

1	Inledning	7.4	Spelteori
2	Att förstå säkerhet	7.5	Artificiell intelligens
2.1	Ord och språk	7.6	Organisationsteori
2.1.1	Vad man menar med komplexitet	7.7	Extrema händelser
2.1.2	Modeller av språk	8	Att styra komplexitet
2.1.3	Analogier och metaforer	8.1	Elaka problem
2.1.4	Begrepp och betydelseflytningar	8.2	Ett antal hjälpmedel
2.2	System och modeller	8.3	Beslutsteori
2.2.1	Viktiga begrepp	8.4	Optimeringsmetoder
2.2.2	Kvalitativa och kvantitativa modeller	8.5	Artificiell intelligens
2.2.3	Kausalitet	9	En blick framåt
2.2.4	Återkoppling och stabilitet	9.1	Nya risker
2.2.5	Modeller i praktiken	9.2	Rationalitetens tvångströja
2.3	Dynamiska system	Appendix: Om komplexitet, fullständighet och konsistens	
2.3.1	Diskret och kontinuerlig tid	Erkännande	
2.3.2	En matematisk modell	Referenser	
2.3.3	En enkel modell av en dator		
2.3.4	Villkor för styrbarhet		
2.3.5	Optimering		
2.4	Varför olyckor händer		
2.4.1	Begreppet risk		
2.4.2	Att styra risk		
2.4.3	Olika typer av orsaker		
2.5	Före, under och efter en olycka		
2.5.1	Före en olycka		
2.5.2	Under olyckan		
2.5.3	Efter olyckan		
2.6	Säkerhetsarbetets komponenter		
2.6.1	Riskanalys		
2.6.2	Erfarenhetsåterföring		
2.6.3	Ändringsarbetet		
2.6.4	Säkerhetsarbetets effektivitet		
3	Modeller av och i säkerhetsarbetet		
3.1	En utveckling		
3.1.1	Heinrich		
3.1.2	Normal accidents		
3.1.3	High reliability organisations		
3.1.4	Samhället		
3.2	Att hantera komplexitet		
3.2.1	Elaka problem		
3.2.2	Ett stort antal tillståndsvariabler		
3.2.3	Olinjära beroendeförhållanden		
3.2.4	Flera aktörer		
3.2.5	Osäkerhet på flera nivåer		
3.2.6	Emergent beteende		
3.2.7	Fasförändringar, bifurkation, kaos och katastrofer		
3.3	System av system		
3.3.1	Nätverk		
3.3.2	Polycentriska system		
3.3.3	Sociotekniska system		
3.3.4	Adapteringar		
3.3.5	Modellering av risker i komplexa system		
3.3.6	När går systemen inte mera att simulera		
4	System av system		
4.1	Nätverk		
4.2	Polycentriska system		
4.3	Sociotekniska system		
4.4	Adapteringar		
4.5	Modellering av risker i komplexa system		
4.6	När går systemen inte mera att simulera		
5	Modeller av människan		
5.1	Språk		
5.2	Rationalitet		
5.3	Felhandlande		
6	Modeller av organisationer		
6.1	Grupper		
6.2	Organisationer		
6.3	Samhällen		
7	Hjälpmedel som kan användas		
7.1	Kvalitativa modeller		
7.2	Kvantitativa modeller		
7.3	Beslutsfattande		

Komplexitet; definitioner, problem och lösningar

Björn Wahlström

Sammanfattning: Denna uppsats har så att säga växt inifrån ut. Jag har sett det som min uppgift att i några rapporter dokumentera de synpunkter jag har samlat på mig under en tid av femtio år bidra till kärnkraftens säkerhet. I ett sådant uppdrag får man visserligen hela tiden försöka begränsa sig, men samtidigt tvingas man föra in allt mera så att beskriver kopplingar med ett ökande antal begrepp, för att på ett tillfredsställande sätt beskriver den helhet som påverkar kärnkraftverkens vardag. Jag har också försökt se på säkerhet i ett samhällsperspektiv, eftersom det sist och slutligen definierar ramarna för hur kärnkraften kommer att drivas.

I denna rapport har jag inriktat mig mot begreppet komplexitet, som på senaste tid i säkerhetssammanhang uppträder i allt större utsträckning. Jag tror att detta beror dels på att samhället i en större utsträckning än tidigare tvingats ta ställning till en bredare palett av risker och dels på att man i detta arbete tvingas försöka förstå hur sociotekniska system fungerar och hur de kan styras. Föreliggande uppsats kan ses som ett försök att sammanfatta hur jag ser på modeller av sociotekniska system och hur jag uppfattar begreppet komplexitet.

1 Inledning

Komplexitet är ett begrepp som har blivit allt vanligare i olika sammanhang. Min uppfattning är visserligen att komplexitet har blivit ett modeord, så att många av dess användare egentligen menar fullständigt olika saker (Raynard, 2016; Soutar, 2021). Jag försöker här ge en bakgrund till detta och sedan förankra begreppet i en matematisk beskrivning, som jag hoppas ska kunna förstås på ett intuitivt sätt. Det är i och för sig klart att komplexitet utgör ett problem, i synnerhet om man är van med att relativt enkelt kunna presentera trovärdiga förutsägelser om hur ett verkligt system kommer att bete sig i olika situationer. Man talar här ofta om ett emergent beteende, som i den betydelsen gör att ett beteende inte kan förutsägas. I min uppfattning har man i olika fall goda möjligheter att med en riktig bakgrund förstå olika typer av emergent beteende. Oftast är det så att man i sina modeller av ett system inte har beaktat viktiga interaktioner som har en stor betydelse för systemets beteende.

Orsaken till att komplexitet har fått en allt större uppmärksamhet är tydligt kopplad till en teknologisk utveckling som har lett till att systemen har blivit större och kraftigare, vilket betyder att de inte mera agerar lokalt utan även kan påverka globalt. Samtidigt har det kommit med ett stort antal nya beroendeförhållanden som på något sätt borde hanteras för att man ska förstå hur systemen beter sig. I praktiken finns det flera områden där man i sin förståelse inte har kommit tillräckligt långt för att ska kunna förklara de beteenden man observerar., men där en utveckling av modeller int ännu har nått tillräckligt långt. Det är därför man i detta sammanhang mera kan använda sig av presentationen av ett specialnummer i några tidskrifter som ofta presenterar ett antal intressanta vägar att föra forskningen vidare snarare än att de försöker ge något bidrag till en samling teorier och modeller (Goldstein et al. 2011). Speciellt då när det gäller att förstå människor och organisationer i ett sammanhang med tekniska system är det ofta problematiskt att skapa sig bra modeller (Noy et al. 2015).

Detta betyder att jag börjar med begreppet säkerhet och hur det kan förstås. Från det ser jag på hur modeller används dels för att beskriva säkerhetsarbetet och dels som hjälpmedel när det gäller att styra säkerhet. Eftersom svårigheten i att modellera sociotekniska system inte ligger i teknikdelen, utan i människor och i organisationer lyfter jag upp några modeller som här kan vara till hjälp. Efter detta talar jag även om några områden inom systemtekniken, som med sina etablerade, men ibland mycket komplexa modeller, kan vara till hjälp i olika sammanhang. Till sist försöker jag förmedla några av våra insikter, i hur man i sitt säkerhetsarbete kan skapa effektiva strukturer och se till att arbetet görs på ett effektivt sätt. Jag går också genom några

speciella exempel där man kan ha hjälp av att mera insiktsfullt närma sig de problem som uppstår i komplexa system.

komplexitet kan generera beteenden som vid en första anblick kan verka oförståeliga

2 Att förstå säkerhet

Jag har liksom många andra författare inom säkerhetsområdet talat för vikten av ett systemtänkande. Man kan ju fråga sig vad man menar med det. Jag tolkar begreppet så att man talar om bestämda helheter som fungerar i en omgivning och som man har ett intresse av att studera. Systemtänkandet går tillbaka till flera pionärer som tidigt insåg att de system de valde att studera fungerade enligt vissa lagbundenheter. Systemtänkandet kan därför sägas betyda att man bestämmer sig för en helhet man vill studera och sedan bryter upp den i olika delar som man beskriver så gott man kan tillsammans med hur de påverkar varandra (Wahlström, 1992, 1994, 2018) med avsikten att dels förstå systemet och dels att kunna styra det på ett fördelaktigt sätt. Nedanför diskuterar jag först hur beroende vi är av ord och språk när vi vill förstå något. Sedan diskuterar system i allmänhet och de modeller man används sig av inom systemtänkandet. En viktig komponent när man studerar säkerhet är hur systemen utvecklas över tid vilket gör att man kan särskilja mellan två typer av modeller. När således den teoretiska apparaten är definierad kan man fråga sig varför olyckor händer. Säkerhetsarbetet kan ses som den aktivitet som förhindrar att olyckor händer och man är därför intresserad av hur detta arbete kan göras tillräckligt effektivt.

