Python 3.x	Gratis	https://mediatum.ub.tum.de/attachment/1752178/incoming/2024-Aug/bp5zv4obiohdp8xhj9pmlgy8.PyRBD%3A%20An%20Open-Source%20Reliability%20Block%20Diagram%20Evaluation%20Tool.pdf
EdrawMax	Windows-macOS		Gratisversion tillgänglig	https://www.edrawsoft.com/reliability-block-diagram-software.html

4 HÄNDELSETRÄD: VART KAN HÄNDELSEN LEDA?

Händelseträd är ett hjälpverktyg i ingenjörsarbetet som hjälper ingenjören att strukturera sin analys av ett händelseförlopp. Det ersätter inte ingenjörsarbetet men underlättar det och gör analysen mer strukturerad.

4.1 Till vad används händelseträd?

Frågor som skall besvaras:

- Vad kan den här händelsen utvecklas till?
- Hur troligt är det?
- Möjliga konsekvenser?

Ett händelseträd är en vänster – höger (eller botten - upp) symbolisk modell som används för att analysera vad en händelse, starthändelsen; kan få för följdhändelser. Begreppet ”händelse” kan här användas om metodval, materialegenskaper, oförutsedd händelse.

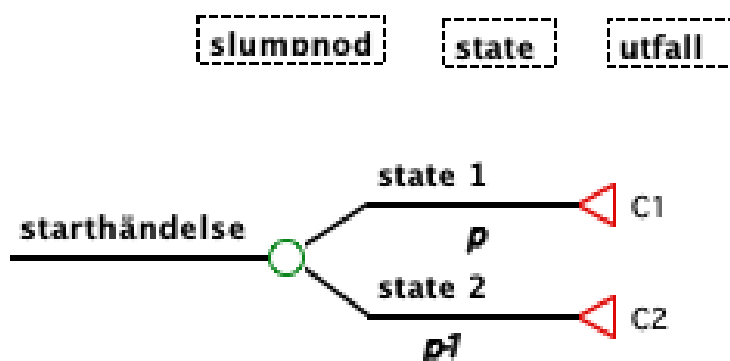
Händelseträdet visar möjliga händelsekedjor som kan leda från starthändelsen fram till en slutlig konsekvens.

4.2 Händelseträdets uppbyggnad

4.2.1 Elementen

Ett händelseträd byggs upp av ett antal element, se Figur 22:

- En starthändelse
- En eller flera slumpnoder, där händelsekedjan kan gå olika vägar som leder till olika
- States (of nature) som innebär olika. Hur troligt det är att gå till ett bestämt state anges med
- Sannolikheter (markeras med p)
- Utfall (konsekvenser)



Figur 22 .Delarna som ingår i ett beslutsträd

4.2.2 Exempel: dieseltransport

Scenariot: En husentreprenör har fått en entreprenad att bygga fundament till vindkraftverk i ett avlägset område. Entreprenörens platschef resonerar om bränsleförsörjningen:

”Här krävs det många stora maskiner och dom dricker diesel! Men vi gör som vanligt, dom får ringa från arbetsplatsen när det behövs mer, så skickar vi upp en bil från centralförrådet. Det är klart att det är en bit upp i skogen, men vi har ju gott om bra förare så det är bara att ta någon som råkar vara ledig.”

Vägen till byggplatsen är en vacker liten grusad väg. På en sträcka går den bredvid en liten å som rinner ner till staden och förser vattenverket med vatten.

Vid ett tillfälle när man anmäler att det är ett brådskande behov av diesel är det mycket regnigt men jobbet skall gå med full fart ändå. Man skickar iväg unge Sven med diesel. Inte så erfaren och har aldrig kört den där vägen förut.

I en kurva kör bilen av vägen, välter och börjar kraftigt läcka diesel, med skador på bilen men utan personskador.

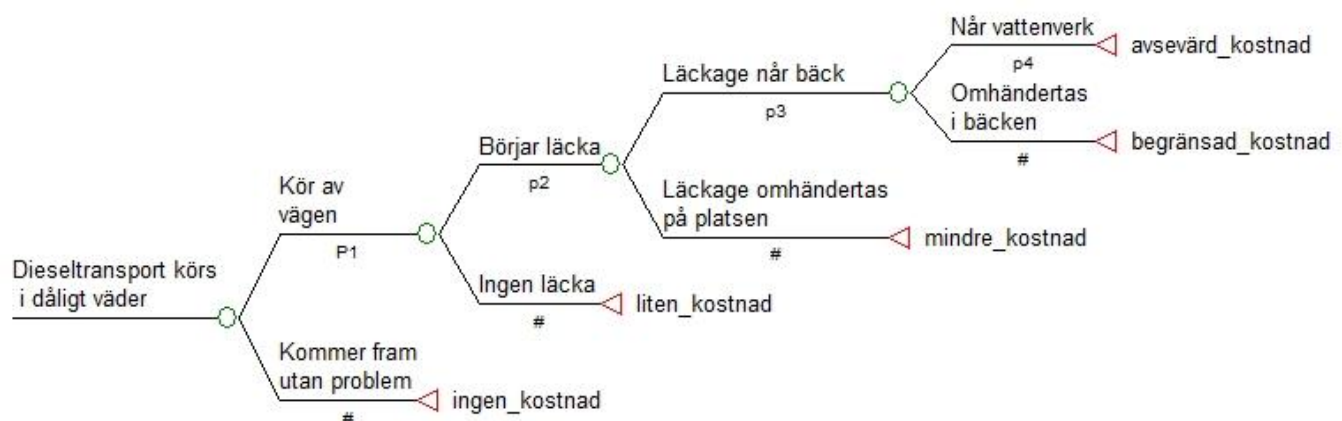
Dieseln rinner ner i den närbelägna ån och flyter med den ner till en liten sjö som är vattentäkt och hamnar sedan i vattenverket. Följden blir att vattenverket måste stoppas och saneras innan dricksvatten kan levereras igen.

Det blir naturligtvis våldsamma reaktioner med företaget uthängt i tidningen.

Kommentaren från bolagets vd är bister:

”Man kan inte driva ett jobb och bara ha backspeglarna att titta i! Man kan behöva kasta ett öga i kikaren framåt också och gissa lite om framtiden. Då kan man kanske undvika sådana här smällar”

Ett sätt att titta framåt är att konstruera ett händelseträd som har den initierande händelsen: *Dieseltransport körs i dåligt väder*. Ett förslag visas i Figur 23



Figur 23. Händelseträd för dieseltransport

Slumpnoder ritas med cirklar och utfall med trianglar.

Händelserna i de olika kedjorna, deras konsekvenser och sannolikheter visas i Tabell 2.

Tabell 2. Händelser i trädet för dieseltransport

Händelser i kedjan	Konsekvens	Sannolikhet
Kommer fram	Ingen kostnad	$1-p_1$
Kör av vägen; ingen läcka	Liten kostnad	$p_1 \times (1-p_2)$
Kör av vägen; börjar läcka; läckage omhändertas på plats	Mindre kostnad	$p_1 \times p_2 \times (1-p_3)$
Kör av vägen; börjar läcka; läckage når bäck; omhändertas i bäcken	Begränsad kostnad	$p_1 \times p_2 \times p_3 \times (1-p_4)$
Kör av vägen; börjar läcka; läckage når bäck; når vattenverk	Avsevärd kostnad	$p_1 \times p_2 \times p_3 \times p_4$

4.3 Hur ritas man ett händelseträd?

Som i all annan hantering av osäkerheter i geotekniken är skapandet av ett händelseträd ett kreativt ingenjörsarbete. Man måste alltså ha en god förståelse för problemställningen rent ingenjörsmässigt, men man behöver också kunna metodens principer och följa dem samt ha ett mått av fantasi.

Ett händelseträd skall representera ett system, där händelser inträffar i tiden och eller rummet. Då skall händelserna avbildas i trädet i den ordning de kommer i en orsakskedja.

4.3.1 Starthändelsen

Det är viktigt att scenariot är tydligt klargjort och definierat. Eventuella begränsningar i analysens omfattning måste fastställas

Den initierande "händelsen" skall definieras. Den kan vara en händelse, men också till exempel en materialegenskap ("bergets hållfasthet mindre än vad som antagits") som kan leda till konsekvenser.

4.3.2 Grenar

Grenarna kan ritas antingen som i exemplen ovan eller vinkelrätt, någon standard finns inte.

Det är också möjligt att ha flera grenar från varje slumpnod, och i sådana fall där det handlar om utfall av ett mått, till exempel skjuvhållfasthet, kan utfallet ritas kontinuerligt, och sedan beskrivas med statistiska mått.

Det finns stränga formella krav på grenarna som kommer från en slumpnod.

Det krävs av grenarna att de är:

Ömsesidigt uteslutande

De är skrivna så att om man går en väg så kan man inte samtidigt gå en annan. Det ställer krav på en otvetydig beskrivning av de olika vägarna ut från förgreningen

Kollektivt uttömmande

Alla tänkbara utfall är beskrivna. Det skall inte finnas en möjlig väg fram till en konsekvens som inte finns med i trädet. Detta ställer krav på föreställningsförmågan och kunskapen hos den som gör analysen!

4.3.3 Håll nere storleken

Antalet grenar i trädet ökar snabbt, och det blir snart ett oöverskådligt buskage.

Ett alternativ då vara att övergå till så kallade influensdiagram, Baecher & Christian (2003), Norrman (2004)

4.3.4 Beskriv konsekvenserna

Konsekvenserna skall naturligtvis även de beskrivas på ett entydigt sätt. Hur stora de blir beror på ett antal faktorer. De kan styras av den händelsekedja som lett fram till dem men också av omgivningsfaktorer, åtgärder som vidtas efter att konsekvensen inträffat o.s.v.

Ibland kan det därför vara motiverat med ett ytterligare händelseträd, ett konsekvensträd, som har som initierande händelse att en viss konsekvens inträffat, Baecher & Christian (2003).

4.4 Sannolikheter i händelseträd

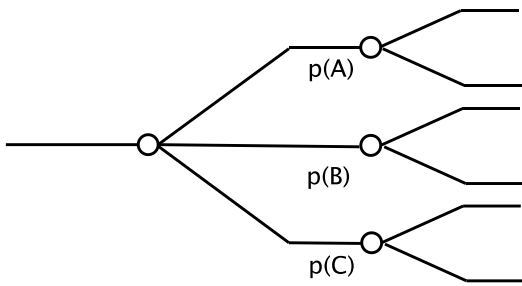
För att händelseträdet skall bli komplett, behövs att osäkerheter tas med i händelsekedjan så att man får en bild av hur troliga de olika konsekvenserna är. För detta behövs dels sannolikheter för olika händelser inuti trädet, dels ett sätt att beräkna sannolikheten för varje konsekvens (utfall).

4.4.1 Sannolikheter inuti trädet

När man kvantifierar trädet måste man sätta sannolikheter på varje gren i det. Metodik för åsättande av sannolikheter finns beskriven till exempel i SGF (2022).

Eftersom det gäller att bedöma sannolikheten för en i händelseträdet definierad händelse som kan påverkas av ett antal osäkerheter så kan felträd vara till stor hjälp, se Kapitel 5 och Kapitel 6.

Eftersom det vid varje slumpnod gäller att grenarna skall vara kollektivt uttömmande så följer att summan av sannolikheterna för grenarna från en nod måste vara 1.



$$p(A) + p(B) + p(C) = 1$$

Figur 24. Sannolikheter vid slumpnod måste ha summan 1

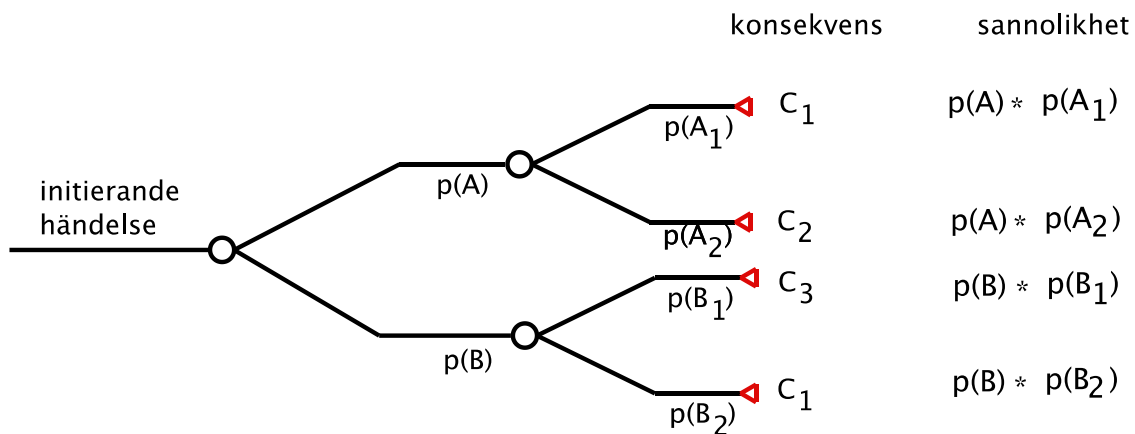
4.4.2 Hur troliga är de olika utfallen?

Sannolikheten att nå fram till en viss konsekvens, är sannolikheten för att följa en viss händelsekedja genom trädets.

Varje gren har alltså en sannolikhet som är produkten av alla de sannolikheter som leder dit.

Noteras bör att man kan ha konsekvenser definierade på ett sätt som gör att man kan drabbas av samma konsekvens genom att följa olika händelsekedjor. I det fallet blir sannolikheten för en viss konsekvens lika med summan av sannolikheterna för de händelsekedjor som slutar med den. I Figur 25 är sannolikheten för att få konsekvensen C1 lika med

$$p(A) * p(A_1) + p(B) * p(B_2)$$



Figur 25. Sannolikhet för olika konsekvenser

4.4.3 Att tänka på när man använder händelseträd

Faror vid felanvändning

Man måste förstå det system man studerar så att man hittar alla väsentliga händelser och kan modellera dem i trädets på ett bra sätt. Man måste också bedöma sannolikheterna på ett korrekt

sätt. Om detta inte görs rätt får man ett händelsetråd som kan verka förtroendeingivande men innehålla allvarliga fel. Metodik för åsättande av sannolikheter finns beskriven till exempel i SGF (2022).

Hur resultatet bör presenteras

Redovisa:

- En beskrivning av det system man analyserat och begränsningar i analysen
- Grafisk redovisning av händelsetrådet
- Tabellering av konsekvenser och sannolikheter
- Förtydligande beskrivningar av händelser i trädet
- Motiv för val av sannolikheter. Redovisning av eventuella felträd

4.4.4 Beslutsträd

När man ställs inför valet mellan två och flera alternativ, där slutlig kostnad avgörs av slumpen kan en metod för beslutsstöd vara så kallade beslutsträd. Ett beslutsträd är sammansatt av händelsetråd, där den initierande händelsen är att man väljer den grenen. Den första noden blir alltså inte en slumpnod, utan en annan typ av nod, en beslutsnod.

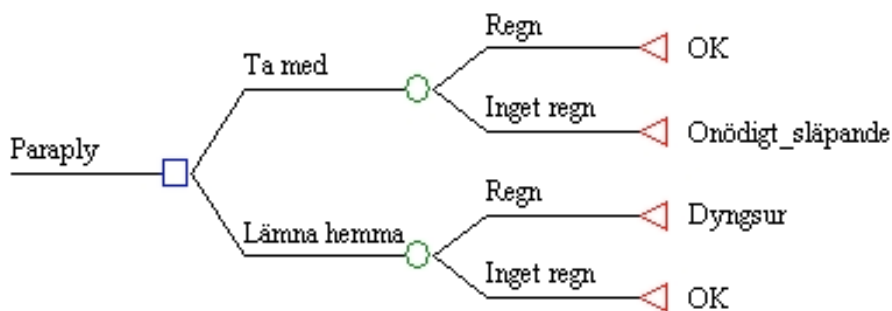
Beslutsträdet har alltså tre typer av noder, se Figur 26



Figur 26. Typer av noder i beslutsträd

Först skapas beslutsträdet, med valalternativ, slumpnoder och möjliga utfall. Det illustreras i Figur 27, men det klassiska exemplet om att ta med paraply.