2.1 Ord och språk

Ord och språk är två komponenter som är kritiska när man försöker bygga upp förståelse och kunskap. Man talar här ofta löst om mentala modeller som var och en förlitar sig på när de t.ex. för någon försöker förklara varför något händer i den reella världen. Mycket har då med tiden förändrats i och med att en allt mera exakt vetenskap har för fram förklaringar och modeller som har ersatt tidigare uppfattningar om varför saker och ting händer. Detta har för alla naturliga språk lett till att de förändrats och allt efter blivit bättre lämpade att ge förklaringar till olika typer av skeenden. Svårigheten med naturliga språk är att de har växt fram i en process som hela tiden har speglat vad man i ett samhälle har behövt kunna tala om. I en allt mera globaliserad värld hade därför under medeltiden latinet en viktig roll som senare i de kungliga hoven i Europa övertogs av franskan. Numera är det "bad English" som gäller och som i sin tur har delats upp i olika områden beroende på vad man talar om.

2.1.1 Vad man menar med komplexitet

Det finns knappast någon entydig förklaring till vad man menar med komplexitet, om man inte helt enkelt anser att allt man inte förstår tyder på komplexitet. Ett exempel kunde vara matematikens komplexa tal som består av två komponenter den reella delen och den imaginära delen. De komplexa talen har fått en enkel och effektiv tillämpning för att modellera växelströmsproblem. Rent praktiskt kan man tala om komplexa system utgående från hur de är uppbyggda och hur de beter sig. Är det sedan någon skillnad mellan komplexa och komplicerade system? Man kan då ta dimensionen på tillståndsrummet av den modell man använder sig av och säga att system med mera än en handfull olika komponenter kan anses som komplexa. För att ta ett exempel kan man modellera hur ett objekt rör sig på en väg. Tillståndet av systemet bestäms då plats och hastighet, dvs. man kan betrakta systemet som rör sig i ett tvådimensionellt rum. Ett annat exempel kunde vara en modell av ett kärnkraftverk. Om man vill beskriva kärnkraftverket med hänsyn till alla relevanta variabler betyder det ett tillståndsrum med flera tusentals variabler som består av nivåer, flöden, temperaturer, osv. Utmaningarna i att förstå och styra komplexa system är många, eftersom man alltid tvingas behandla både systemen och delsystem från fall till fall (San Miguel et al 2012). I säkerhetssammanhang har man kommit fram till något slag av begreppsmässigt innehåll till ordet komplexitet och komplexa i betydelsen svåra uppgifter som människor ställs inför (Rasmussen et al. 2015).

2.1.2 Modeller av språk

semantik och syntax

2.1.3 Analogier och metaforer

2.1.4 Begrepp och betydelseflytningar

Något som i vårt arbete blivit klart är hur viktigt det är att ha en någorlunda gemensam uppfattning om vad man menar med ett visst begrepp. Det har mest tydligt framkommit i de försök jag gjort med att se hur två olika begreppsbilder täcker varandra. Man utgår då t.ex. från en hierarkisk bild som man försöker jämföra med en annan. Man ser då snabbt att det inte går att skapa något ett till ett förhållande mellan dem. Snarare är det så att man tvingas se att ett begrepp i den ena helheten motsvaras gemensamt av flera andra in den andra helheten. Detta är knappast något överraskande för dem som studerat lingvistik, utan illustrerar mera att ett ord som småningom fått en någorlunda vedertagen betydelse egentligen i en annan begreppsbild täcks in av ett flertal likvärdiga begrepp. Detta leder till att man inom en beskrivande vetenskap måste vara mycket noga med att beskriva vad man menar, vilket dock för de flesta kan tyckas som ett onödigt spetsfunderi. Jag har dock efter att ha bekantat oss med teorin om suddiga mängder (fuzzy sets) formulerad av Zadeh kommit till den uppfattningen att varje ord egentligen har en betydelsesfär som innefattar vägda betydelse på ett större antal ord.

2.2 System och modeller

När man talar om modeller är man alltid intresserad av kausalitet, dvs. i vilken riktning en påverkan mellan två eller flera variabler faktiskt går. Ett vanligt felslut i olika situationer är nämligen ett en korrelation leder till ett antagande om påverkan, vilket naturligtvis inte behöver vara fallet. Dessutom är det ofta så att det är fråga om en interaktion snarare än ett entydigt i tid riktat påverkansförhållande. Detta kan enkelt förstås med en elektrisk analogi. Om man t.ex. försöker mäta en spänning i ett elektriskt system med en voltmätare, så är gängse uppfattning att spänningen i systemet kausalt enkelriktat påverkar mätaren så att man erhåller ett avläsbart värde antingen från en visare eller som ett digitalt värde. Så är det inte, eftersom mätaren alltid kommer att belasta systemet och således påverka det värde man får, om man inte med speciella åtgärder ser till att belastningen blir så liten att den i praktiken kan antas vara noll.

En annan viktig fråga när man talar om modeller är att man alltid får begränsa dem till en viss överenskommen betraktelsenivå. Det betyder att man så att säga sig vad man vill ha med i sin modell och vad man definierar som dess omgivning, som man således på ett sätt antar att inte påverkas av det system som man vill undersöka. Så är det ju aldrig i verkligheten, eftersom man alltid enligt ovan måste anta att systemet har något slag av interaktion med sin omgivning. När man sedan betraktar och försöker förstå sitt system, väljer man alltid ett slag av mikronivå av komponenter och påverkansförhållanden som då ger den kausala förklaringen till att systemet beter sig på det sätt som man kan observera i praktiken. Detta betyder egentligen att man använder en mesonivå, dvs. systemet, som är inpassat mellan en makronivå (omgivningen) och en mikronivå som utgår systemets komponenter. Enligt systemtänkandets grunder kan man ganska godtyckligt välja den betraktelsenivå på vilken man lägger sin modell, så att den bäst tjänar det syfte man har i sitt modellbyggande.

2.2.1 Systemtänkandets tre grundproblem

Den allra enklaste modell man kan tänka sig har tre komponenter en input u , en output y och en bild S av systemet. Av tre komponenter kan man alltid genom att man känner två få en uppfattning om den tredje. Detta betyder att man kan tala om tre grundproblem

- u och y är kända S söks, här talar man om modellering,
- u och S är kända, y söks, här talar man om simulering, vilket ibland görs för att validera modellen,

- S och y är kända u söks, här talar man om att styra så att en önskad output erhålls.

Av dessa tre problem är det oftast det tredje som är det viktigaste, så att det egentligen redan har föregåtts av de två andra. För att lösa det första problemet tvingas man samla ett stort antal input output par och från dem försöka bygga en första modell. I nästa steg används modellen för att simulera systemet med olika input för att se om modellen man valt är tillräckligt bra för att man ska kunna anse att den representerar verkligheten.

Här är en av fördelarna att man på logiska grunder kan konstatera att dessa tre problem är en fullständig mängd, eftersom det inte kan finnas mer än tre grundproblem.

2.2.2 Viktiga begrepp

När man tillämpar ett systemtänkande på ett verkligt system är man intresserad av vilka delsystem som på en mesonivå deltar i att bestämma hur systemet fungerar på en makronivå i sin omgivning. För att kunna förstå detta behöver man beskrivningar på hur tillstånden av systemets delsystem påverkar varandra genom kopplingar olika typ. Man söker således en *struktur* av interaktioner mellan *tillstånden* i delsystemen som existerar på en fysisk nivå. Jag begränsar mig här till fysiska kopplingar eftersom även information som kan vara en koppling alltid förutsätter något slag av fysiskt media för informationsöverföring.

När det gäller tillstånden hos delsystemen kan man igen skilja på två olika typer av tillståndsvariabler (state variable) och derivatan av samma tillståndsvariabel som beskriver hastigheten av hur snabbt en tillståndskomponent ändras (rate variable). Den ena indikerar läget och den andra beskriver hastigheten hur snabbt läget ändras sig. Detta betyder i praktiken att man för ett objekt i ett tredimensionellt rum får lov att ta hänsyn ett tillstånd med 12 komponenter, dvs. sex lägen ($x, y, z, \varphi, \xi, \psi$), tre hastigheter och tre vinkelhastigheter.

2.2.3 Kvalitativa och kvantitativa modeller

En viktig distinktion är att alla om kvalitativa och kvantitativa modeller, vilket då betyder att den kvalitativa modellen beskriver delsystemen och hur dessa är kopplade till varandra, utan att ta hänsyn till hur kraftiga kopplingarna kan vara. I en kvantitativ modell har man dessutom tillfört en beskrivning hur kraftiga kopplingarna är t.ex. i relationerna mellan väg och hastighet enligt nedanstående ekvationer

$$s(t) = s(0) + \int v(t)dt \quad \text{och} \quad v(t) = v(0) + \int m * F(t)dt$$

där $s(t)$ är vägen och $v(t)$ hastigheten vid tidpunkten t . $F(t)$ är kraften som påverkar objektet med massan m enligt Newtons lag som säger att accelerationen bestäms av massan gånger kraften. Kvantitativa modeller ger direkt ett sätt med vilket man med tillståndsekvationer kan förutsäga hur systemet kommer att uppföra sig i ett tidsintervall.