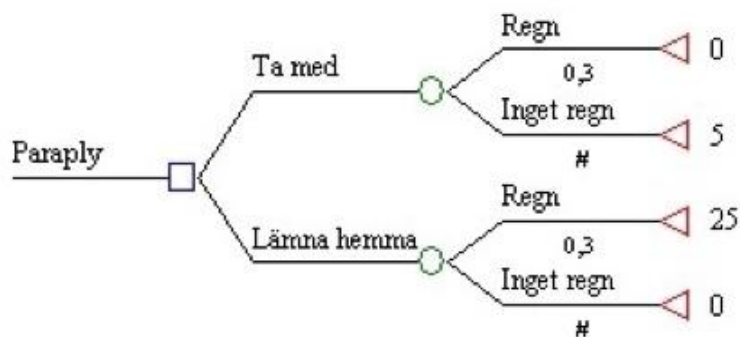
Valmöjligheter Möjliga händelser Konsekvens



Figur 27. Beslutsträd "Ta med paraply?"

När beslutsträdet är byggt, kvantifieras både sannolikheter och konsekvenser, se Figur 28. Konsekvenserna har här angivits i "obehagsekvivalenter", så ju färre sådana dess bättre. Sannolikheten för regn har åsatts till 0,3.

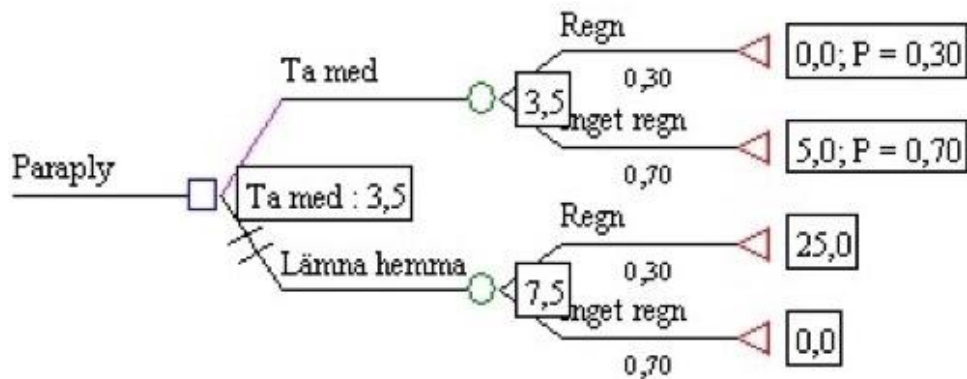
Valt alternativ	Verkligt utfall	
	Regn	Inget regn
Paraply	0	5
Inget paraply	25	0



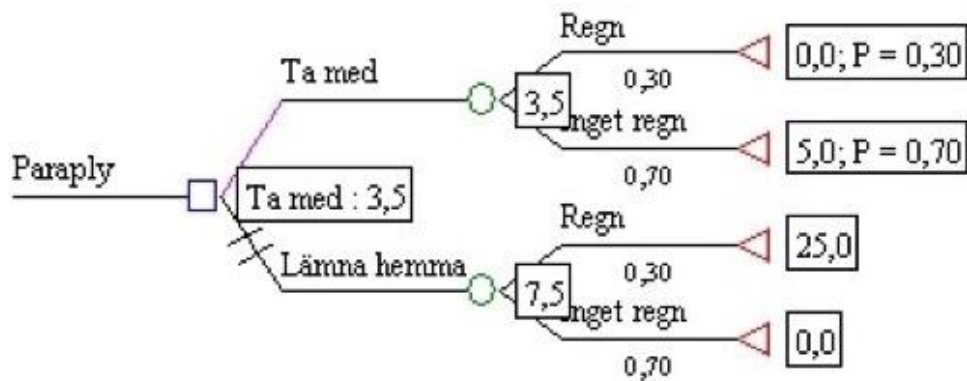
Figur 28. Kvantifierat beslutsträd "Ta med paraply"?

Utvärdering av alternativen görs sedan genom en så kallad roll-back av sannolikheter och konsekvenser, där att man använder produkten av utfallet och sannolikheten att få det. Detta görs tills man når beslutsnoden och ser förväntade

värdet av varje beslut. Detta visas i



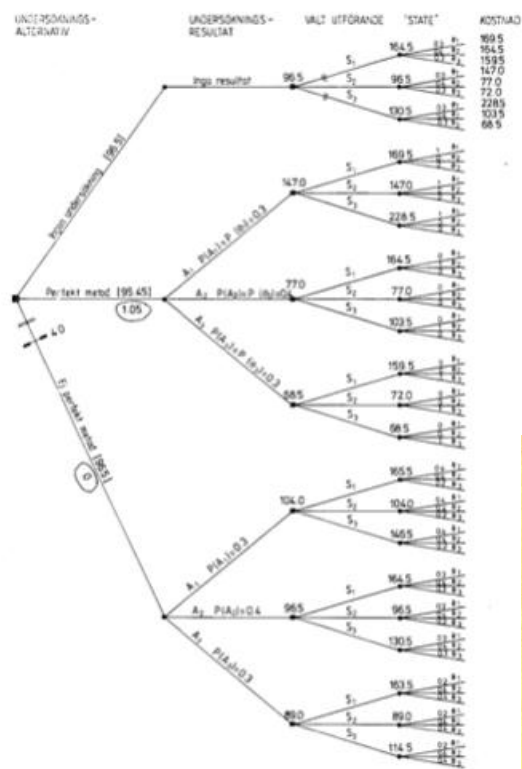
Figur 29 där man kan se att alternativet "Ta med paraply" är det som bör väljas. I detta fall vill vi ju ha ett så litet förväntat värde som möjligt, eftersom vi arbetat med negativa "obehagsekvivalenter". Grenen med förväntat värde = 3,5 skall alltså väljas



Figur 29. Utvärderat beslutsträd "Ta med paraply?", som visar att alternativet "Ta med" bör väljas

Ett mer geotekniskt inriktat exempel finns i Olsson & Stille, 1980. Där beskrivs hur beslutsteori kan tillämpas när det gäller beslut om ytterligare grundundersökning för en planerad spont, där hänsyn tas även till undersökningens tillförlitlighet. I Figur 30 visas ett stort beslutsträd med flera nivåer ur rapporten.

Figur 30 Stort beslutsträd ur Olsson & Stille, 1980



Rapport R174:1980

Lönar sig en kompletterande grundundersökning?
 Beslutsteori tillämpad på ett spottningsobjekt

Lars Olsson
 Håkan Stille

Byggnadsförvaltningen

4.5 Verktyg och programvara för händelseträd

Kommersiella program är normalt dyra. Förslag på gratisprogram på Internet ges i Tabell 3 nedan

Tabell 3. Programvaror för händelseträd (Event Tree Analysis, ETA)

Programvara	OS	Systemkrav	Pris	Länk
ADAPT	Windows, Linux	MELCOR, RELAP5, RADTRAD, RADTRAN, SAS4A/SASSYS-1	Gratis	https://www.sandia.gov/adapt/
SCRAM	Windows, Linux	Python 3.x	Gratis	https://github.com/rakhimov/scram

5 FELTRÄD: HUR UPPKOMMER SKADEHÄNDELSEN?

Händelsetråd (Kapitel 4) används för att beskriva vilka följdhändelser som kan komma av en initierande händelse. Ett exempel: om vi får stora deformationer i en spont, vad kan konsekvenserna bli? Om man vill analysera hur en händelse kan uppkomma är felträd en användbar analysmetod.

Exempel: Vad kan orsaka för stora deformationer i sponten? Man kan även kvantifiera felträdet (med sannolikheter) och då beräkna sannolikheten för händelsen.

5.1 Till vad används felträd?

Frågor som skall besvaras:

- a) Vad kan orsaka att den här händelsen inträffar?
- b) Vad finns i de händelsekedjor som leder fram till den?
- c) Hur troligt är det att händelsen inträffar?

Trädet konstrueras uppifrån och nedåt, varvid man börjar med att sätta den studerade, ofta oönskade, händelsen som topphändelse. Man arbetar sig sedan ner i trädet genom att identifiera alla vägar som kan leda till topphändelsen. Man har då ett kvalitativt felträd, som beskriver (en del av) det studerade systemet. Man kan sedan sätta sannolikheter för de olika händelserna och får då ett kvantitativt felträd, som kan utvärdera sannolikheten för topphändelsen, se Avsnitt 5.4.3.

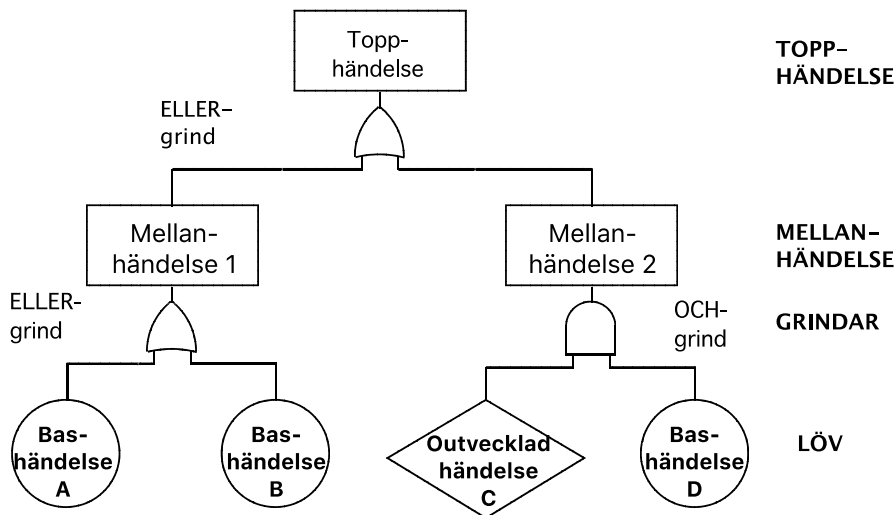
Punkterna a) och b) gäller alltså för alla felträd, punkten c) bara för kvantitativa felträd.

5.2 Felträdets uppbyggnad

Ett felträd byggs upp av logiska grindar i en trädstruktur som grenar ut sig neråt, mot ”löv” i trädet. När man bygger upp felträdet utgår man från den oönskade händelsen, topphändelsen” och identifierar de händelser som kan leda till topphändelsen, mellanhändelser. Sedan analyserar man var och en av dessa händelser ytterligare till dess man kommer ner till så kallade löv som kan vara bashändelser eller händelser som man inte anser sig behöva utveckla ytterligare i analysen.

5.2.1 Huvudstrukturen och de olika elementen

I Figur 31 visas ett enkelt felträd med några vanliga elementtyper, händelser (topp- och mellan) grindar och löv. De symboler som används i det följande är vanligt förekommande men det finns även andra.



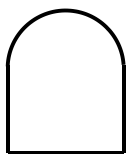
Figur 31. Enkelt felträd med några olika elementtyper.

5.2.2 Grindar

Det finns ett antal olika grindar som kan användas i ett felträd.

De vanligaste är OCH-grind samt ELLER-grind, se Figur 32. I figuren ges också ekvationerna för att beräkna sannolikheten att få en utgående händelse, om man har sannolikheten för två ingående händelser, A och B.

Det finns mer specialiserade varianter av dessa grindar, men de tas inte med här.



OCH-grind

utgående händelse inträffar om
alla inkommande händelser inträffar
ekvation: $A \cdot B$



ELLER-grind

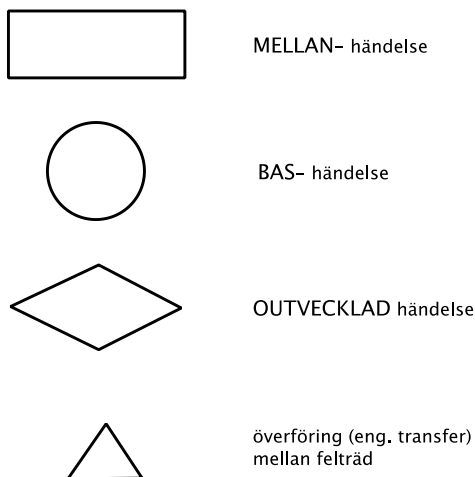
utgående händelse inträffar om minst
en inkommande händelse inträffar
ekvation: $A + B - (A \cdot B)$

Figur 32. De vanligaste grindarna i felträd

5.2.3 Händelser och löv

Ibland används blad i stället för löv för att beteckna de yttersta elementen på trädet)

Vanliga symboler för händelser och löv visas i Figur 33.



Figur 33. Symboler för vanliga händelser och löv i felträd.

Händelser

Toppändelsen är den som analysen utgår ifrån.

Mellanhändelser är händelser i trädet. De kan leda uppåt och har själva orsakande händelser under sig. De kan finnas i flera nivåer.

Löv

Bashändelser är en typ av ”löv” i trädet. En initierande händelse för vilken man kan åsätta sannolikheten.

Outvecklad händelse: man kan inte eller anser det onödigt att dela upp ytterligare

Transfer-symbol. Används för att koppla felträd, särskilt om de har blivit stora.

5.3 Hur ritar man ett felträd?

Felträd är ju en grafisk ingenjörsmetod att användas vid beskrivning av ett system. Vid skapandet av felträd ritar man alltså upp dem, eventuellt med hjälp av särskilda dataprogram, se Avsnitt 5.5. Felträd ritas uppifrån och ner tills man når en nivå där man kan ange ”löv” som alltså är initierande händelser i en kedja och för vilka man, när det gäller kvantitativa felträd, är villig att ange sannolikheten att de inträffar.

5.3.1 Beskrivning av topphändelse

Det är väsentligt att topphändelsen, som ju är den man söker sannolikheten för, verkligen är entydigt definierad och entydigt beskriven.

Beskrivningen skall klara en så kallad klärvoajanstest. Man föreställer sig då en klärvoajant person som känner alla fakta om universum, i förfluten tid, nu-tid och framtid. Om beskrivningen är tydlig och entydig skulle en sådan person med säkerhet kunna säga om händelsen ska inträffa eller inte eller om den har inträffat, eller kunna ge ett exakt värde på någon efterfrågad storhet.

”bensinpriset” klarar inte klarhetstestet, men ”medelpriset för 95-oktanig bensin hos alla försäljare i Stockholms län 2033-09-05 kl 15” gör det

5.3.2 Underliggande händelser

Utgående från topphändelsen skall man sedan hitta och rita in underliggande händelser som kan leda fram till topphändelsen och de kopplingar (via grindar) som finns från de underliggande händelserna.

5.3.3 Viktiga arbetsprinciper

- Gör varje nivå klar (identifiera alla på den nivån). I Figur 31, gå inte vidare med någon av mellanhändelserna innan alla mellanhändelser har identifierats.
- I trädet får man inte gå direkt från en grind till en annan grind, det måste finnas en mellanhändelse
- En annan regel är att det inte får vara endast en gren till en grind.

5.3.4 När sluta gå neråt?

Till skillnad från händelsetråd kan man låta ett felträd växa utan att det blir oöverskådligt. Arbetet med att bygga ut trädet, med fler nivåer av underliggande händelser fortgår till dess man kommer till en bashändelse eller till en händelse man inte vill utveckla ytterligare.

Bashändelse

I ett kvalitativt felträd är en bashändelse den mest grundläggande, utvecklade grundorsaken till ett systemfel på högsta nivå som inte man inte kan eller vill bryta ner ytterligare i andra händelser på lägre nivå inom ramen för analysen.

I ett kvantitativt felträd gäller dessutom att en bashändelse är en händelse som man är villig att åsätta en sannolikhet för.

Utvecklad händelse

En utvecklad händelse är en sådan som man i ett kvalitativt felträd inte ser sig ha skäl att utveckla ytterligare, till exempel för att en sådan utveckling inte nämnvärt skulle öka förståelsen för systemets funktion.