Någonting mellan kvalitativa och kvantitativa modeller kunde man i större utsträckning än tidigare börja tala om semikvantitativa modeller. Med det skulle man då relatera de semikvantitativa modellerna till kvantifieringar som görs enligt någon annan skala än en kvotskala. Man kan tala om nominal-, ordinal- och kvotskalor på så sätt att en kvotskala dels innehåller en naturlig nollpunkt och dels ett linjärt storleksförhållande så att ett mätvärde m är två gånger större än ett annat mätvärde $0,5m$. En nominalskala har endast ett ändligt antal värden som är kvalitativt definierade. Inom beteendevetenskaperna använder man sig ofta av ordinalskalor t.ex. enligt {otillåtet, tillfredsställande, nöjaktigt, utomordentligt, berömvärd} som en bedömning av en arbetsinsats för ett bestämt ändamål. Denna skala är samtidigt en ordinalskala eftersom det finns en uppenbar ordningsrelation mellan sådana bedömningar.

2.2.4 Kausalitet

Kausalitet, eller en riktning från orsak till verkan, är en viktig faktor i allt modellbyggande (Chen et al 2012). Trots att man oftast talar om **en** riktning innebär det oftast en interaktion, där man kan anta att påverkan sker i huvudsak i endast en riktning. Här är det viktigt att man inte faller för frestelsen att tro att det att två storheter

korrelerar skulle betyda att den ena förorsakar den andra. Ett uppenbart exempel kunde vara antalet drunkningsolyckor och per capita glasskonsumtionen i ett land. Judea Pearl () har metod som gör det möjligt att särskilja mellan koorelation och kausalitet.

Kausalitetsbegreppet diskuteras i samband med säkerhet av Jens Rasmussen (1990). Hans exempel hänför sig till händelseanalys (jfr. avsnit x.y) och det att man strävar efter att identifiera mänskligt felhandlande. Problemet ligger i att en händelseanalys i praktiken kan föras hur långt som helst, vilket då betyder att man måste ha något kriterium som gör det möjligt att stanna när man har kommit "tillräckligt" långt. Frågan ligger då vidare i om man faktiskt har lyckats identifiera alla mänskliga felhandlanden som kanske har bidragit till händelsen. Om man då vill skuldbelägga någon identifierad person, är det moraliskt riktigt eller inte. Man får också skilja mellan det fall att felhandlandet alltid leder till den slutliga oönskade händelsen eller bara var ett bidrag till att så skedde. En intresserad läsare kan gå tillbaka till Bertrand Russells artikel (1913) om begreppet orsak, där han bland annat framför att begreppet inte används i vetenskapliga teorier. Man får också ta ställning till om en utebliven handling ska räknas som en orsak och vad det då kan betyda.

2.2.5 Återkoppling, tidskonstanter och stabilitet

Återkoppling som uppstår då en orsak/verkan kopplingar mellan två eller flera delsystem bildar en sluten slinga är en strukturellt viktig egenskap hos ett system. En koppling som för en ökad input ger en ökad output och tvärtom (+ → +, - → -) sägs vara positiv, medan en minskad input ger en ökad output och tvärtom (+ → -, - → +) sägs vara negativ. Om man då räknar runt slingan så att helhetskopplingen blir positiv så kan man vänta sig att slingan har en helhetspåverkan som leder till instabilitet. Motsvarande om helhetspåverkan för slingan är negativ, betyder det att den har en stabiliserande påverkan.

Detta gäller dock endast i det fall att återkopplingslingan inte innehåller fördröjningar och stora tidskonstanter. Med tidskonstanter menar jag här att något av delsystemen kan reagera långsamt (stora tidskonstanter), t.ex. om de har en stor massa eller innehåller komponenter där två energiformer (statiskt energi, rörelseenergi) interagerar som i en pendel. I sådana fall kan det visa sig att ändringen i återkopplingslingan blir fördröjd så att en positiv återkoppling fördröjs så att den inte mera förstärker utan stabiliserar. En analys av dett kräver visserligen en större kunskap om reglerteknikens grunder.

2.2.6 Modeller i praktiken

Det viktigaste när man bygger en modell av ett system är inte det som man tar med utan det som man lämnar bort. Modellen största fördel är inte att den är fullständig utan att den fyller det ändamål som har gjort att man bygger modellen. Det kanske allra viktigaste egenskapen en modell har är att den går att förstå och hantera hantera den utan allt för stora ansträngningar. Man kan formulera detta som en regel, en modell får inte vara komplex utan bör helst vara så enkel att den intuitivt kan förstås.

För att bygga modeller kan man använda sig av följande allmänna principer för att göra den enkel:

- lämna bort alla delar som inte förändrar sig nämnvärt inom det tidsintervall man är intresserad av,
- anta att alla interaktioner mellan delsystemen i modellen har en riktning,
- lämna bort sådana interaktioner som kan antas vara små i jämförelse med de delar som ändrar sig mycket,
- i valet av noggrannhet kan man anta att delsystem med mycket stora tidskonstanter är statiska,
- på samma sätt kan man för delsystem med mycket små tidskonstanter anta att de kontinuerligt befinner sig i jämvikt.

För att ta ett exempel från kärnkraftsvärlden kan man ta reaktorn, reaktiviten och hur den fördelar sig mellan snabba och fördröjda neutroner. Inverkan av de snabba neutronerna på reaktoreffekten kan man behandla som ett jämviktstillstånd. De fördröjda neutronerna är dock den mekanism man är intresserad av och den bör således tas med i reaktormodellen. Samtidigt vet man att bl.a. att anrikning av xenon i reaktorbränslet kommer

att påverka reaktiviteten, men här är tidskonstanterna så stora att man i ett förlopp som handlar om sekunder och minuter inte behöver ta med denna påverkan.

2.3 Dynamiska system

För det mesta är man intresserad av hur systemet man vill undersöka beter sig i olika situationen i ett tidsintervall efter att en störning introducerats. Beroende på vad man är intresserad av kan man välja mellan två typer av modeller, diskret eller kontinuerlig tid. I modeller där man är intresserad av specifika händelser väljer man vanligen att modellera endast när det händer något i systemet, vilket betyder att modellen egentligen är en kedja av händelser som följer varandra. I kedjan kan det då finnas förgreningspunkter, vilket betyder att ett val mellan två vägar av en händelseutveckling kan tas beroende på operatörsingrepp (positivt) eller felaktiga komponenter (negativt). Om man istället är intresserad av när nivån i en tank går under ett visst värde måste man använda en tidskontinuerlig modell. I båda fallen är man intresserad av orsak och verkan man är intresserad av orsak och verkan, vilket då betyder att man väljer något av två mycket olika modelleringsparadigm.

2.3.1 Diskrettid modeller

Den första ansatsen man gör när man försöker modellera ett system är att man väljer om det ska behandlas som ett diskrettid system eller ett dynamisk system. Skillnaden mellan de här är betydande när man ser till hur de ska simuleras. Ett diskrettid system behandlas tidsvariabeln i diskreta hopp som då betyder att man på sätt och vis antar att ingenting händer mellan hoppen. Typiska diskrettid modeller fås t.ex. när man modellerar kösystem. Kö växer med en enhet när en ny köande aktör anländer och kö minskas med en när en är när en aktör får den betjäning man köar för. Diskrettid modeller kan med fördel användas för ett stort antal verkliga system

När man talar om dynamiska system menar man vanligen att tiden framskrider i förhållande till en verklig tänkt tid för systemet. Man talar då om tillståndsvariabler som kan liknas vid nivån i en vattentank som kan ökas eller minsas med hänsyn till inflöde till- och utflöde från tanken. Både till- och utflöde från tanken är här då tänkt att kunna variera med tiden genom att en aktör skruvar på tillhörande reglerventiler. Dynamiska system avbildas vanligen med differentialekvationer, medan de tidsdiskreta systemen kan avbildas t.ex. med markovprocesser.

Om antalet noder i ett diskrettidssystem eller antalet tillstånd i ett dynamiskt system är mycket stort talar man ofta om dem som komplex. I detta fall är visserligen svårighet inte speciellt betydande även för mycket stora system, eftersom man ofta under vissa speciella antagande kan komma långt med rent analytiska metoder som då tar hänsyn till struktur och parametrar i de modeller man bygger. Visserligen kan man få svårigheter med att simulera både diskrettid och dynamiska system om de är mycket stora.

2.3.2 En modell i koontinuerlig tid

Visserligen är det så att man i de flesta fall talar om en interaktion eftersom en kraft som sätts in i ett system alltid genererar en motkraft från systemet mot den applicerade kraften. Ett entydigt sätt att modellera kausalitet är att göra det i sk. tillståndsekvationer. Oftast görs detta som en differentialekvation där tillståndskomponenterna genererar en kraft f som påverkar tillståndet så att det förändras. Tillståndsekvationen kan också skrivas i en ekvivalent form som betyder att systemets rörelse i tillståndsrummet bestäms som summan av tillståndsändringar som inträffar över tid. Detta ger de två ekvationerna nedanför.

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t)), x(0) = x_0 \quad \text{eller} \quad x(t) = x_0 + \int_0^t f(x(\tau), u(\tau))d\tau,$$

I ekvationerna är dessutom tanken att både tillståndet x och den påverkan systemet får av kraften f är vektorer med många lika många komponenter som dimensioner i systemets tillståndsrum. I det fall att man talar om linjära system reduceras ekvationen till

$$x(t + \Delta t) = Ax(t) + Bu(t), x(0) = x_0$$

2.3.3 En enkel modell av en dator

Redan en enkel modell av en dator, en Turing-maskin, är oförutsägbar i en viss mening. Man kan nämligen inte förutsäga om den kommer att stanna eller inte utan att köra och observera den. När det gäller en Turing-maskin kan man visserligen köra den, men tiden som man måste observera den kan gå mot oändlighet om maskinen har en mycket lång hållremsa

Rent principiellt gäller detta redan för system som inte anses komplexa, dvs. sk. Turing-maskiner som kan anses vara en till ytterlighet förenklad modell av en dator. För en Turing-maskin gäller nämligen att man inte kan förutsäga om den kommer att stanna eller inte utan att man faktiskt kör den och observerar dess beteende. Om man då beaktar att en Turing-maskin kan ha ett praktiskt taget oändligt lång hållremsa som den läser, betyder det i praktiken att man inte ens genom att observera den kan säga om den kommer att stoppa eller inte. Detta för att hur snabb dator man än använder för att simulera Turing-maskinen kommer den att arbeta en alltför lång tid för att den ska vara praktiskt möjlig att observera.

2.3.4 Villkor för styrbarhet

I avsnitt diskuterades systemteknikens tre problem där det tredje var att styra ett system. En fortsättning är att granska de fyra villkor som krävs för att man ska lyckas i sin uppgift är följande

- man måste ha en modell av sitt system, som är en rimlig avbildning av systemet man önskar styra,
- systemet måste vara observerbart, så att man kan få en mätning av systemet tillstånd,
- systemet måste vara kontrollerbart, så att man kan hitta styrningar som gör att systemets tillstånd rör sig i önskad riktning,
- man måste ha en nyttofunktion som på basen av input till och output från systemet över ett tidsintervall $[0, T]$ ger ett värde av hur bra styrningen är.

2.3.5 Optimering

Om man lyckats bygga en modell som ger en god överensstämmelse med hur det verkliga systemet kan man definiera ett optimeringsproblem, på så sätt att nyttofunktionen optimeras. Inom reglerteorin har man kunnat lösa flera olika problem där man valt ett önskat kriterium som man försöker optimera. Ett sådant problem är att röra sig från ett tillstånd A till ett tillstånd B på kortast möjliga tid. Ett annat problem som man lyckats lösa i en sluten form är att konstruera en regulator som med möjligast liten styrenergi hålla ett system i ett önskat tillstånd.

I sin mest generella form förutsätter optimering en mycket god modell och att man noggrannt definierar vilken typ av styrning och möjliga begränsningar i de output från systemet som är tillåtna. Detta betyder att redan små fel i hur modellen uppför sig jämfört med det verkliga systemet lätt kan göra att lösningen man får av optimeringen inte kan användas för att antingen systemets input inte går att generera eller systemets tillstånd styrs in i ett icke acceptabelt område.

2.4 Varför olyckor händer

fel i design, fel i styrningar

2.4.1 Begreppet risk

(två komponenter, hur ofta, vad undvika), Aven

Beck, Aven,

Latour (2003) kritiserar Beck i hur han behandlar ordet modern

2.4.2 Att styra risk

(före och efter, bow tie modellen)

2.4.3 Olika typer av orsaker

deterministisk, probabilistisk (egentligen inte någon skillnad, mycket liten/stor sannolikhet)

2.5 Före, under och efter en olycka

Ett naturligt och vedertaget sätt att förebygga olyckor är att se vad man kan göra före en olycka och genast efter att man märkt att något oväntat och icke önskat har hänt. Efter olyckan är det igen uppenbart att man på olika sätt försöker förebygga att något liknande ska hända i framtiden.

2.5.1 Före en olycka

Före en olycka kan man så långt det går försöka föreställa sig vad som kan hända och hur man då borde reagera. Detta brukar göras så att man föreställer sig olika händelser som i sin tur gör att hotfulla situationer uppstår, som man sedan utarbetar instruktioner för att användas i kontrollrummet och i en beredskapscentral. Här brukar man då ofta skilja mellan störningsinstruktioner och instruktioner för nödsituationer.

2.5.2 Under olyckan

När en händelse (predicted initiating event, PIE) har inträffat som har en potential att leda till mera alvarliga situationer kan man bara hoppas att tillgängliga instruktioner ger nödvändig handledning till dem som förväntas hantera situationen. Det har dock visat sig att detta inte alltid gäller och då får man hoppas på att man i kontrollrummet har tillräcklig kunskap för att förstå vad man borde försöka åstadkomma med de åtgärder som tas. En viktig komponent är här att den nådatid¹ som har definierats för anläggningen, som gör det möjligt att noga planera sina egna kommande åtgärder. Visserligen är problemen ibland av den art att det visar sig att tillgängliga instruktioner inte kan tillämpas fullt ut. Speciellt i dessa fall är det viktigt att åtgärder registreras gärna med ett tillägg om varför man trodde att en viss åtgärd var viktig.

2.5.3 Efter olyckan

Efter olycka är det viktigt att en tillräckligt detaljerad analys av händelseförloppet görs så att man efteråt kan korrigera både problem i anläggningen och i instruktionerna. För att detta ska kunna göras krävs en djup insikt både i hur anläggningen reagerar i olika situationer och i hur människor behandlar information och gör beslut. Denna information kan sedan användas för att föreslå anläggningsändringar och ändringar i instruktionerna. Det är skäl att framhålla att analys och förslag till ändringar ofta är två olika aktiviteter som kräver sin egen kunskapsbakgrund.

2.6 Säkerhetsarbetets komponenter

När man ser på säkerhetsarbetet kan man skilja mellan fyra huvudkomponenter, riskanalys, erfarenhetsåterföring, ändringsarbetet och en kontinuerlig bedömning av säkerhetsarbetets effektivitet. En annan skillnad kan göras mellan rutinarbete och avancerat arbete, som kräver en stor komponent av kunnande. Rutinarbete är

¹ Ofta definierad som 30 minuter (grace time), dvs den tid under vilken operatörerna inte nödvändigtvis behöver genomföra några speciella handgrepp för att rädda situationen.

något som då bör utvecklas så långt att alla viktiga delar görs så effektivt som möjligt av människor som är väl insatta i sina uppgifter. Till detta kommer även kunskapsbaserat arbete där man kan tänka sig att köpa in insatser om det existerar en marknad för sådana. I vilka fall som helst behöver man dock en egen kader av experter som i olika fall av nödvändigt utvecklingsarbete kan bistå med både specialistkunskap och kunskap om den egna anläggningen. Här har man ofta gjort en skillnad mellan kunskaps-, regel- och färdighetsbaserat (knowledge, rule, skill, KRS) arbete (Rasmussen 19xx). Ett bidrag till att skapa en förenklad förståelse av rutinarbete är en semantisk modell (syntax) där enskilda grundsekvenser bildar komponenter, som kan förenas av en grammatik för att skapa en betydligt större mängd av mera komplicerade rutiner (Pentland, Rueter, 1994).

2.6.1 Riskanalys

Som redan antydde ovanför är riskanalysen en aktivitet som kräver en djup insikt i både den tekniska sidan och den beteendevetenskapliga sidan av driften av en anläggning. I och med att anläggningen är konstruerad, byggd och tagen i drift har en stor del av riskanalysen redan färdigställts. Man talar då om en säkerhetsredovisning som innehåller information om system, delsystem och komponenter hur de bör opereras och hur de beter sig i olika situationer. Speciellt har då ett ganska stort antal scenarier tagits fram som då visar ett sätt att hantera olika felsituationer som leder till ett säkert läge för anläggningen. Dessa scenarier har i sin tur använts för att skriva driftinstruktionerna för anläggningen. I praktiken är det dock så att man aldrig kan vara säker på att instruktionerna är effektiva, riktiga och fullständiga, vilket då betyder att det kan finnas behov för att korrigera dem. I säkerhetsarbetet brukar man ibland tala om störningar och olyckor som viktiga erfarenheter om hur verkligheten förhåller sig till den teori man har haft när anläggningen byggdes.

2.6.2 Erfarenhetsåterföring

Erfarenhetsåterföringen kan ses som en viktig del i återkopplingen mellan händelser och de förbättringar i anläggningens säkerhet som kan göras. Nu är det ju dock så att det inte är bara av händelser och olyckor man kan lära sig hur anläggningen uppför sig i verkligheten. Det är ofta så att man i arbetet kan upptäcka att det någon gång var nära att man gjorde något på fel sätt eller att något verkar onödigt komplicerat. Då kanske man vill föreslå att någon typ av ändring genomförs så att det lättare blir rätt nästa gång. På samma sätt kan det vid planerade anläggningsändringar vara skäl att samtidigt se om det är något annat inom samma område som borde ändras. Erfarenhetsåterföringen bör också riktas mera allmänt mot alla naddr anläggningar i världen så att utnyttjar branschens samlade kunskap.

2.6.3 Ändringsarbetet

Ändringsarbete genomförs vanligen vid de årliga bränslebytena som då gör det möjligt att inte i onödan störa en lugn drift. Det betyder att ändringarna planeras och förs in som komponenter i nästa års revision om man inte redan har fulltecknat den med annat som har högre prioritet. En komponent i ändringsarbetet kommer av förändrade myndighetskrav och en annan komponent kommer av nödvändiga moderniseringar, t.ex. för att det blivit svårt att få reservdelar för system eller delsystem. Det kan också vara så att man vill bygga bort någon brist som har påverkat en tidigare otillgänglighet av anläggningen. I vilket fall som helst är ändringsarbetet alltid styrt av en strategisk plan som strävar efter att skapa ett så stort värde av anläggningen som möjligt under en överblickbar tid i framtiden.