I ett kvantitativt felträd är det en händelse som i och för sig kan utvecklas ytterligare, men som man ändå kan åsätta en sannolikhet för.

5.4 Sannolikheter i felträd

För att ett felträd skall bli kvantifierat krävs att man åsätter sannolikheter för varje händelse under toppnivån. Sannolikheterna är subjektiva, och åsättandet kan göras till exempel enligt SGF 2022 och SGF 2025.

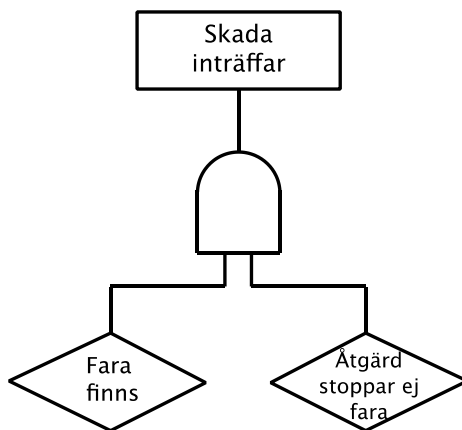
5.4.1 Oberoenden etc

Händelserna i ett felträd behöver inte vara statistiskt oberoende även om utvärderingen förenklas.

5.4.2 Olika grindar

Det finns ett antal olika grindar som kan användas i felträd, men vanligen använder man sig i huvudsak av OCH-grindar och ELLER-grindar, se Figur 32.

Ett exempel på hur man kan modellera effekten av att en åtgärd, till exempel övervakning, inte fungerar visas i Figur 34. I figuren har både faran och åtgärden modellerats som utvecklade händelser. I verkligheten hade de modellerats ytterligare, för att visa underliggande händelsekedjor. En sak att observera här är att en åtgärd inte fungerar kan vara tidsaspekten, jämför med redundans och cold standby, Avsnitt 3.2.4.



Figur 34. Effekt av brister i åtgärd modellerad med OCH-grind

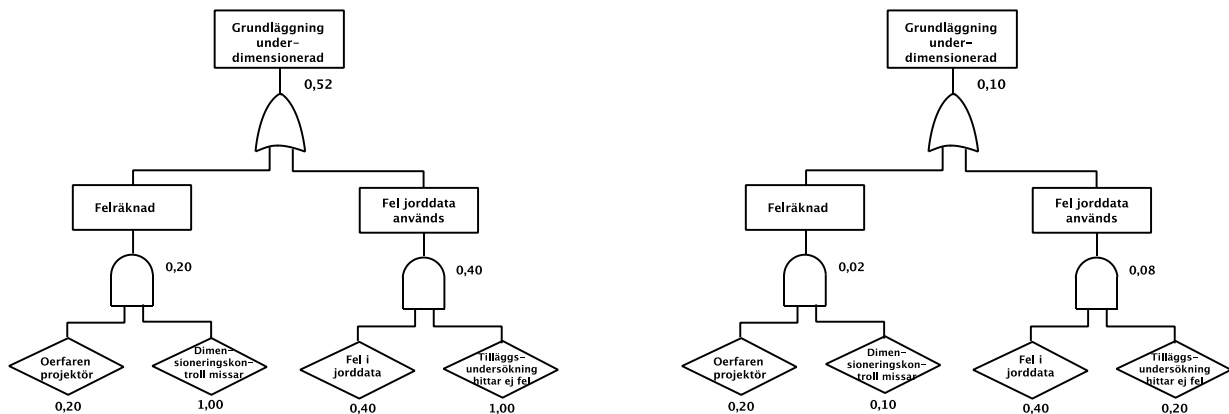
5.4.3 Utvärdering

Utvärderingen av ett felträd görs nedifrån och upp, alltså i motsatt riktning mot hur man ritat upp det. Vid utvärdering av felträd är två saker av intresse:

- den eller de händelsekedjor går från starthändelse till topphändelse, så kallade *cut sets*, och då särskilt de kortaste.
- om felträdet är kvantifierat, sannolikheten för att topphändelsen inträffar.

Utvärderingen av små felträd kan göras ”manuellt” med de uttryck som gäller för de olika grindarna, se Figur 32, medan det för större mer komplicerade träd behövs särskild programvara.

Ett exempel på ett mycket enkelt träd där man kan följa utvärderingen upp genom trädet visas i Figur 35. I figuren visas två fall, till vänster utan tilläggsundersökning eller kontroll av dimensioneringen, vilka alltså har båda sannolikheten $P = 1$ att inte hitta några fel. I den högra visas motsvarande träd med en dimensioneringskontroll som har en sannolikhet 0,1 att inte hitta fel (90% effektiv) och en tilläggsundersökning som har motsvarande sannolikhet att inte hitta fel $P = 0,2$.



Figur 35. Exempel på utvärdering av enkelt felträd

I det vänstra trädet blir sannolikheten för topphändelsen, se ekvationer i Figur 32:

$$P = (0,2 * 1,00 + 0,4 * 1,00 - 0,2 * 0,4) = 0,52$$

I det högra, med kontroller får man $P = (0,2 * 0,10 + 0,40 * 0,20 - 0,02 * 0,08) = 0,10$

5.4.4 Common cause

Det kan inträffa att det finns en initierande händelse (löv) i felträdet som kan orsaka att flera felhändelser inträffar. Detta kallas för ”common cause failure”. I felträdet syns detta genom att den initierande händelsen finns i flera olika grenar på trädet.

Om denna händelse inte är identifierad kan sannolikheten för att topphändelsen inträffar bli kraftigt underskattad.

5.4.5 Att tänka på när man använder felträd

Felträd och blockdiagram kan ge samma upplysningar om systemet. Vilket skall man då välja? Några skillnader visas i Tabell 4. (Efter de Vasconcelos et al. 2019)

Tabell 4. Skillnader mellan blockdiagram och felträd

Blockdiagram	Felträd
Visar de vägar i ett system som leder till framgångsrik funktion	Visar logiska samband mellan de bashändels som kan leda till topphändelsen (en oönskad händelse eller systemfel)
Arbetar i "framgångsrymden"	Arbetar i "felrymden"
Modellerar och utvärderar statistiskt konfigurationer av statistiskt oberoende komponenter i serie, parallell eller kombinationer	Sannolikheten för topphändelsen kan beräknas utifrån sannolikheten för bashändelserna.
Det är vanligen svårt att omvandla ett blockdiagram till ett felträd	Vanligtvis kan ett felträd enkelt översättas till ett blockdiagram
Mänskliga fel och omgivningshändelser utanför systemgränserna inkluderas och analyseras inte explicit i blockdiagrammet	Mänskliga fel och omgivningshändelser kan inkorporeras i felträdet och analyseras kvantitativt

(Efter de Vasconcelos et al. 2019)

Ett blockdiagram kan bäst användas för att relativt "storskaligt" beskriva vilka komponenter som måste fungera i systemet. Ett felträd används för att hitta möjliga vägar till en ofta oönskad topphändelse och kan användas för en mer detaljerad modellering.