2.6.4 Säkerhetsarbetets effektivitet

En sista viktig komponent i säkerhetsarbetet är att kontinuerligt värdera dess effektivitet. Är det redogjorda arbetet tillräckligt effektivt i förhållande till de insatser som använts. De frågor som här kan ställas är bland annat följande

- har egen och extern erfarenhet reflekterats på ett riktigt sätt,

- har egna händelser analyserats tillräckligt djupt och har resultaten av analysen rapporterats till myndigheter och internationella organ,
- har man tillräcklig egen expertis att genomföra händelseanalyser,
- har man indikatorer på säkerhetsarbetets effektivitet och hur ser de ut över tid,
- har man restlistor på önskade förbättringar i anläggningen och i sitt ledningssystem och har listorna kunnat hållas rimligt korta.

3 Modeller av och i säkerhetsarbetet

Man kan säga att dagens syn på anläggningarnas säkerhetsarbete har gått igenom ett utvecklingsarbete på minst hundra år.

3.1 En utveckling

Hale, Hovden

(MTO), Beck, moderna teorier

3.1.1 Heinrich

3.1.2 Normal accidents

3.1.3 High reliability organisations

3.1.4 Samhället

Rasmussen, Svedung

3.2 Att hantera komplexitet

3.2.1 Elaka problem

Wicked problems

3.2.2 Ett stort antal tillståndsvariabler

Ett mycket stort antal tillståndsvariabler för ett dynamiskt system kan föranleda vissa problem i och med att man försöker simulera dem. Ett problem uppträder t.ex. när man vill simulera ett hydrauliskt system som består av rör, ventiler och pumpar. Problemet här är att motståndet i ett rör förhåller sig som kvadraten av flödet, vilket då gör att man kan få numeriska problem när man försöker beräkna flödesgeometrin i ett mycket stort nätverk. Men också har man hittat på beräkningsmetoder som klarar av problemen, genom att man i sådana system ofta kan dela upp dem i delar som antingen inte har eller har ett mycket litet beroende på varandra.

Problemet med mycket olika stora tidskonstanter i ett dynamiskt system är också välkänt. Problemet här är att man måste anpassa den numeriska lösningen av differentialekvationerna så att den tar hänsyn till att vissa av tillstånden ändras mycket långsamt, medan andra ändras snabbare. Beroende på vad man är intresserad av, antingen de snabba eller de långsamma förloppen kan man alltid anpassa den numeriska algoritmen så att man får en tillräckligt stor noggrannhet.

3.2.3 Olinjära beroendeförhållanden

Så långt har det endast varit fråga om system som i princip kan anses vara linjära, dvs. interaktionerna är alltid samband som i princip kan karakteriseras enligt $z = \alpha x + \beta y$. När detta gäller kan man ofta komma långt med rent analytiska metoder. Däremot får man genast när någon av interaktionerna inte är linjär betydligt svårare att analytiskt beskriva vad som kommer att hända när systemet simuleras. Man har faktiskt här möjlighet att tom. till ytterlighet enkla differentialekvationer kan ge förvånansvärt komplex beteenden.

Jag ska inte här gå in på alla möjligheter, utan jag vill endast lyfta fram några beteenden som har genererat en hel del rent matematisk forskning för att beskriva olika förhållanden som kan uppträda. Först och främst har det visat sig att vissa differentialekvationer uppvisar ett beteende som man brukar kalla kaotiskt, Detta betyder bl.a. att mycket små ändringar i begynnelsevärden kan ge beteenden som är kvalitativt helt olika. En av de ekvationer man använder för väderprognoser har denna egenskap, vilket då betyder att man i närtid kan erhålla goda prognoser, men som efter en längre tid blir helt oanvändbara.

Vad man också ser för olinjära differentialekvationer är att lösningarna kan ge upphov till bifurkationer, dvs. lösningarna blir från ett visst begynnelsevärden helt olika efter en bifurkationspunkt. En flod som rinner i en fåra som delar sig på ett ställe kallas en bifurkation och är dåledes ett naturligt exempel på dett.

Vissa kaotiska differentialekvationer kan också uppvisa vad man brukar kalla attraktorer som kan vara av mycket olika slag. För de linjära differentialekvationerna har man vanligen endast en attraktor, vilket då är systemets stabila jämviktspunkt. För de olinjära differentialekvationerna kan man ha flera attraktorer och några kan vara egendomliga (strange attractors) i den mening att de egentligen representerar något slag av trajektorie i tillståndsrummet.

3.2.4 Flera aktörer

Idet fall att man i sin modell måste ta med två eller flera aktörer bidrar detta genast till en större komplexitet som modellerna måste ha. Två olika forskningsområden behandlar dessa problem. För det första har man utvecklat spelteori för att behandla interaktioner mellan aktörer som helt eller delvis motstridiga syften. Detta område har lett till intressanta resultat bl.a. för upprepat spel mellan två kontrahenter där situationen är beskriven med en utdelningsmatris av *prisoners dilemma* typ. Här har man kunnat visa att en sk. tit-for-tat strategi ofta gör det möjligt för de två spelarna att hitta en ömsesidig nytta genom att undvika frestelsen att försöka lura motparten.

Det andra forskningsområdet handlar om hur ett större antal aktörer som interagerar t.ex. på en marknad eller på en gemensam spelplan kan åstadkomma olika typer av beteende som genereras av de spelregler som tillämpas. Denna typ av modeller har använts bl.a. för att simulera hur en epidemis kan väntas påverka ett stort antal aktörer. En annan tillämpning har varit att simulera hur en utrymning kan ske genom ett begränsat antal dörrar då en brand utbryter i en sal.

3.2.5 Osäkerhet på flera nivåer

två olika typer av osäkerhet, aleatoriskt, epistemiskt, rent sannolikhetsbaserat eller kunskapsbaserat sannolikhetsbegreppet innehåller faktiskt en modell, vilken modell ska jag välja

3.2.6 Emergent beteende

Emergens är ett begrepp som nämns ofta när man talar om komplexa system. Med begreppet menar man att systemet man observerar i vissa situationer kan uppvisa ett beteende som är mycket oväntat. En del forskare tom menar att man omöjligt kan förutsäga sådant beteende, men detta är nog att överdriva. För att förstå ett system måste man skapa en modell av något slag och då betyder emergent beteende endast det att den modell man använder inte förmår avbilda det oväntade beteendet. Detta betyder visserligen inte att beteendet är

oförklarligt om man med en annorlunda val modell lyckas visa i vilka situationer och hur beteendet uppstår. Min uppfattning är att argument om att man inte klarar av att förstå komplexitet och emergens egentligen tyder på intellektuell lättja.

Ett klassiskt papper handlar om emergens (Goldstein, 2014), där författaren introducerar tre inlägg från 1926 (Russel et al. 1926). I sin introduktion poängterar han vikten att förstå hur ett begrepp har kommit till och hur det efter det har förklarats i olika sammanhang.

Alderson och Doyle (2010) introducerar sin teori att komplexitet ofta är en konsekvens av att ett system är robust i något avseende och att man då erhåller något de kallar "robust yet fragile" (RYF, robust ändå ömtåligt). Författarna menar att detta gäller komplexa system av system, såsom teknologiska och biologiska system. Orsaken är att nätverksbaserade system med flera funktionella lager ofta kommer att visa vad de kallar organiserad komplexitet, där man således åtminstone i princip kan tänka sig att bygga fungerande modeller. Svårigheten här är dock att hitta lämpliga matematiska beskrivningar som dels kan användas i ett prediktivt syfte utan att vara alltför komplicerade för praktiska ändamål. En litteraturöversikt kan hittas i (Eisenberg et al. 2018), som än en gång visar att försvarstillämpningar tenderar att driva teknologin framåt.

3.2.7 Fasförändringar, bifurkation, kaos och katastrofer

I försök att modellera fasförändringar i fysikaliska system stöter man ofta på förhållanden som gör att ett system vid ett kritiskt tillstånd kan ta en väg som gör att tillståndsekvationerna för systemet förändras radikalt. Man kunde kalla sådana förändringar systemiska i den mening att man med en förståelse av förändringen kan simulera ett beteende trots att det i en annan mening kunde förklaras emergent och oförståeligt.

3.3 System av system

3.3.1 Nätverk

3.3.2 Polycentriska system

3.3.3 Sociotekniska system

3.3.4 Adapteringar

3.3.5 Modellering av risker i komplexa system

3.3.6 När går systemen inte mera att simulera

4 System av system

Inom systemtekniken är det idag vanligt att tala om system som består av sinsemellan sammankopplade system. Man inser omedelbart att detta ytterligen komplicerar förhållandet av de interaktioner man försöker förstå och modellera.