5.5 Verktyg och programvara för felträd

Kommersiella felträdsprogram är dyra. I Tabell 5 ges förslag på gratisprogram på Internet

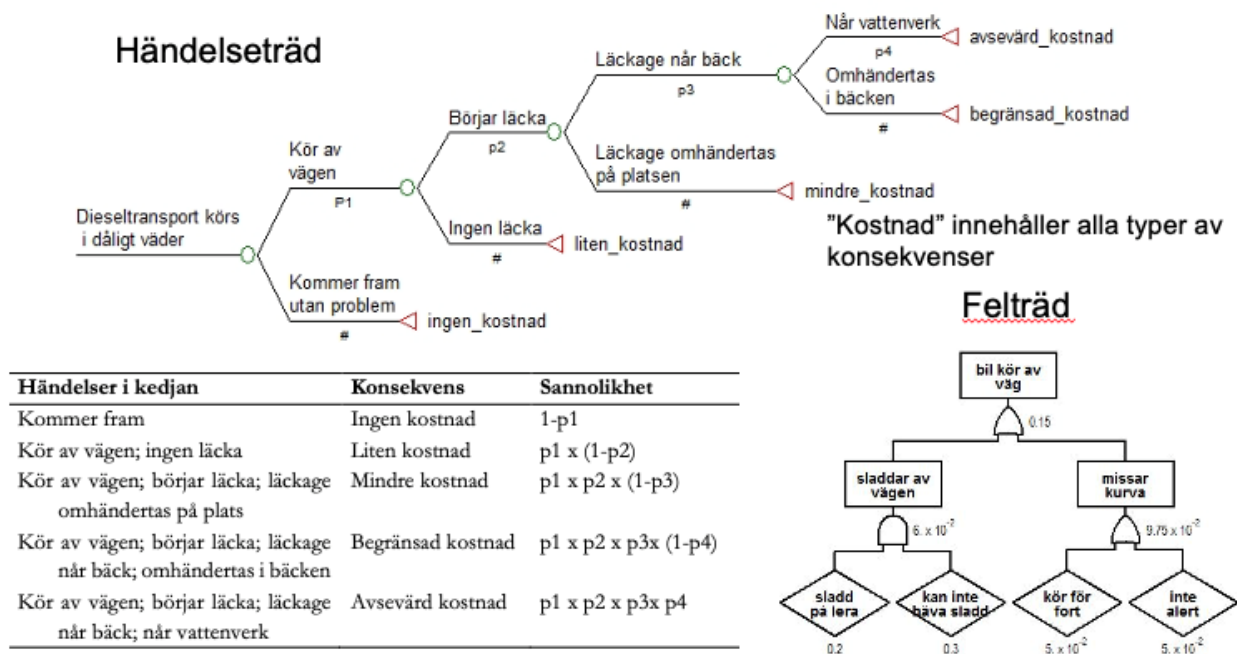
Tabell 5. Programvaror för felträd (Fault Tree Analysis, FTA)

Programvara	OS	Systemkrav	Pris	Länk
EMFTA	Windows, Linux, macOS	Java 8 eller senare	Gratis	https://www.sei.cmu.edu/blog/emfta-an-open-source-tool-for-fault-tree-analysis/
PFTA	Windows, Linux, macOS	Python 3.x	Gratis	https://github.com/public-fta/pfta
TopEvent FTA Express	Windows	Webb-läsare	Gratis	
SmartDraw	Webbaserat	Webb-läsare	Gratisversion tillgänglig	https://www.smartdraw.com/fault-tree/fault-tree-software.htm

6 KOMBINATION HÄNDELSE- OCH FELTRÄD

Ett mycket användbart arbetssätt är att börja med ett händelseträd där man ser de händelsekedjor som leder fram till olika konsekvenser, och sedan använder felträd för att beskriva hur olika händelser i händelseträdet kan uppkomma (och beräkna deras sannolikhet).

Ett exempel baserat på det tidigare exemplet i Avsnitt 4.2.2 visas i Figur 36. Där har ett felträd använts för att modellera händelsen ”Kör av vägen” och beräkna sannolikheten $p1$.



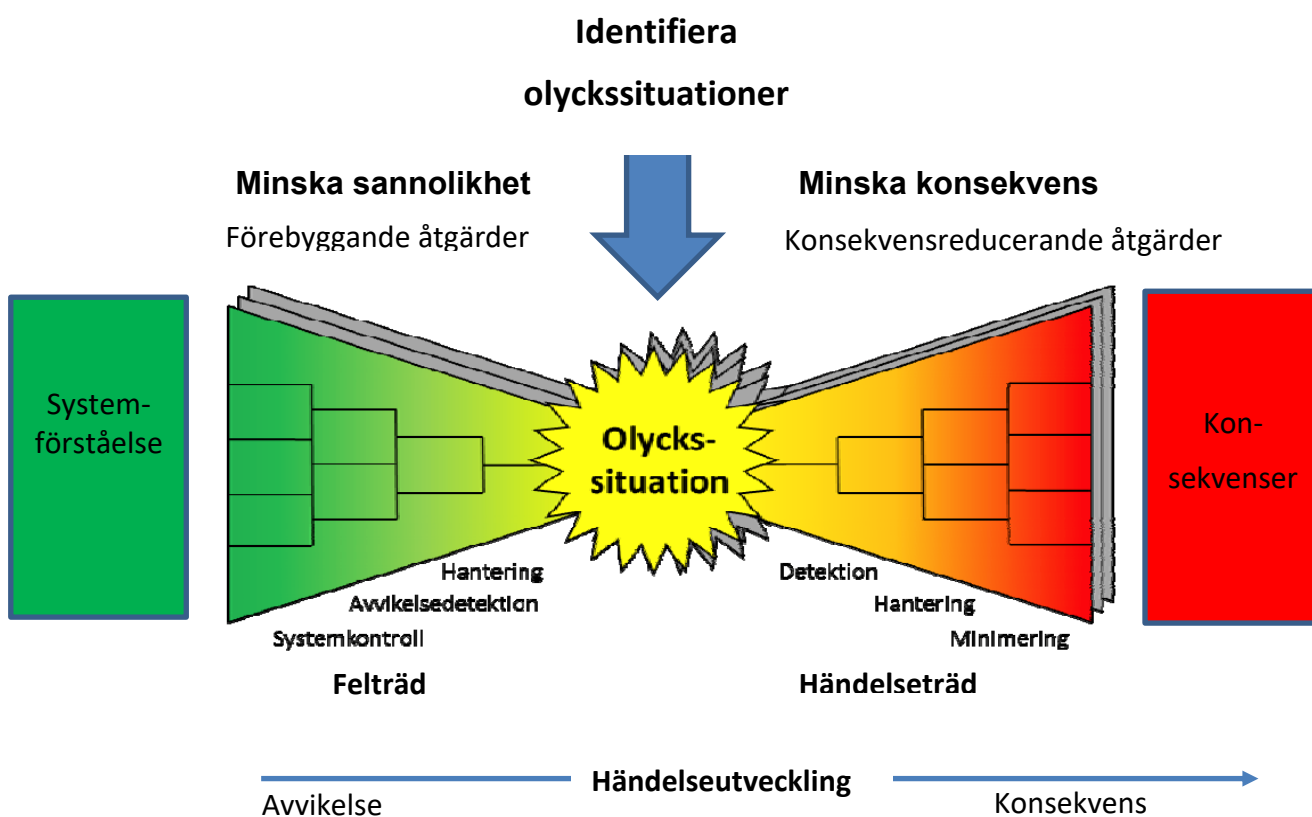
Figur 36. Kombination av händelseträd och felträd för exemplet med dieseltransport

Som tidigare sagts bör man i modelleringen använda små händelseträd medan felträden kan tillåtas vara stora.

7 SAMLAD BILD: OLYCKSFJÄRIL (BOW-TIE DIAGRAM)

Ett sätt att se en helhetsbild för att förstå hur olyckor uppstår och för att se konsekvensutvecklingen av en möjlig olyckshändelse är att använda en så kallad olycksfjäril, se till exempel MSB (2017). Den kallas också bow-tie-diagram, eftersom den ser ut som halspnydnaden fluga.

En olycksfjäril och hur man bygger upp den visas i Figur 37.



Figur 37. Olycksfjäril (bow-tie)- Källa: Trafikverket (2012)

7.1 Skapa en olycksfjäril

En olycksfjäril byggs upp i ett antal steg:

- Systemförståelse
- Identifiera olyckssituationer
- Minska sannolikhet
- Minska konsekvenser

7.1.1 Systemförståelse

Olycksfjärilen bygger, precis som all riskbedömning, på att man har skaffat sig en god systemförståelse, se Kapitel 1. Systemförståelsen, inklusive förståelse för hot mot systemets funktion, är helt avgörande!

7.1.2 Identifiera olyckssituationer

När man har systemförståelsen, kan man identifiera olyckssituationer som kan uppträda och som man vill undvika. Dessa situationer är ofta topphändelsen i felträäd och/eller starthändelsen i ett händelseträd.

Ett hjälpmedel kan vara det riskstruktureringsverktyg som finns i SBUF (2019) och SGF (2020). De följande stegen skall sedan tas för var och en av de identifierade olyckssituationerna.

7.1.3 Minska sannolikhet

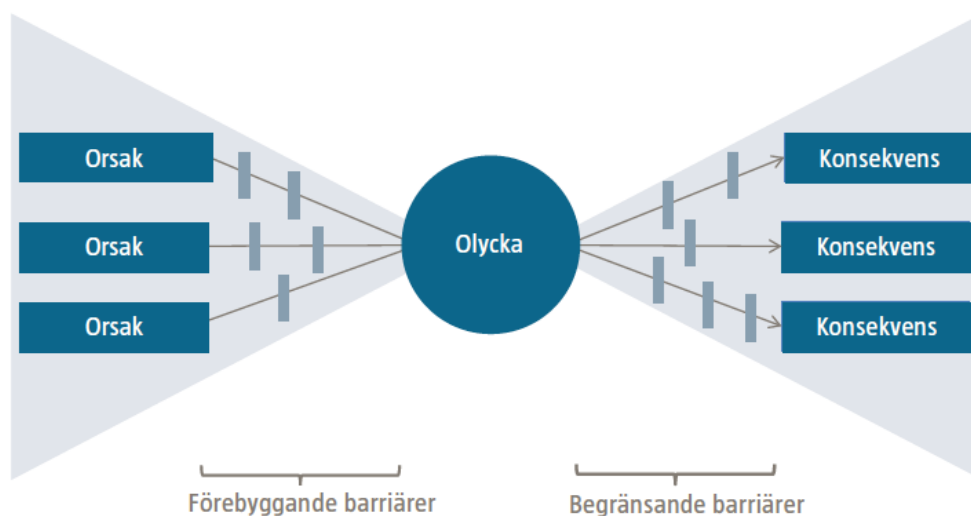
För att minska sannolikheten för en olyckssituation skall uppkomma som en följd av hot i systemet kan det vara aktuellt med sannolikhetsminskande åtgärder. Analys med felträäd, se Kapitel 5, kan vara ett hjälpmedel. Man kan använda olika åtgärder, till exempel kontroll av systemet och åtgärder för detektion av avvikelser, kopplat med förberedda åtgärder för hantering av avvikelser.

7.1.4 Minska konsekvenser

Ett hjälpmedel för att hitta de vägar som leder till olika konsekvenser kan händelseträd, se Kapitel 4. Ur denna analys kan man också hitta konsekvensminskande åtgärder.

7.2 Olycksfjäril. Kommentarer

En fördel med olycksfjärilen är att den ger en snabb överblick över hot som finns och över de motåtgärder som kan vidtas. (Sådana motåtgärder redovisas ibland som barriärer i olycksfjärilen), se Figur 38.



Figur 38. Olycksfjäril med barriärer. Källa: MSB 2017.

Överblicken gör det enklare att kommunicera om risker och åtgärder, och beskrivningar av åtgärderna gör att de kan placeras hos rätt riskägare, i vissa fall genom att de tas med i kontraktshandlingarna.

Även om det nämnts att fel- och händelsetråd kan vara till stor hjälp, så kan olycksfjärilar ritas upp utan dessa. Det väsentliga är en strukturerad arbetsgång och att den som gör arbetet har nödvändiga geotekniska kunskaper.

7.3 Programvara för att rita olycksfjärilar

Det finns ett antal programvaror för att rita olycksfjärilar. En sökning på internet efter ”bowtie software” rekommenderas.

Det kan konstateras att specialiserad programvara är relativt dyr. En översikt över gratis program på Internet redovisas i Tabell 6 nedan.

Tabell 6. Programvaror för olycksfjäril (Bow-Tie)

Programvara	OS	Pris	Länk
BowTieXP	Windows	Gratisversion tillgänglig	https://www.wolterskluwer.com/en/solutions/enablon/bowtie/bowtiexp
Bowtie Master	Webbaserat	Gratisversion tillgänglig	https://bowtiemaster.com/
OpenRisk	Webbaserat	Gratis	https://joukegastra.com/openrisk-a-free-online-tool-for-creating-bowtie-diagrams/
Excel/PPT-mallar	Windows MacOS	Gratis	https://salus-technical.com/free-excel-and-ppt-bowtie-diagram-template/

8 AVSLUTANDE KOMMENTARER

De grafiska metoder som beskrivs i detta notat ersätter inte traditionellt ingenjörarbete utan är verktyg för att strukturera och underlätta det. En viktig funktion med grafiska metoder är att man får ett bra underlag när man vill redovisa arbetet och dess slutsatser, alltså kommunicera risker till andra, exempelvis beslutsfattare.

I hanteringen av risker är det nödvändigt skaffa sig en förståelse av det tekniska systemet, alltså vilka som är de centrala geotekniska frågeställningarna. Med denna förståelse går man sedan vidare med riskidentifiering, vilket innebär att beskriva vad som kan göra att systemet inte fungerar och vad konsekvenserna då kan bli.

För att kunna identifiera risker på ett strukturerat sätt behöver man först definiera det egna uppdragets mål (funktioner). Denna avgränsning innebär att man avgränsar systemet för vilket man ska identifiera och analysera risker, så att man fortsättningsvis enbart arbetar med de risker som man själv har ansvar för. Till detta med att avgränsa systemet finns inga grafiska metoder, det är vanligt ingenjörarbete.

När man har klargjort målet och det beaktade systemets omfattning behöver man beskriva systemet i detalj. Det arbetet kan underlättas om man använder grafiska metoder, eftersom sådana metoder hjälper en att uppnå stringens och fullständighet. Metoderna som presenterats i denna skrift sammanfattas i Tabell 7.

Tabell 7. Olika grafiska metoder och vad de visar

GRAFISK METOD KAPITELNR	VISAR
Blockdiagram 3	Systemet med ingående delelement (erforderliga delfunktioner) och deras inbördes kopplingar. Visar vilka delfunktioner som behövs för att systemet skall fungera.
Händelseträd 4	Vad som kan bli resultatet av en händelse som inträffar med möjliga händelsekedjor som startar i en given händelse och som leder fram till tänkbara konsekvenser. Om sannolikheter kan åsättas och konsekvenser ges mätetal får man ett beslutsträd.
Felträd 5	Vad som kan orsaka en händelse genom händelsekedjor som leder fram till en given händelse. (De kan även användas för beräkning av sannolikheten att händelsen skall inträffa.) Ritas med början i den givna händelsen (top down) men analyseras nerifrån och upp. Kan lätt översättas till blockdiagram av programvaror för felträd
Kombination av träd 6	Sammanfatta händelse- och felträd där man använder ett händelseträd för att visa händelsekedjor fram till konsekvenser och felträd för att hitta orsaker till händelser (och deras) sannolikheter
Olycksfjäril 7	Med en olyckshändelse i centrum visas både hur händelsen kan uppkomma och vad den kan leda till. Dessutom kan man rita in motåtgärder, "barriärer" både för att minska sannolikheten att händelsen uppkommer och för att minska konsekvenserna. Man får alltså en samlad bild av riskhändelsen

Författarna ser en stor potential för geotekniker och andra geotekniker i att använda dessa metoder att underlätta det egna riskhanteringsarbetet. Men vi vill påpeka att metoderna inte på något sätt ersätter ingenjörens geotekniska kunnande: metoderna är i första hand en hjälp, ett komplement och en redovisning.

Geoteknisk riskhantering är ett ingenjörsarbete som kräver gedigna kunskaper i geoteknik.

9 REFERENSER OCH VIDARE LÄSNING

9.1 Refererad litteratur

Baecher, G., Christian, J., 2003. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. Wiley

de Vasconcelos et al. 2019. Use of Reliability Block Diagram and Fault Tree Techniques in Reliability Analysis of Emergency Diesel Generators of Nuclear Power Plants. *Int Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* Vol. 4, No. 4

MSB, 2017. Vägledning. Riskutredning för mindre och medelstora verksamheter. *MSB1060 – mars 2017*

Norrman, J., 2004 On Bayesian Decision Analysis for Evaluating Alternative Actions at Contaminated Sites. Avhandling

Olsson, m.fl., 2019. VERKTYG FÖR HANTERING AV GEOTEKNISKA RISKER. Vägledning till systemförståelse och riskidentifiering. SBUF ID: 13417

Olsson; L. & Stille, H., 1980. Lönar sig en kompletterande grundundersökning?