4.1 Nätverk

oberoende aktörer

4.2 Polycentriska system

maktcentra, Eisenberg et al. (2018) behandlar i sin översiktsartikel kommando och styrning, som då utgår från att man har en enhetlig målbild oberoende av att man tillåter en mycket stor självbestämmanderätt för de enheter som samberkar i nätverket. Detta gäller kanske i de flesta fall av militära tillämpningar men knappast någonsin i affärsvärlden. Här gäller att de maktcentra som existerar i ett system av system (SoS) för det mesta har endast delvis sammanfallande mål. Man får då tala om polycentriska system, där det alltid kommer att finnas ett behov för kompromisser mellan de olika maktcentra som bidrar med en självständig styrning i fråga om de variabler de kontrollerar.

4.3 Sociotekniska system

Alltid när man vill beskriva ett system mera ingående så finns det ett behov av att också förstå hur människor kommer att uppfatta och använda det, så att man förstår vad som kan hända i olika situationer.

(Flach et al. 2015)

4.4 Adapteringar

En vanlig komponent som finns i de flesta system antingen genom att de är planerade att fungera så eller genom att de på något sätt kan anses levande. När det är frågan om levande system hänger deras adaptationsförmåga ihop med det faktum att de i en evolution över flera miljarder år har överlevt i en föränderlig värld. När det sedan gäller artificiella system har de byggts på ett sätt att de på ett mer eller mindre intelligent sätt automatiskt kan anpassa sig till förändringar i omvärlden.

När man talar om adapteringar brukar man tala om olika typer lärande som systemen uppvisar. I det enklaste fallet talar man om en öppen styrkrets där en från systemet utaför stående aktör ser hur olika styråtgärder påverkan och på basen av detta väljer den önsakde. Med ett automatiskt reglersystem har en konstruktör byggt en automatisk styrning som fungerar genom att den jämför erhållen med en önskad utgång och således förändrar ingången så att den önskade utgången erhålls. Inom reglerteori har dessa exempel förfinats så att man kan tala om adaptiva och lärande system.

Inom organisationsteori har dessa begrepp generaliserats så att man talar om lärande organisationer och organisatoriskt lärande.

4.5 Modellering av risker i komplexa system

Problemet med att modellera risker i komplexa system hänger ihop med de modeller man måste använda för att man realistiskt ska kunna avbilda en verklighet. Så länge man med en dynamisk modell med ett rimligt antal förenklingar kan formulera en modell som någorlunda väl förutsäger hur ett bestämt system kommer att bete sig i olika situationer är det mera en fråga om att begränsa arbetet till en sådan nivå att nyttan blir tillräckligt stor. När det sedan gäller dynamiska modeller med ett stort antal tillståndsvariabler, mellan vilka det dessutom uppträder återkopplingar och andra olinjära interaktioner blir det ofta omöjligt att ens kunna bygga en modell som på ett korrekt sätt visar vad som kan hända i olika situationer.

Om det dessutom är så att man måste kombinera helt olika typer av modeller blir det ännu svårare (Helbing, 2013). Författaren har i sin artikel visat på hur ett dynamiskt system på grund av lokala kopplingar kan uppvisa mycket oväntade typer av beteenden. I verkligheten kan detta betyda att olika riskkedjor förstärker varandra genom att de till sin struktur är kopplade i sina grundorsaker. För att förstå denna typ av risker går det inte att bortse från hur olika händelsekedjor är kopplade till varandra. Man kan visserligen försöka lämna en del av kopplingarna obeaktade genom att man behandlar tillståndsvariablerna som externa variabler i de modeller

man har. Man kan då så att säga med olika scenarier under varierande förhållanden få något slag av indikation för hur olika framtider kan utveckla sig.

4.6 När går systemen inte mera att simulera

gränsen för att avbilda strukturer

5 Modeller av människan

individualpsykologi

5.1 Språk

Författarna Lakoff och Johnson (1999) menar att språk byggs upp metaforiskt i en kontinuerlig referens till den egna kroppen. Man talar således om

5.2 Rationalitet

Ett vanligt antagande när man försöker modellera mänskligt beteende är att människan är rationell. Vad detta sedan betyder är en annan fråga och ekonomisk rationalitet är knappast ett så utstuderat beteende att ekonomisternas uppfattning om Homo Economicus håller streck. Mot denna teori talar bl.a. det som man experimentellt lyckats påvisa upprepade gånger är att empati och altruism i vissa väl definierade fall får människor att bortse egennytta och handla i gruppens intresse. På senaste tid har ett antal forskningsresultat från skilda områden visat på mekanismer som tydligen gör att tidigare uppfattningar om mänsklig rationalitet måste omvärderas. Jag ska här peka på några resultat i den riktningen som kanske måste beaktas i en större grad när man försöker bygga modeller av socitekniska system.

För det första verkar det som om man inte kan anta att människor inte styrs av några universellt accepterade värden, som så att säga skulle det göra möjligt att formulera en entydig nyttofunktion som kan användas i olika situationer. Det är istället så att enskilda val som människor gör i olika situationer kan användas för att förstå hur individuella värden konstrueras (Binmore, 2009). Från dessa val kan man i efterhand konstruera en ordinal skala på den mängd av konsekvenser olika alternativa beslut kommer att få, för att sedan via modeller av väntat utfall kan ledas tillbaka till en preferensfunktion med avseende på mängden av beslut. Vad detta egentligen betyder är att beslutsteori i den form som vanligtvis framställs är frågan om preferenser, värden och nyttofunktioner är mera skakig än man tidigare har förletts att tro.

För det andra visade Kahneman och Tversky (1979) att människors val inte uppfyllde de förväntningar som teorin om subjektiv förväntad nytta ställde. Visserligen räknade man länge med att några enkla antaganden om hur nyttofunktionen såg ut, kunde förklara de skillnader i preferenser man såg. Det räckte sedan en tid tills man på basen av resultat från kognitiv psykologi kom att anta att människan har två olika beslutssystem, som skiljer sig från varande på så sätt att system1 ger snabba intuitiva beslut och system2 mera eftertänkta beslut som dock tar längre tid att komma fram till (Kahneman, 2011). Man har dessutom karakteriserat system2, som lättjefullt i det avseende att ett snabbt och intuitivt beslut mera sällan ifrågasätts.

För det tredje verifierar Mercier och Sperber (2017) att en teori om hur människor förstår saker och ting borde bygga på att människan har lätt att kasta fram antaganden om hur vissa saker förhåller sig, medan hon har betydligt svårare att generera bra argument för hur saker och ting faktiskt förhåller sig. De menar att mekanismen att generera antaganden kommer från system1 medan en verifikation av ett visst antagande alltid kräver en insats av system2. Människan är således snabb att generera antaganden, men mera noggrann att utvärdera dem om de strider mot hennes tidigare uppfattningar. Om någon således kastar fram något som strider mot en människas uppfattning om vad som är sant, så kommer system2 att sättas igång. Författarna argumenterar dessutom för att detta egentligen hänger ihop med en utveckling i små samhällen där en social förmåga var en viktig komponent i att överleva. Konsten att resonera kom då att byggas upp i en samvaro med andra när man hade tid och möjlighet att argumentera.

För det fjärde argumenterar Haidt (2001) för att system1 också hanterar etiska ställningstaganden så att människor ger snabba intuitiva bedömningar av vad som kan räknas som ett moraliskt beteende och vad som inte kan det. Om man sedan frågar dem på vad de baserar sin bedömning så har de betydligt svårare att ge argument som grundar sig på trovärdiga argument. Författaren pekar också här på en möjlig evolutionär bakgrund till sina antagande genom att både apor och fåglar i vissa fall har visat en etisk förmåga (De Waal, 2006).

För det femte menar Carruthers (2011) att människor inte omedelbart är medvetna om sitt emotionella tillstånd, utan faktiskt använder sig av det system som de använder för att känna igen andra personers emotionella tillstånd. Om det är så kan de inte som många tidigare har trott använda introspektion för att kunna ge svar om sitt eget sinness tillstånd.

5.3 Felhandlande

benägenheter, fördomar (bias)

feltänkt eller felhandlat, systemiska fel, medvetna fel, brottsligt beteende

6 Modeller av organisationer

Oberoende av gruppens storlek påverkar människor varandra

6.1 Grupper

grupptänkande, hur människor i en grupp påverkar varandra, extrema grupper (jag och andra), (Zimbardo 2007)

6.2 Organisationer

en byråkrati

6.3 Samhällen

Hannah Arendt, Zimbardo

samhällsrisk (Høyland, 2018),

diskussioner om samhällets ansvar kontra medborgarnas ansvar, självklart att det måste kombineras på något sätt för att hålla kostnaderna inom vettiga gränser (Bergström, 2018)

7 Hjälpmiddel som kan användas

(Rzevski, 2011)

7.1 Kvalitativa modeller

I mycket av det man försöker modellera komplexa system får man ty sig till kvalitativa modeller (Goldstein et al. 2010). Det är inget ont i det eftersom man då kan få en känsla för vad som kan hända i olika variationer av en modell.

7.2 Kvantitativa modeller

Trots att man i många fall kan komma långt med kvalitativa modeller måste man dock i några fall få något slag av kvantifiering av storleken på vissa centrala variabler i en modell och hur de förhåller sig till varandra. Detta

för att man skall kunna köra något slag av rationellt val mallen vilken man måste ta hänsyn till och vilken man i vissa fall kan lämna obeaktad. Detta gäller i synnerhet för riskanalysen där man genom en kvantitativ bedömning dels kan välja vilken man bör satsa på att avlägsna och dels kan ge något slag av kostnadsuppskattning på den insats som kan anses befogad för att avlägsna risken.

En metod för att kvantifiera risker är att använda sig av expert bedömningar. Här har goda resultat erhållits med den sk. Delfoi-tekniken där man låter en expertgrupp ta ställning till ett skeende och ber dem ge något slag av riskestimater tillsammans med den osäkerhet de ser i sin värdering. I en första omgång får alla deltagare i expertgruppen ta del av de andras uppskattningar. Därefter väljer man de som skiljer sig mest och låter dem argumentera för varför de har gett sina egna kvantitativa bedömningar. Därefter ges alla möjlighet till en fortsatt diskussion varför alla får ge förnyade riskestimater och osäkerheter. Med förutsättning att diskussionerna ges en möjlighet att gå tillräckligt djup i detaljer brukar man vanligen få en ganska god uppfattning om risken. (Rae, Alexander, 2017) påpekar dock att diskussionen mellan experterna är viktig och att bara sammanväga några enskilda värden man fått inte fungerar.

7.3 Beslutsfattande

Rationella beslut, fyra villkor, vad kan gå fel

- modellen speglar inte verkligheten (tillstånd, interaktioner, observerbarhet, styrbarhet)
- nyttofunktionen är olämpligt vald (individ, organisation, samhälle)

Det finns många problem i den rationella modellen av beslutssituationer (March, 2006). Jag har redan tidigare påpekat att det finns många möjligheter till att välövertänkta beslut blir dåliga, för att de modeller man använt sig av inte har beskrivit situationen på ett riktigt sätt. När detta sker kan resultaten vara mycket sämre än om beslutet hade gjorts på rent intuitiva grunder. Vissa författare talar t.ex. om så kallade ondskefulla system (wicked systems), där det i många fall alltid blir fel. Detta gäller i synnerhet på en samhällsnivå där man har en situation med många stridiga viljor, stora kostnader och långa tidsperspektiv.

7.4 Spelteori

två eller flera beslutsfattare med helt eller delvist motsatta mål, enkla spel, återupprepade spelsituationer

7.5 Artificiell intelligens

Vad menar man med intelligens? När man talar om artificiell intelligens menar man med begreppet att man lyckas bygga ett artificiellt system som efterliknar en människa i olika situationer. Det som man då antar sig kunna göra är att förse den artificiella intelligensen med ett otal datoriserade hjälpmedel, vilket då skulle betyda att systemet överträffar mänskligt beslutsfattande åtminstone i några begränsade situationer.

7.6 Organisationsteori

(Hazy, 2012) diskuterar hur allt detta kunde användas för att diskutera ledarskap.

balanser

- strategiskt – operativt,
- utvecklande – undersökande,

7.7 Extrema händelser

Extrema händelser av olika slag har alltid en tendens att driva deltagande system in i oväntade tillstånd som inte har förutsetts i de riskanalyser som har gjorts (Hällgren_etal_2018). De exempel som har inträffat kan dock ge en vink om hur människor och organisationer fungerar på ytterligheten av sin förmåga. På ett sätt kan man säga att det är bra att försöka föreställa sig sådana situationer med hänsyn till olika exempel hur händelserna tagits emot, lett till reaktioner och i slutändan blivit avklarade. Om inte samhället har något slag av beredskap för sådana händelser är det sannolikt att skadan blir stor om en sådan faktiskt inträffar.

8 Att styra komplexitet

för att styra måste man förstå sitt system, att hänvisa till komplexitet och samtidigt förklara att man inte kan förstå är kuskapsteoretiskt ett omöjligt förhållande

8.1 Elaka problem

elaka problem (wicked problems, Rittel_Webber_1973) kallas problem som har egenskapen att det är många olika grupper inblandade som har mycket olika agendor, som då ofta är socialt definierade

8.2 Ett antal hjälpmedel

simulering, man kan simulera i olika tidsskalor (Δt +itereringar)

8.3 Beslutsteori

undvika biaserade beslut, inte kasta goda pengar efter dåliga

8.4 Optimeringsmetoder

det är alltid farligt att optimera för att ett optimum ofta ligger på gränsen till vad som är tillåtet och således vid en liten ändring i kriterierna kan försvinna helt

kriterier (min/max, maximin/minimax, min_regret, osv)

optimering involverar alltid tid, hur länge ska man vänta tills man ser efter om ett beslut var bra, några exempel

- Tjernobyli (dyrt men Sojetunionen föll)
- Carter lyckades göra kärnkraften dyr (500 → 100000 år)

8.5 Artificiell intelligens

“textförståelse”, ett sätt att resonera, algoritmer som baserar sig på inlärning

9 En blick framåt

I den akademiska litteraturen om säkerhet hittar man ofta påpekanden som komplexitet och emergens, vilket då gör att man hänvisar till nya metoder som borde hittas för att man ska ta hand om dem. Detta är tyvärr en omöjlighet, man kan inte förbereda sig för att ta hand om något som man inte vet vad det är. Man kan visserligen genom att bygga in återhämtningsförmåga i sina system argumentera för att de klarar av ett större antal oönskade händelser än annars, men frågan är vilket värde sådana argument har i en hård process där man försöker argumentera för en myndighet att lösningarna man valt är tillräckligt bra. Komplexitet eller inte, man måste fortfarande bygga realistiska modeller av de system man försöker styra.

9.1 Nya risker

Förändringar i omvärlden sker vanligen genom innovationer som syftar till förbättringar. Man tvingas dock alltid när en förändring har skett se om förändringen samtidigt har fört med sig nya risker. Bara för att ta ett enkelt exempel kan man konstatera att Internet som infördes och har fört med sig ett mycket stort antal fördelar, också har gjort det möjligt för förbrytare och terrorister att göra sina angrepp på helt nya sätt. Om man ser på dagens situation är det uppenbart att globaliseringen, som i sig själv har bidragit t.ex. till en minskad fattigdom i världen också har fört med sig det att aktiviteter har blivit mera integrerade, så att något som tidigare påverkade endast lokalt, nu har en förmåga att drabba alla. Detta kan man tydligt se i hur covid19 viruset snabbt spred sig över hela världen. Ett annat exempel är att världens ekonomiska system kan råka ut

för störningar t.ex. av en så enkel sak att enkilda aktörer ofta handlar på mycket likartade sätt då en viss trend ryktesvägen sprider sig över sociala media (Zhang et al. 2016),

9.2 Rationalitetens tvångströja

Man kan faktiskt som en del författare föreslå tala om nödvändigheten att röra sig utanför det strikt rationella för att undvika det experimenterande som faktiskt behövs för att undvika att organisationer förlamas.

I många fall kan man helt enkelt inte på rationella grunder bilda sig en uppfattning om vad olika åtgärder kan leda till. Ett exempel kunde vara användningen av fossil energi. När kolkraften i England på 1700-talet togs i bruk ledde det verkligen till ett av de stora experimenten i mänsklighetens historia. Det finns visserligen många teorier av vilka en del fått mera stöd än andra, men det hindrar inte att jag helt enkelt får se vad resultaten blir. Ett liknande experimenterat när man inte ännu talade om rationella beslut var att mänskligheten någon gång massivt under 8000 år före min tideräknings början övergick till ett odlarsamhälle med allt vad det innebar. En del författare har kallat den utvecklingen för ett av de mest ödesdiga beslut mänskligheten har gjort.

Appendix: Om komplexitet, fullständighet och konsistens

Komplexitet för med sig några speciella svårigheter som man måste beakta när man försöker styra dem. Ashbys princip om requisite variety är kanske den mest uppenbara. Förenklat kan man säga att den betyder att ett styrsystem av ett komplext system måste vara lika komplext som systemet det är satt att styra. Detta betyder för det första att man aldrig kan bygga ett idealt styrsystem, eftersom detta då skulle förutsätta att det kan ta hand om sina egna felfunktioner, vilket då i sin tur skulle förutsätta en extra komplexitet osv. Den andra svårigheten kommer av att man i de implicita antagandena om hur styrsystemet ska fungera ofta gör det omöjliga antagandet om fullständighet och konsistens, Ett kontrollsystem kan aldrig bevisas vara fullständigt av den enkla orsaken att man aldrig kan bevisa att något inte finns. Det kan således alltid finnas någon oidentifierad händelsekedja som leder till ett oönskat resultat. Man kan inte heller ens för relativt begränsade system tänka sig att gå genom alla händelsekedjor som är möjliga. Man kan inte heller visa att ett krav system är både fullständigt och konsistent i den meningen att det inte innehåller motsägelser (Gödels teorem).

Erkännande

Referenser

David L. Alderson, John C. Doyle (2010). Contrasting Views of Complexity and Their Implications for Network-Centric Infrastructures, IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, 40, 4, 839-852

Johan Bergström (2018). An archaeology of societal resilience, Safety Science, 110, 31–38.

Ken Binmore (2009). Rational decisions, Princeton University Press.

Peter Carruthers (20yy). Opacity of Mind: An Integrative Theory of Self-Knowledge: an integrative of self-knowledge, Oxford University Press.