Beslutsteori tillämpad på ett spottningsobjekt. Rapport R174:1980. Bygghälsöversynsrådet.
https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/48046/gupea_2077_48046_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rausand and Høyland, 2003. System reliability theory: models, statistical methods, and applications, New York, USA, Wiley-Interscience

Innehåll med mera: <https://www.ntnu.edu/ross/books/srt>

Rutherford, A., 2018. The Systems Thinker: Essential Thinking Skills For Solving Problems, Managing Chaos

SBUF, 2019. VERKTYG FÖR HANTERING AV GEOTEKNISKA RISKER

Vägledning till systemförståelse och riskidentifiering. SBUF ID: 13417

SGF, 2014. Riskidentifiering- metoder för att hitta hot och möjligheter Metodbeskrivning. *SGF Rapport 2:2014*

SGF, 2020. Riskstruktureringsverktyg (RBS). Stöd vid identifiering av risker i geoprojekt.

Bilaga till: Verktyg för hantering av geotekniska risker SBUF projekt 13417. *SGF Rapport 1:2020*

SGF, 2022. Metodbeskrivning_Åsätta subjektiva sannolikheter i geotekniska projekt. *SGF Rapport 2:2022.*

SGF 2025. Hjälperverktyg för åsättande av subjektiva sannolikheter

Bilaga till SGF Rapport 2:2022 *SGF Notat 2:2025*

Sturk, R. 1998. Engineering geological information: its value and impact on tunnelling. *Avhandling*

Trafikverket, 2012. Personsäkerhet i järnvägstunnelar - Vägledning vid värdering. *Trafikverket Rapport 2012:168*

9.2 Vidare läsning

För vidare studier av de grafiska metoder som nämns i detta notat hänvisas förutom citerad litteratur till nedanstående källor. Urvalet omfattar översikter, introduktionsmaterial och handböcker som ger en grundläggande förståelse för respektive metod. Flera av dokumenten är fritt tillgängliga för nedladdning via de angivna webbadresserna. Litteratururvalet är gjort med stöd av ChatGPT.

Länkarna är testade 2025-10-08.

Generellt

Information om boken System Reliability Theory finns på <https://www.ntnu.edu/ross/books/srt>

Där finns förslag (och ibland) länkar till litteratur, listor över program med mera.

Blockdiagram (RBD)

Defence Systems. *Reliability Block Diagrams (Chapter 30 in the Systems Assurance Reference Manual)*. Defence Science and Technology Laboratory, Storbritannien, 2018. Denna källa ger en grundläggande introduktion till RBD och dess tillämpningar inom försvarssystem.

<https://www.sars.org.uk/BOK/Applied%20R%26M%20Manual%20for%20Defence%20Systems%20%28GR-77%29/p3c30.pdf>

Relyence Corporation. *A Deep Dive into System Modeling using Reliability Block Diagram (RBD) Analysis*. Relyence White Paper, 2021.

En detaljerad genomgång av RBD-analys, inklusive metodik och exempel.

<https://relyence.com/wp-content/uploads/2021/09/A-Deep-Dive-into-System-Modeling-using-Reliability-Block-Diagram-RBD-Analysis.pdf>

Indian Institute of Technology Delhi. *Reliability Block Diagram – Lecture Notes*. Institutionen för Maskinteknik, 2019.

Akademiska föreläsningsanteckningar som täcker RBD:s teori och tillämpningar

https://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL899_Y13/Reliability%20Block%20Diagram.pdf

Händelsetråd (Event Tree Analysis, ETA)

Rausand, M. *Event Tree Analysis*. NTNU, Trondheim, 2011.

En introduktion till ETA, inklusive konstruktionen och exempel

<https://www.ntnu.edu/documents/624876/1277590549/chapt03-eta.pdf/6f3e1b19-4824-4812-adc8-9762d2201c22>

U.S. Bureau of Reclamation. *Event Tree Analysis – Best Practices*. Technical Workshop Presentation, Denver, 2019. Rekommendationer och bästa praxis för ETA inom dam- och flödesanalys

<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/A5-EventTrees.pdf>

<https://www.usbr.gov/damsafety/risk/BestPractices/Presentations/A5-eventTreeAnalysisPP.pdf>

Felträd (Fault Tree Analysis, FTA)

Andrews, J. & Lunt, S. *An Introduction to Fault Tree Analysis*. University of Nottingham, 2010.

En grundläggande introduktion till FTA, inklusive kvalitativa och kvantitativa analyser

<https://www.nottingham.ac.uk/research/groups/resilience-engineering/documents/nxgen/outputs/an-introduction-to-fault-tree-analysis.pdf>

Rausand, M. & Høyland, A. *System Reliability Theory – Fault Tree Analysis (Chapter 5)*.

<https://www.ntnu.edu/documents/624876/1277590549/chapt03-fta.pdf/c2e449ab-3221-472c-b3d7-3310942ee511>

U.S. Nuclear Regulatory Commission. *Fault Tree Handbook (NUREG-0492)*. Washington D.C., 1981.

Omfattande handbook om felträdsanalys.

<https://www.nrc.gov/docs/ML1007/ML100780465.pdf>

Olycksfjäriil (Bow-Tie)

National Health Service (UK). *Bow-Tie Analysis – How-to Guide*. NHS England, 2024.

En praktisk guide för att genomföra Bow-tie-analyser inom hälso- och sjukvård

<https://healtheconomicsunit.nhs.uk/wp-content/uploads/2024/05/Bow-tie-analysis-how-to-guide.pdf>

CGE Risk Management Solutions. *BowTieXP – User Manual*. CGE Risk, Leiden, 2023.

Tillgänglig via Scribd: <https://www.scribd.com/document/263000318/BowTieXP-Software-Manual-For-Release-6-0>

SGF Notat

- 5:2025 Grafiska metoder för systemförståelse. Metodbeskrivning
- 4:2025 SGF Datalexikon. Fördjupad förstudie
- 3:2025 Lathund för GEOSYNK
- 2:2025 Hjälperktyg för åsättande av subjektiva sannolikheter. Bilaga till SGF Rapport
- 2:2022
- 1:2025 Hantering av bakgrundshalter i lerjordar
- 1:2023 Hantering av geotekniska risker i kontrakt
- 1:2022 Riskkartor
- 1:2019 Bildbaserad metod för mätning och övervakning av rörelser hos konstruktioner vid geotekniska projekt – Förstudie
- 2:2018 Fallkonförsöket
- 1:2018 Konfliktgränsen
- 1:2016 Akustisk JB-sondering, resultat från etapp 1
- 1:2013 SGF:s riktlinjer
- 1:2009 Jämförande sonderingar – JB-totalsondering, CPT och hejarsondering
- 3:2007 Laborieprovning för geotekniska utredningar
- 2:2007 Resultatkontroll genom bestämning av luftporhalt och vattenkvot
- 4:2005 Karakteristiskt värde – utredning kring riktlinjer hur vi skall tillämpa Eurokod (EN 1997-1 och EN 1997-2) modellen
- 3:2005 Packningsresultat ytpackning – väsentliga faktorer analyserade med AHP
- 2:2005 Permeabilitetsbestämning genom laborieförsök
- 1:2005 Våra framtida geotekniska arbetsredskap – en introduktion
- 3:2004 Laborieutrustningar med stora provdimensioner – en sammanställning
- 2:2004 Direkta skjuvförsök – en vägledning
- 1:2004 Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1600 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ett antal korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF är en ideell förening vars ändamål är att främja utvecklingen av de vetenskapliga och ingenjörsmässiga aspekterna inom samhällsbyggande som är relaterade till jord, berg, grundvatten och förorenade områden. Föreningen verkar både nationellt och internationellt plan.

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.