M. Chen, T. Ertl, M. Jirotko, A. Trefethen, A. Schmidt, B. Coecke, R. Banares-Alcantara (2012). Causality discovery technology, Eur. Phys. J. Special Topics 214, 461–479.

Frans De Waal (2006). Primates and philosophers; how morality evolved, Princeton University Press.

Daniel A. Eisenberg, David L. Alderson, Maksim Kitsak, Alexander Ganin, Igor Linkov (2018). Network Foundation for Command and Control (C2) Systems: Literature Review, *IEEE Access*, 6, 68782-68794

John M. Flach, John S. Carroll, Marvin J. Dainoff, W. Ian Hamilton (2015). Striving for safety: communicating and deciding in sociotechnical systems, *Ergonomics*, 58:4, 615-634

Eleanor D. Glor (2007). Assessing organizational capacity to adapt, *Emergence : Complexity and Organization*; 2007; 9, 3; pp.33-46.

Jeffrey Goldstein , James K. Hazy & Joyce Silberstang (2010) A Complexity Science Model of Social Innovation in Social Enterprise, *Journal of Social Entrepreneurship*, 1:1, 101-125.

Jeffrey Goldstein, James K. Hazy, Jeffrey Trexler (2011). Guest Editorial: From Theory To Practice, *E:CO Issue Vol. 13 No. 3* pp. vii-x.

Jeffrey Goldstein (2014). Introduction: Emergence, complexity, aggregation, and transformation, *E:CO*, 16(1): 131-168.

Torgeir K. Haavik (2014). On the ontology of safety, *Safety Science*, 67, 37–43.

James K. Hazy (2012). The unifying function of leadership: shaping identity, ethics and the local rules of interaction, *Int. J. Society Systems Science*, Vol. 4, No. 3.

Jonathan Haidt (2001). The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment, *Psychological Review*, Vol. 108. No. 4, 814-834.

Dirk Helbing (2013). Globally networked risks and how to respond, *Nature*, Vol. 497, 51-59.

Markus Hällgren, Linda Rouleau, Mark De Rond A matter of life or death: how extreme context research matters for management and organization studies, *Academy of Management Annals*, 2018, Vol. 12, No. 1, 111–153.

Sindre Aske Høyland (2018). Exploring and modeling the societal safety and societal security concepts – A systematic review, empirical study and key implications, *Safety Science*, 110, 7–22.

Daniel Kahneman, Amos Tversky (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, Vol. 47, No. 2, 263-291.

Daniel Kahneman (2011). *Thinking fast and slow*, Allen Lane.

Gus Koehler (2014). Defining and exploring a complex system's relational spaces, *Emergence: Complexity & Organization*, 16(1): 100-130.

James G. March (2006). Rationality, Foolishness, and Adaptive Intelligence, *Strategic Management Journal*, Vol. 27, No. 3, pp. 201-214.

George Lakoff, Mark Johnson (1999). *Philosophy In The Flesh: The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*, Basic Books.

Bruno Latour (2003). Is Re-modernization Occurring – And If So, How to Prove It? A Commentary on Ulrich Beck, *Theory, Culture & Society*, Vol. 20(2): 35–48.

Hugo Mercier, Dan Sperber (2017). *The enigma of reason; a new theory of human understanding*, Penguin Books.

Y. Ian Noy, Lawrence J. Hettinger, Marvin J. Dainoff, Pascale Carayon, Nancy G. Leveson, Michelle M. Robertson & Theodore K. Courtney (2015) Editorial: emerging issues in sociotechnical systems thinking and workplace safety, *Ergonomics*, 58:4, 543-547.

- Brian T Pentland, Henry H Rueter, (1994). Organizational routines as grammars of action, *Administrative Science Quarterly*; Sep; 39, 3.
- Andrew Rae, Rob Alexander (2017). Forecasts or fortune-telling: When are expert judgements of safety risk valid? *Safety Science*, 99, 156–165.
- J. Rasmussen (1990). Human error and the problem of causality in analysis of accidents, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 327, 449-46.
- Mia Raynard (2016). Deconstructing complexity: Configurations of institutional complexity and structural hybridity, *Strategic Organization*, Vol. 14(4) 310–335.
- Bertrand Russell (1913). On the Notion of Cause, *Proceedings of the Aristotelian Society*, 1912 - 1913, New Series, Vol. 13, pp. 1-26.
- Russell, E.S., Morris, C.R., and Mackenzie, W.L. (1926) "The notion of emergence," *Proceedings of the Aristotelian Society*, ISSN 0309-7013, Supplementary Volumes, 6: 39-68.
- George Rzevski (2011). A Practical Methodology For Managing Complexity, *Emergence: Complexity & Organization*, 13, 1-2 pp. 38-56.
- M. San Miguel, J.H. Johnson, J. Kertesz, K. Kaski, A. Diaz-Guilera, R.S. MacKay, V. Loreto, P. Erdi, D. Helbing (2012). Challenges in complex systems science, *Eur. Phys. J. Special Topics* 214, 245–271.
- Thomas C. Schelling (2006). *Micro motives and macro behavior*, W W Norton & Company.
- Iain Soutar (2021). Dancing with complexity: Making sense of decarbonisation, decentralisation, digitalisation and democratisation, *Energy Research & Social Science*, 80, 102230.
- Pablo Viejo, Jose Gonzalez de Durana, Oscar Barambones, Mario Hernandez, Jose Juan Hernandez, Jose Evora, Enrique Kremers (2015). Criticality in complex socio-technical systems: An empirical approach, *Emergence: Complexity & Organization*, 1-11.
- Wahlström Björn (1992). Avoiding technological risks; the dilemma of complexity, *Technological Forecasting and Social Change* 42/3, pp.351-365.
- Wahlström Björn (1994). Models, modelling and modellers; an application to risk analysis, *European Journal of Operations Research (EJOR)*, Vol.75, Issue 2.
- Wahlström Björn (2007). Reflections on regulatory oversight of nuclear power plants, *Int. J. Nuclear Law*, Vol. 1, No. 4.
- Wahlström Björn (2011). Organisational learning – Reflections from the nuclear industry, *Safety Science* 49 (2011) 65–74.
- Wahlström Björn, Carl Rollenhagen (2014). Safety management – A multi-level control problem, *Safety Science*, 69, pp.3–17.
- Wahlström Björn (2018). Systemic thinking in support of safety management in nuclear power plants, *Safety Science* 109, 201–218.
- Xin Zhang, Ling Feng, Yonatan Berman, Ning Hu, H. Eugene Stanley (2016). Exacerbated vulnerability of coupled socio-economic risk in complex networks, *EPL*, 116, doi: 10.1209/0295-5075/116/18001.
- Philip Zimbardo (2007). *The Lucifer effect; understanding how good people turn evil*, Random House.

En omstrukturering

- 1 Inledning
- 2 Att förstå säkerhet
 - 2.1 Ord och språk
 - 2.1.1 Modeller av språk
 - 2.1.2 Analogier och metaforer
 - 2.1.3 Matematik som ett universiellt språk
 - 2.2 System och modeller
 - 2.2.1 Viktiga begrepp (tillstånd, interaktion, förändring)
 - 2.2.2 Kvalitativa och kvantitativa modeller
 - 2.2.3 Kausalitet
 - 2.2.4 Återkoppling och stabilitet
 - 2.2.5 Modeller i praktiken (vad lämna bort)
 - 2.3 Dynamiska system
 - 2.3.1 Diskret och kontinuerlig tid
 - 2.3.2 En matematisk modell
 - 2.3.2 Villkor för styrbarhet
 - 2.4 Varför olyckor händer
 - 2.4.1 Begreppet risk (två komponenter, hur ofta, vad undvika), Aven
 - 2.4.2 Att styra risk (före och efter, bow tie modellen)
 - 2.4.3 Olika typer av orsaker
 - 2.4.4 Risker i en utveckling (MTO), Beck
- 3 Modeller av och i säkerhetsarbetet
 - 3.1 En utveckling (Hale, Hovden)
 - 3.1.1 Heinrich
 - 3.1.2 Normal accidents
 - 3.1.3 High reliability organisations
 - 3.1.4 Samhället (Rasmussen, Svedung)
 - 3.2 Att hantera komplexitet
 - 3.2.1 Wicked problems
 - 3.2.2 Ett stort antal tillståndsvariabler
 - 3.2.3 Olinjär beroendeförhållanden
 - 3.2.4 Flera aktörer
 - 3.2.5 Osäkerhet på flera nivåer
 - 3.3 System av system
 - 3.1 Nätverk
 - 3.2 Polycentriska system
 - 3.3 Sociotekniska system
 - 3.4 Adapteringar
 - 3.5 Modellering av risker i komplexa system
 - 3.6 När går systemen inte mera att simulera
- 4 Människor och organisationer
 - 4.1 Individ
 - 4.1.1 Modeller i psykologisk forskning
 - 4.1.2 En balans mellan egen- och gruppnytt
 - 4.2 Gruppen
 - 4.3 Organisationer
 - 4.4 Samhället
- 5 Några specifika modeller
 - 6.1 Beslutsfattande
 - 6.2 Spelteori

6	6.3	Artificiell intelligens
	Diskussion	
	6.1	Nya risker
	6.2	Rationalitetens tvångströja